



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja.

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del título de
Ingeniera Agrícola

AUTORA:

Gina Vanessa Rosales Torres

DIRECTOR:

Ing.: Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 18 de agosto de 2023

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja.**, de autoría de la estudiante **Gina Vanessa Rosales Torres**, con cédula de identidad Nro. **1150780557**, previa a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los tramites de titulación.



Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Gina Vanessa Rosales Torres**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional- Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1150780557

Fecha: 10 de abril del 2024

Correo electrónico: gina.rosales@unl.edu.ec

Teléfono: 0989162817

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

Yo, **Gina Vanessa Rosales Torres**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja**, como requisito para optar 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los diez días del mes de abril del dos mil veinticuatro.



Firma:

Autora: Gina Vanessa Rosales Torres.

Cédula de identidad: 1150780557

Dirección: Ciudadela “Los Ciprés”- La Argelia- Loja

Correo electrónico: gina.rosales@unl.edu.ec

Teléfono: 0989162817

DATOS COPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado principalmente a mis queridos padres Francisco Rosales y Beatriz Torres, cuyo amor, apoyo incondicional, sacrificio y dedicación han allanado el camino de mi educación, les debo todo lo que soy. Su ejemplo de perseverancia y valores han sido mi guía inquebrantable e hicieron posible que alcanzara esta meta.

A mis hermanas Mónica y Evelin quienes me han acompañado durante todo este proceso, su compañía ha llenado mi travesía académica de momentos preciosos y memorables. Gracias por ser mi faro en las horas oscuras y mi refugio en los momentos de desafío.

A mis amigos, por su comprensión y aliento en los momentos difíciles. A todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a este logro, ya sea con sus conocimientos, tiempo o ánimo, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento.

Y por último y no menos importante, me la dedico a mí Gina Vanessa Rosales Torres. En el transcurso de esta travesía académica, he experimentado desafíos, aprendizajes y momentos de autodescubrimiento que han moldeado mi camino. Este Trabajo de Integración Curricular representa no solo la culminación de mi esfuerzo y dedicación, sino también la manifestación tangible de mi perseverancia y crecimiento. A medida que cierro este capítulo reconozco el arduo trabajo, la pasión y la determinación que he invertido en esta investigación. Que este logro sirva como recordatorio de mi capacidad para superar obstáculos y alcanzar metas, impulsándome hacia futuros desafíos con confianza y determinación.

Gina Vanessa Rosales Torres

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al, Ing. Jorge Luis Jaramillo Mg. Sc. director de mi Trabajo de Integración Curricular, quien con su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso hizo posible el cumplimiento de los objetivos propuestos logrando culminar con éxito esta investigación.

Así mismo, quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y en especial a la Carrera de Ingeniería Agrícola, que través de sus docentes y autoridades me permitieron capacitarme y formarme día a día en el campo profesional.

Al término de la presente investigación extender un eterno agradecimiento a todos (as) mis familiares y amigos por su incondicional apoyo durante el desarrollo de este trabajo, así como aquellos que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

Gina Vanessa Rosales Torres

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización.	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xiii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1. Sistemas agroforestales asociados al café	7
4.1.1. Cultivo de café.....	7
4.1.2. Condiciones ambientales del cultivo de café.....	8
4.1.2.1. Temperatura	8
4.1.2.2. Precipitación	8
4.1.2.3. Humedad.....	9
4.1.2.4. Viento	9
4.1.2.5. Altitud.....	9
4.2. Riego.....	9
4.2.1. Métodos de riego.	10
4.3. El riego por goteo	11
4.3.1. Ventajas y desventajas de la aplicación de riego por goteo.....	12
4.3.2. Importancia del riego por goteo en la producción de café.....	14
4.3.3. Componentes del riego por goteo	14
4.3.3.1. Fuente de agua	14
4.3.3.2. Cabezal de riego	14

4.3.3.3. Red de distribución de tuberías.....	15
4.3.3.4. Emisores o goteros.....	15
4.3.3.5. Equipos de filtrado y prefiltrado.....	15
4.3.3.6. Aplicadores de fertilizantes	16
4.3.3.7. Manómetros	16
4.3.3.8. Válvulas	17
4.4. Evaluación del sistema de riego.....	17
4.4.1. Evaluación de la uniformidad de riego.....	18
4.4.2. Eficiencia del sistema de riego	19
4.4.2.1. Eficiencia de conducción	19
4.4.2.2. Eficiencia de distribución	19
4.4.2.3. Eficiencia de aplicación.....	20
4.5. Operación del riego por goteo.....	20
4.6. Mantenimiento de los sistemas de riego.....	21
5. Metodología	22
5.1. Ubicación del sistema de riego.....	22
5.2. Materiales y equipos	23
5.3. Metodología de estudio.....	23
5.4. Metodología para el primer objetivo: <i>Instalación del sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja</i>	23
5.4.1. Replanteo y excavación de zanjas para la instalación del riego	23
5.4.2. Instalación del riego por goteo	24
5.5. Metodología para el segundo objetivo: <i>Evaluación del funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo instalado</i>	24
5.5.1. Evaluación de los componentes de la instalación.....	24
5.5.1.1. Equipos de filtrado.....	24
5.5.1.2. Equipo de fertirrigación.....	24
5.5.1.3. Elementos de control (cortadoras).....	25
5.5.1.4. Laterales y emisores	25
5.5.2. Evaluación de la uniformidad de riego.....	25
5.5.2.1. Uniformidad del sistema de riego.....	25
5.5.3. Eficiencia de aplicación óptima del sistema de riego.....	27
5.6. Metodología para el tercer objetivo: <i>Elaboración de un manual para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego</i>	28

6. Resultados.....	29
6.1. Instalación del sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja	29
6.1.1. Replanteo y excavación de zanjas para la instalación.	29
6.1.2. Instalación del cabezal de riego y fertirriego.....	30
6.1.3. Instalación de la red de tuberías, laterales y emisores	30
6.2. Evaluación del funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo instalado	34
6.2.1. Evaluación de los componentes de la instalación.....	34
6.2.1. Evaluación de la uniformidad de riego.....	37
6.3. Elaboración de un manual para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego.....	39
6.3.1. Introducción.....	40
6.3.2. Descripción del sistema de riego	40
6.3.3. Definición de conceptos de los componentes del sistema.....	41
6.3.3.1. Estación de bombeo (fuente de presión).....	41
6.3.3.2. Cabezal de riego y fertirriego	41
6.3.3.3. Tubería de alimentación y tubería secundaria	41
6.3.3.4. Laterales y emisores	41
6.3.4. Esquema detallado del sistema de riego	42
6.3.5. Operación del sistema.....	47
6.3.5.1. Estación de bombeo	47
6.3.5.2. Purga y llenado de la red de tuberías	47
6.3.5.3. Manipulación de los elementos de control del sistema	48
6.3.5.4. Laterales y emisores	48
6.3.6. Mantenimiento del sistema.....	49
6.3.6.1. Fuente de almacenamiento de agua y estación de bombeo	49
6.3.6.2. Filtros.....	49
6.3.6.3. Elementos de control	49
6.3.6.4. Equipo de fertirriego.....	50
6.3.6.5. Tuberías y laterales de riego	50
6.3.6.6. Emisores (Goteros)	50
6.3.7. Consideraciones para tener en cuenta.....	51
7. Discusión.....	52

7.1. Instalación del sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia”.....	52
7.2. Evaluación del funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo instalado.....	53
7.3. Elaboración de un manual para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego.....	54
8. Conclusiones.....	55
9. Recomendaciones.....	56
10. Bibliografía.....	57
11. Anexos.....	63

Índice de tablas:

Tabla 1. Taxonomía del café.....	8
Tabla 2. Clasificación de indicadores de desempeño en riego por goteo.	20
Tabla 3. Especificaciones del cabezal de riego y fertirriego.....	30
Tabla 4. Especificaciones de la tubería, laterales y emisores de riego.	31
Tabla 5. Componentes del sistema de riego.....	34
Tabla 6. Eficiencia del sistema de riego bajo 20 bares de presión.....	38

Índice de figuras:

Figura 1. Ventajas del uso de riego localizado.	12
Figura 2. Desventajas del uso de riego localizado.....	13
Figura 3. Mapa de ubicación de proyecto de investigación.....	22
Figura 4. Esquema de evaluación del sistema de riego.	26
Figura 5. Replanteo de la tubería principal y secundaria.....	29
Figura 6. Excavación de las zanjas para la tubería principal y secundaria.	29
Figura 7. Instalación de la tubería principal y secundaria.	31
Figura 8. Instalación de los laterales y emisores de riego.	32
Figura 9. Detalles del sistema de riego instalado.....	33
Figura 10. Curva de descarga del gotero.	38
Figura 11. Detalles del cabezal de riego y fertirriego.....	43
Figura 12. Válvula de control del módulo de riego.	44
Figura 13. Esquema de los laterales de riego.....	45
Figura 14. Detalles de las conexiones de la tubería principal y secundaria.....	46

Índice de anexos:

Anexo 1. Plano constructivo previo del sistema de riego.....	63
Anexo 2. Detalles previos del cabezal de riego.....	64
Anexo 3. Uniformidad y eficiencia del sistema de riego a 20 de presión.	64
Anexo 4. Determinación del factor de dilución del equipo de fertirrigación.	66
Anexo 5. Instalación del sistema de riego (excavación de zanjas).....	67
Anexo 6. Instalación del cabezal de riego y fertirriego.....	67
Anexo 7. Instalación de la red de tuberías.....	68
Anexo 8. Instalación de laterales y emisores.....	68
Anexo 9. Evaluación del sistema de riego.....	69
Anexo 10. Certificado de traducción del resumen.....	70

1. Título

Instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja.

2. Resumen

El riego es un componente vital para la soberanía alimentaria, dado que desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico y social. Su influencia es evidente en la mejora de las condiciones socioeconómicas de los agricultores y campesinos del Ecuador. En este contexto, el estudio titulado "Instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Quinta Experimental "La Argelia" de la provincia de Loja" tiene como objetivo fomentar el uso eficiente del agua en la agricultura, especialmente en las plantaciones de café de la Quinta Experimental mediante la implementación y evaluación del riego por goteo. La investigación se estructuró en dos fases. Primero, la instalación del riego por goteo, que incluyó la preparación y excavación de zanjas, el replanteo del sistema, la instalación del cabezal de riego y fertirriego, y su conexión a las líneas de tubería. Finalizada la instalación se realizó la segunda fase que consistió en la evaluación del funcionamiento y uniformidad de aplicación, la cual estuvo dividida en dos etapas. La primera se basó en detectar posibles fugas o daños en los componentes. En la segunda se siguió la metodología de Merriam y Keller (1978), modificada por Chamba (2020), obteniendo un valor de 91 % en la eficiencia de distribución, coeficiente de uniformidad de Christiansen y eficiencia de aplicación respectivamente, indicando una uniformidad y eficiencia satisfactorias del método de riego. Además, se elaboró un manual integral para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego. Este manual detalla la descripción del sistema, la operación correcta de sus componentes y el mantenimiento necesario para asegurar su eficiencia y vida útil. Con estas acciones, se busca ofrecer una alternativa tecnificada de riego que contribuya al progreso sostenible del cultivo de café implementado en la zona de estudio.

Palabras clave: riego por goteo, instalación de riego, evaluación de la uniformidad de riego, coeficiente de Christiansen.

Abstract

Irrigation is a vital component for food sovereignty, since it plays a fundamental role in economic and social development. Its influence is evident in improving the socioeconomic conditions of farmers and peasants in Ecuador. In this context, the study entitled "Installation and evaluation of a drip irrigation system in the agroforestry system with coffee (*Coffea arabica* L.) in the Quinta Experimental "La Argelia" in the province of Loja" aims to promote the efficient use of water in agriculture, especially in the coffee plantations of the Quinta Experimental through the implementation and evaluation of drip irrigation. The research was structured in two phases. First, the installation of the drip irrigation system, which included the preparation and excavation of trenches, the layout of the system, the installation of the irrigation and fertigation head, and its connection to the piping lines. Once the installation was completed, the second phase consisted of evaluating the operation and uniformity of application, which was divided into two stages. The first was based on detecting possible leaks or damage to the components. In the second, the methodology of Merriam and Keller (1978), modified by Chamba (2020), was followed, obtaining a value of 91% in the distribution efficiency, Christiansen uniformity coefficient and application efficiency, respectively, indicating a satisfactory uniformity and efficiency of the irrigation method. In addition, a comprehensive manual was prepared for the management, operation and maintenance of the irrigation system. This manual detail the description of the system, the correct operation of its components and the necessary maintenance to ensure its efficiency and useful life. With these actions, the objective is to offer a technified irrigation alternative that contributes to the sustainable progress of the coffee crop implemented in the study area.

Keywords: drip irrigation, irrigation installation, irrigation uniformity evaluation, Christiansen coefficient.

3. Introducción

Según lo mencionado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, (MAATE, 2021), el riego desempeña un papel fundamental en los ámbitos social, productivo y económico del Ecuador. Es un componente esencial para la producción de alimentos, la soberanía alimentaria y la agroindustria. Su objetivo principal es mejorar las condiciones socioeconómicas de los agricultores y campesinos, facilitando el acceso al agua como recurso para garantizar e incluso intensificar la producción agropecuaria. Además, el riego se configura como una herramienta eficaz para mejorar las condiciones de vida, contribuir a la erradicación de la pobreza y fomentar la protección del medio ambiente.

De acuerdo con la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC, 2022), la superficie cultivable del Ecuador es de 5,29 millones de hectáreas, de las cuales se riegan aproximadamente 1,14 millones de ha, lo que representa el 23,38 % de la superficie cultivada. Sin embargo, el 76,6 % del área cultivable, es decir, 3,8 millones de hectáreas no cuentan con servicio de riego. En cuanto a las principales técnicas de riego utilizadas por los regantes son por gravedad y aspersión, ambas representan el 84,6 % del total. El sistema por microaspersión representa 9,6 % y otros métodos 5,7 %, estos datos reflejan la falta de tecnificación en los sistemas de riego del país. Esto está provocando una alta pérdida de agua en la conducción, distribución y la aplicación del agua en la parcela.

La provincia de Loja en general afronta una serie de problemas en cuanto al manejo y gestión de los recursos hídricos, debido a que no existe un manejo adecuado de los sistemas de riego, es decir, no cuentan con un plan de operación y mantenimiento, lo que ha provocado un desperdicio del agua. La deficiencia en el manejo del agua de riego se observa en todos los componentes del sistema, desde la captación hasta la aplicación en las parcelas; pasando por la conducción, almacenamiento, distribución y métodos de riego parcelario (Armijos, 2020).

La falta de conocimientos de los usuarios e instituciones responsables del riego sobre las técnicas para la distribución eficiente del agua ha ocasionado que los productores no tengan prácticas de riego idóneas (Nieto *et al.*, 2018). Por lo tanto, el riego parcelario puede presentar dificultades debido a una mala planificación, diseño inadecuado, dimensionado o ejecución defectuosa de la instalación (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], 2015).

El sistema agroforestal con café ubicado en la Quinta Experimental “La Argelia”, requiere superar algunos factores y afectaciones que se dan en el agro, debido principalmente a la inexistencia del riego; dado que la mayoría de los cultivos de café en esta zona dependen

únicamente de la precipitación natural (lluvia) lo que conlleva a pérdidas en ciertas épocas del año, principalmente por no aplicar la dosis de riego adecuada, así mismo, al existir “demasiada o poca humedad en el suelo provoca que el crecimiento de las plantas sea lento” (García y Briones, 2015), y por ende, no se logra el mejor rendimiento.

Como solución a la problemática actual de los productores a causa de la inadecuada aplicación del riego para el cultivo del café y con el fin de generar una alternativa para tecnificar el riego en las parcelas de los caficultores se propuso la instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, con el objetivo de cubrir las necesidades del cultivo, por consiguiente, optimizar y elevar la producción y vida útil del café implementado en la zona de estudio.

Objetivo general

- Contribuir al manejo eficiente del agua de riego mediante la instalación y evaluación del riego por goteo en el sistema agroforestal con café (*Coffea arabica* L.) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja.

Objetivos específicos

- Instalar el sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja.
- Evaluar el funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo.
- Elaborar un manual para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego.

4. Marco teórico

4.1. Sistemas agroforestales asociados al café

Según Farfán (2014), un sistema agroforestal de café es un conjunto de prácticas de cultivo que combina especies arbóreas en conjunto con el café o en plantaciones de las fincas, con el objetivo de manejar y proteger el suelo y el agua, para sostener la producción para asegurar y mejorar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de los caficultores.

Los beneficios de los sistemas agroforestales cafeteros son numerosos y se relacionan con factores como microclimas, aspectos educativos sobre el mejoramiento u mantenimiento de los suelos fértiles debido a un aumento en la capacidad de reciclaje de nutrientes y adición de desechos, y la estabilidad de la temperatura del suelo que conduce para reducir las pérdidas por volatilización del nitrógeno (DaMatta y Rodríguez, 2007).

4.1.1. *Cultivo de café*

El café es un producto exportable de gran importancia para la economía mundial y para Ecuador en particular, ya que genera divisas para el Estado y provee ingresos a las familias productoras de café. Además, es un componente importante de la cadena productiva, brindando oportunidades de ingresos para otros actores como transportistas, comerciantes y exportadores. A nivel ecológico, el cultivo del café es beneficioso debido a su adaptabilidad a distintos agroecosistemas. La mayoría de los cafetales se cultivan bajo árboles valiosos tanto desde una perspectiva ecológica como económica y proporcionan un hábitat adecuado para muchas especies nativas de flora y fauna (Andrade, 2017).

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas en Ecuador, ya que es uno de los diez cultivos con mayor superficie cultivada según el (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP, 2018). Ocupa una superficie total de 76,783 ha distribuidas en diferentes provincias: 64.94% en Manabí, 9.71% en Loja, y 9.08% en Orellana. La exportación del café es fundamental para el sector agropecuario, ya que es una fuente importante de divisas e ingresos. Este cultivo se produce en todas las regiones del país: Amazonía, Costa, Sierra y las Islas Galápagos. La mayoría de los agricultores (85%) cultivan la especie Arábigo, que representa el 63% de la producción nacional, mientras que el 15% produce café Robusta (Montero, 2017)

La clasificación taxonómica del café se presenta a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. *Taxonomía del café.*

Clasificación	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Gentianales
Familia	Rubiaceae
Género	Coffea
Especie	arabica

Fuente: Lino, (2020)

4.1.2. Condiciones ambientales del cultivo de café

Cancela (2013) menciona que, el café, como todos los cultivos, necesita de las condiciones ambientales adecuadas para su buen desarrollo, las cuales se explican a continuación.

4.1.2.1. Temperatura

En el ámbito agrícola resulta crucial mantener un control preciso de la temperatura ambiente para garantizar un óptimo desarrollo del cafeto. La temperatura apropiada para el cultivo de café debe estar entre los 17 a 26 °C. Si la temperatura desciende por debajo 16 °C, existe el riesgo de que los brotes sufran daños por quemaduras. Por el contrario, cuando la temperatura supera los 27 °C, se observa una reducción en el proceso de fotosíntesis, aumentando así el riesgo de deshidratación de la planta.

Según Venegas (2016), ha establecido que la temperatura ideal para el crecimiento óptimo del cafeto se sitúa entre 19 y 21,5 °C. En caso de descender por debajo de 19 °C, los brotes pueden quemarse, afectando negativamente la producción. Por otro lado, si la temperatura supera los 21,5 °C, se acorta la vida productiva de la planta, generando una cosecha temprana y más concentrada. Este escenario propicia condiciones óptimas para la proliferación de enfermedades como la roya y otras plagas, lo cual tiene un impacto adverso en la productividad global del cultivo.

4.1.2.2. Precipitación

La cantidad de agua natural que reciben las plantas es esencial para su crecimiento, pero en excesos puede resultar perjudicial. En el caso de la producción de café, se establece un rango óptimo de lluvia entre 1 000 a 3 000 mm/año. Cuando llueve en exceso, se propicia la proliferación de hongos, mientras que una menor cantidad de lluvia reduce el crecimiento de las plantas de café y, por ende, se verá afectada la producción.

El buen desarrollo del cafeto requiere una cantidad apropiada de lluvia, especialmente durante la fase de floración, dado que, de ello depende su producción. Por lo tanto, si la lámina

anual de agua es inferior a 1 000 mm, se limita el crecimiento y desarrollo de la planta, disminuyendo la cosecha del año siguiente. En casos de sequía prolongada, existe el riesgo de defoliación (caída de las hojas) e incluso la muerte de la planta (Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE], 2011)

4.1.2.3. Humedad

La humedad es también muy importante y está íntimamente relacionada con la precipitación. Si la humedad relativa supera el 90 % las plantas corren el riesgo de enfermarse con hongos.

4.1.2.4. Viento

El viento también es importante en la producción del café. Los vientos superiores a 30 km/h pueden dañar las plantas con la caída de hojas, rotura de flores y frutos y deshidratación de las yemas.

4.1.2.5. Altitud

La mejor altitud para el cultivo del café se encuentra en un rango de 1 200 a 1 800 metros sobre el nivel del mar, ya que en altitudes más bajas resulta una menor calidad del grano y mayores costos de producción, mientras que altitudes superiores a esta recomendación disminuyen el crecimiento de las plantas. Aranda *et al.* (2014) indica que la mejor cosecha se encuentra en terrenos ubicados entre 900 y 1 200 msnm, debido a que altitudes menores pueden ocasionar problemas de llenado del grano y altitudes superiores a 1 200 msnm pueden generar extremo frío que seque la pulpa, la pegue al pergamino y manche el café, dificultando su venta.

4.2. Riego

Las provincias de la sierra ecuatoriana tienen una variedad de climas, tipos de suelo, técnicas y prácticas de cultivo, sin embargo, todos los cultivos tienen en común, que necesitan agua para su crecimiento adecuado. Para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos, existen dos enfoques principales: la lluvia y el riego. La precipitación pluvial, aunque es esencial, carece de control humano en términos de intensidad, duración y frecuencia. Por lo tanto, la opción más efectiva y precisa recae en el riego, que se define como la aplicación artificial del agua necesaria al suelo, realizada de manera oportuna, uniforme y eficiente (Cadena, 2016).

El propósito fundamental del riego es suministrar a las plantas la cantidad adecuada de agua para pérdidas de rendimiento debido a situaciones de estrés o déficit hídrico. La frecuencia y la cantidad de riego deben ajustarse en función de las condiciones climáticas locales, el tipo

de cultivo, las diversas etapas de crecimiento y cosecha, así como las particularidades del suelo y la planta (Goyal, 2014).

Según lo destacado por Waller y Yitayew (2016), la ingeniería de riego se enfoca en el análisis y diseño de sistemas que logran suministrar de manera óptima y la cantidad precisa de agua al suelo, en el momento adecuado, para cubrir las necesidades específicas del cultivo. El proceso de diseño y selección de estos sistemas implica tres pasos fundamentales. En primer lugar, se aborda el análisis de las necesidades hídricas del cultivo, la hidrología del área y las características del suelo. Este paso sienta las bases para comprender los requisitos específicos que el sistema de riego debe cumplir. El segundo paso se centra en el diseño hidráulico de posibles alternativas, evaluando de manera detallada las opciones disponibles para asegurar un suministro eficiente y efectivo de agua. Por último, el tercer paso consiste en llevar a cabo un análisis económico y ambiental. Este enfoque integral garantiza que la implementación del sistema de riego no solo sea técnicamente sólida, sino también económicamente viable y respetuosa con el medio ambiente.

4.2.1. *Métodos de riego.*

La clasificación más habitual de los métodos de riego se establece de acuerdo con la forma como el agua distribuida sobre el suelo. Esta distribución depende de diversos factores como las características topográficas, los tipos de cultivo, la disponibilidad del recurso hídrico, los costos y la posibilidad de acceder a tecnologías que requieren una alta inversión (Jimenez, 2012).

Según Goyal (2014), históricamente, existen cuatro sistemas principales para la aplicación de agua en la agricultura: superficie / gravedad, subsuperficial, aspersión y microaspersión. Los métodos de riego por aspersión, microaspersión y goteo en general se clasifican generalmente como "sistemas presurizados"

Los métodos de riego comúnmente utilizados son:

- **Riego por aspersión:** es un método mediante el cual el agua se aplica sobre la totalidad de la superficie del suelo en forma de lluvia (Fernandez, 2010). Además, es un método de riego automatizado que utiliza mecanismos de presurización del agua para generar el riego. Se dividen en sistemas estacionarios o de desplazamiento continuo.

- **Riego por gravedad:** es un método que engloba gran número de variantes o sistemas diferentes. Dentro de los más usados destacan el riego por surcos, el riego por tablares y el riego por fajas (Valdivieso, 2017).
- **Riego localizado:** es un método que suministra agua a presión en forma de gotas que directamente acceden a la zona radicular de cada planta. Dentro de los cuales destacan el riego por goteo y microaspersión (Valdivieso, 2017).

4.3. El riego por goteo

Según INTAGRI (2015), el riego por goteo se destaca como uno de los sistemas más eficientes en la actualidad. Este método proporciona un suministro constante y uniforme de agua, gota a gota, lo que permite mantener niveles adecuados de humedad en la zona radicular, reduciendo así el estrés hídrico de las plantas. La aplicación de agua a través de los goteros da lugar a la formación de un patrón de humedad en forma de cebolla en el suelo, comúnmente conocido como “bulbo húmedo”. Estos bulbos alcanzan su diámetro máximo a una profundidad de aproximadamente 30 cm y su forma se ve influenciada por las propiedades del suelo, especialmente por la textura.

Villalobos (2015) define al riego por goteo como la administración controlada de agua en el suelo mediante goteros dispuestos a lo largo de la tubería de riego, este método solo humedece una parte específica del suelo.

En el riego por goteo, el agua se posiciona en un punto y se desplaza tanto en dirección vertical como horizontal. Es ampliamente conocido que el desplazamiento del agua en el suelo está intrínsecamente vinculado a sus propiedades. Bajo este contexto, se pueden identificar tres tipos de bulbo de humedecimiento en el perfil del suelo:

- **Suelo Arcilloso:** Cuando se tiene un suelo pesado, el movimiento del agua, ocurre más rápido en forma horizontal que en forma vertical
- **Suelo Arenoso:** El bulbo de humedecimiento que se forma adquiere un mayor valor en el sentido vertical, que en el sentido horizontal.
- **Suelo Franco:** El movimiento horizontal del agua es aproximadamente igual al movimiento vertical.

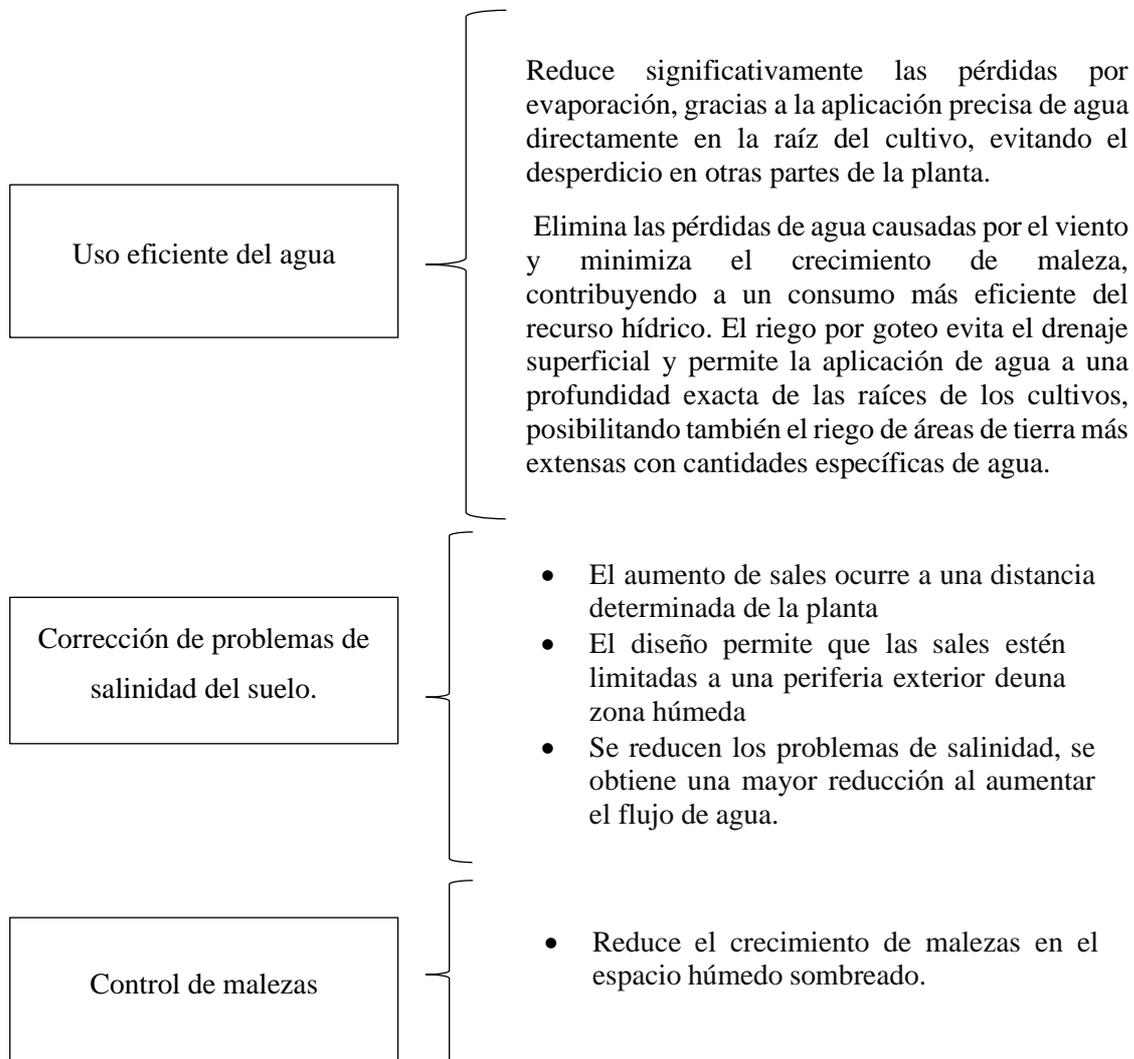
Los sistemas riego por goteo se destacan por alcanzar una eficiencia notoria, oscilando entre el 90 y el 95 % en la utilización tanto del agua como de los fertilizantes. En contraste, los sistemas de riego por gravedad muestran una eficiencia más limitada, situándose entre el 55 y el 60 %. Dada la naturaleza única del riego por goteo en comparación con otros métodos, es

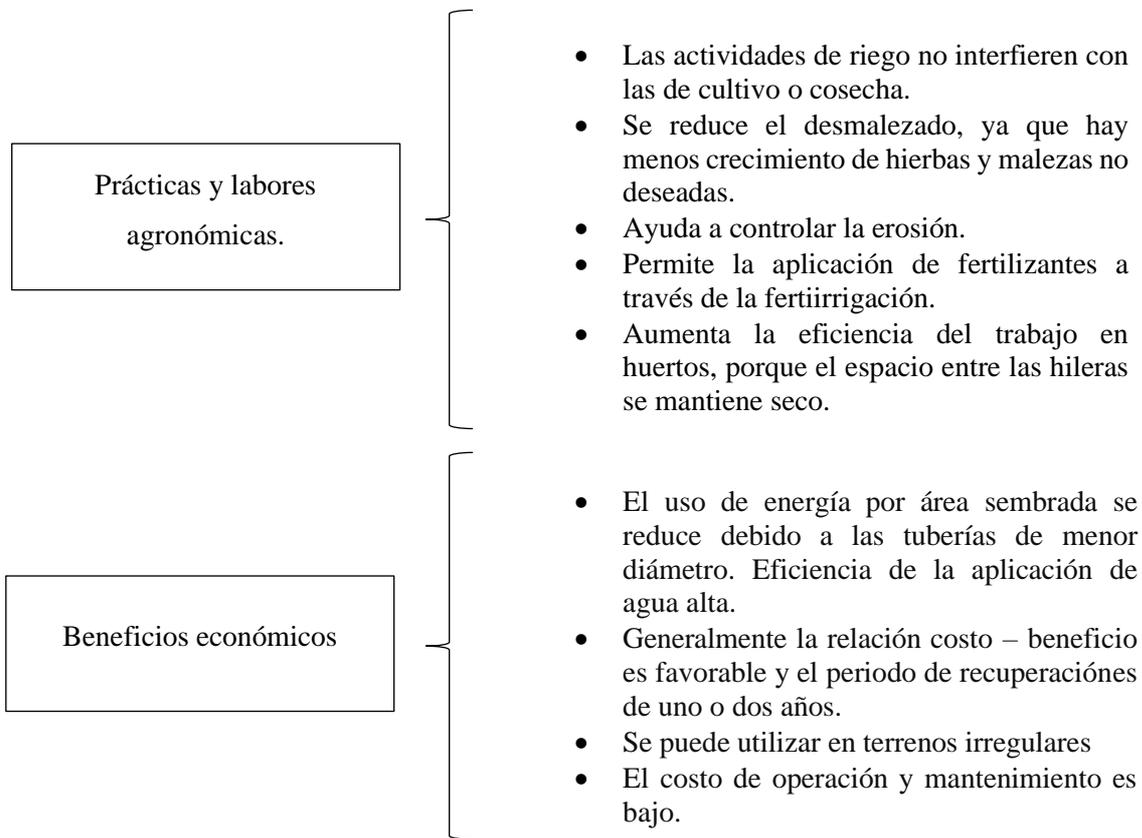
esencial gestionarlo de manera adecuada para maximizar sus beneficios y prevenir posibles problemas (Aranda, 2019).

4.3.1. *Ventajas y desventajas de la aplicación de riego por goteo*

Steele (2015), sostiene que la tecnología del riego por goteo destaca como una herramienta crucial para optimizar la eficiencia en la gestión del agua y nutrientes en el suelo dentro del ámbito agrícola. Al administrar pequeñas cantidades de agua directamente a las raíces, se perfecciona el manejo de nutrientes mediante la fertirrigación. Este método también permite el control efectivo de malezas y plagas, a la vez que implica menores costos de inversión a largo plazo y de operación. Un sistema de riego localizado bien diseñado tiene el potencial de elevar el rendimiento del cultivo, destacándose los factores claves identificados en la Figura 1.

Figura 1. *Ventajas del uso de riego localizado.*

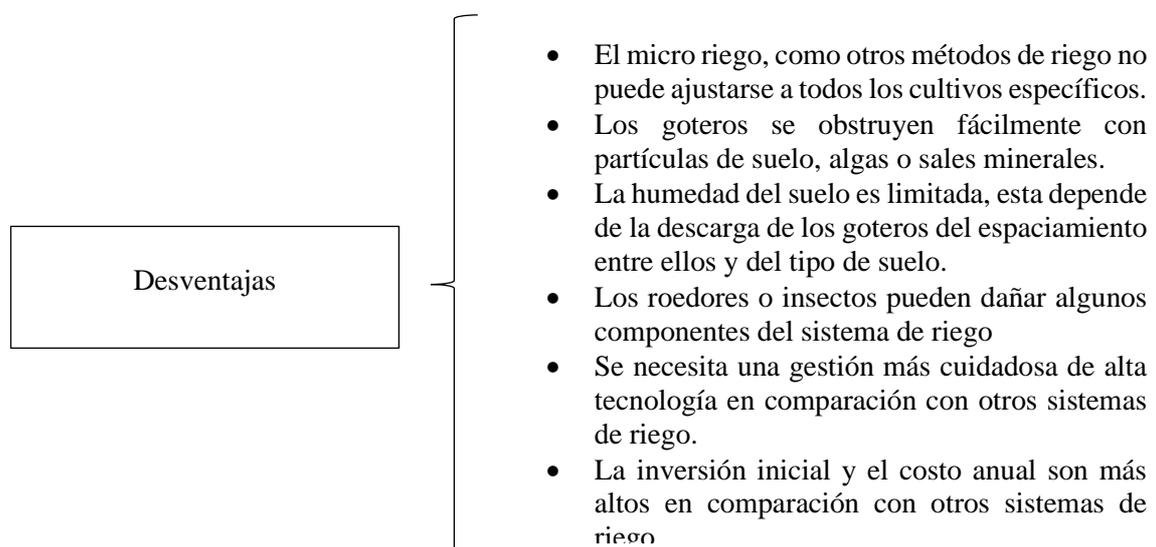




Fuente: Aguinaca (2020).

Entre las desventajas se pueden presentar las siguientes (Figura 2)

Figura 2. Desventajas del uso de riego localizado.



Fuente: Aguinaca (2020).

4.3.2. *Importancia del riego por goteo en la producción de café*

El riego por goteo se constituye como una herramienta elemental en la producción de café por diversas razones. En primer lugar, dada la necesidad específica de agua del cultivo, el riego por goteo permite suministrar de manera precisa la cantidad de agua requerida directamente a las raíces, evitando así el desperdicio de este recurso vital. En segundo lugar, este método contribuye significativamente al control de malezas, al dirigir la irrigación exclusivamente hacia las plantas de café, excluyendo las áreas no cultivadas. En tercer lugar el riego por goteo desempeña un papel crucial en la prevención de la erosión del suelo al mantener un nivel de humedad óptimo. Además esta tecnología de riego se distingue por su eficiencia, fomentando el uso sostenible del agua, reduciendo los costes de producción del café y mejorando la calidad del producto (Gestiriego, 2017).

4.3.3. *Componentes del riego por goteo*

Entre los componentes básicos se tiene:

4.3.3.1. Fuente de agua

Existen diversas fuentes hídricas que pueden alimentar un sistema de riego, tales como ríos, lagos y fuentes subterráneas. No obstante, en ciertos escenarios, se opta por la recolección y almacenamiento del agua en reservorios o embalses con el propósito de asegurar un suministro constante para el sistema de riego (Liotta, 2015).

4.3.3.2. Cabezal de riego

Martínez (2014), destaca que es una red de riego menos compleja, se ubica comúnmente en la cabecera de las parcelas de riego y constituye el componente central de la infraestructura. En ella se colocan válvulas, tomas de agua y equipos de distribución, y en ocasiones, también se incorporan instrumentos de programación. Es esencial señalar que la presencia de dispositivos, como los elementos de filtrado o el equipo de fertirrigación, varía según la complejidad de las funciones del sistema de riego. Señala que es una red menos compleja que se la coloca en la cabecera de las parcelas de riego.

Por otro lado, Fuentes (1991), sostiene que del cabezal depende en gran parte el éxito o fracaso del riego, por lo que debe prestarse una gran importancia a su instalación, puesto que desde él se regula el suministro de agua y un gran número de prácticas agrícolas, tales como la fertilización y la aplicación de pesticidas.

4.3.3.3. Red de distribución de tuberías

Consiste en líneas de distribución primarias y secundarias que normalmente están enterradas y, por otro lado, los ramales que lleva las líneas de goteo, recorren la superficie del suelo a lo largo de los caminos de cultivo para descargar el agua (Gestiriego, 2016). Así mismo, Valverde (2022) menciona que la red de distribución de tuberías sirve para llevar el agua desde el cabezal hasta la plantación por medio de la red primaria y de distribución o secundaria, a partir de la cual se desprenden los laterales que distribuyen el agua a las plantas por medio de los emisores.

4.3.3.4. Emisores o goteros

Gestiriego (2016) sostiene que los goteros son los componentes encargados de conducir el agua hacia la planta, siendo comúnmente instalados en las ramas de goteo a distancias arbitrarias que suelen coincidir con la posición de la planta. Estos resultan altamente beneficiosos en situaciones donde la longitud del ramal de la tubería que se conecta al gotero es considerable, lo que podría ocasionar variaciones significativas de presión entre el inicio y el final de la tubería. Asimismo, son especialmente útiles en terrenos accidentados con múltiples desniveles y baches.

Rodríguez et al., (2017) señalan que los goteros se clasifican principalmente en dos tipos: compensantes y no compensantes. Aquellos clasificados como compensantes mantienen un flujo constante, mientras que los no compensantes ajustan su caudal en relación con la presión de la tubería. Además, la conexión de los goteros a la tubería también permite una clasificación adicional. Los goteros intralínea actúan como unión entre dos tramos de ramal, la sobrelínea se inserta en el ramal mediante un orificio perforado con un sacabocados, y los integrados se instalan durante la fabricación del ramal sin requerir elementos de unión adicionales. El caudal de los goteros es variable entre 0,6 hasta 12 l/h, aunque la mayoría de los modelos comerciales no superan los 6 l/h.

4.3.3.5. Equipos de filtrado y prefiltrado

De acuerdo con Portal Frutícola (2020), el elemento de filtración se erige como el componente de mayor relevancia en un sistema de riego. Su función primordial consiste en prevenir la entrada de impurezas tanto al sistema de riego como a los elementos conductores de agua, con el propósito de evitar obstrucciones en la red del sistema, especialmente el taponamiento de los emisores. Esta obstrucción puede traducirse en una distribución deficiente del agua.

Estos dispositivos se ubican estratégicamente después de la válvula de entrada, con el objetivo de retener o eliminar las partículas sólidas presentes en el agua, las cuales podrían afectar el funcionamiento normal de los equipos del sistema (Rodríguez et al., 2017).

4.3.3.6. Aplicadores de fertilizantes

Osorio (2000), menciona los siguientes aplicadores de fertilizantes:

Tanque de fertilizante: Estos dispositivos se distinguen por contar con un depósito destinado a albergar una solución concentrada de fertilizante que se incorporará al sistema. Una vez sellados, el interior de los tanques mantiene la misma presión que la red de riego, por lo que es crucial que estén fabricados con materiales resistentes, ya sea metal o plástico reforzado. Su disposición se realiza en paralelo con respecto a la conducción principal.

Sistema Venturi: Estos dispositivos, de gran simplicidad, consisten en una pieza en forma de T que alberga un mecanismo Venturi en su interior. El mecanismo Venturi aprovecha el efecto vacío generado cuando el agua fluye a través de un pasaje convergente que se ensancha progresivamente. El funcionamiento del Venturi se desencadena cuando existe una discrepancia entre la presión del agua entrante y la combinación de agua y fertilizante que fluye hacia el sistema de riego. Este dispositivo se instala generalmente en configuración paralela, ya que el caudal que circula por el sistema supera la capacidad intrínseca del Venturi. Por este motivo, los dispositivos más utilizados se fundamentan en una combinación de los principios Venturi y de diferencias de presión.

4.3.3.7. Manómetros

Liotta (2015) menciona que estos dispositivos desempeñan la función crucial de medir la presión del agua, resultan herramientas fundamentales para identificar posibles fallas en el funcionamiento del sistema de riego. Estratégicamente ubicados antes y después del sistema de filtración, estos dispositivos permiten evaluar tanto la presión de entrada en el cabezal como la presión de salida. Es importante señalar que los bloqueos suelen ocurrir con mayor frecuencia en los equipos de filtrado, lo que puede generar pérdidas de carga significativas.

La colocación de estos dispositivos antes del sistema de filtrado proporciona información crucial sobre la presión de entrada del cabezal antes de que los filtros experimenten pérdidas de carga. Además, se instala otro dispositivo al final del cabezal para indicar la presión de salida. Ambos puntos de medición son esenciales al diseñar el sistema, ya que ofrecen datos fundamentales para garantizar un rendimiento óptimo.

4.3.3.8. Válvulas

Según Aguinsaca (2020), las tuberías necesitan de válvulas y accesorios que garanticen que la descarga de agua este bajo control, las válvulas más importantes son:

Válvula de compuerta: Estas válvulas, clasificadas como dispositivos de cierre, se emplean para regular la presión y la descarga en sistemas de riego. Requieren una atención constante, ya que solo el 10% de la apertura de la compuerta ejerce un control efectivo de influencia, mientras que el 90% restante no tiene impacto directo en la descarga. Su funcionamiento se caracteriza por transformar la energía de presión en energía cinética, permitiendo que el flujo atravesase de manera más eficiente la abertura estrecha.

Válvulas de mariposa: Aunque comparten similitudes en su función con las válvulas de compuerta, las válvulas de mariposa presentan una operación más sencilla. Su mecanismo implica un disco giratorio alrededor de un eje que abarca el diámetro de la tubería. A pesar de su facilidad de operación, su utilización no siempre resulta ideal, ya que el disco puede convertirse en un obstáculo para el flujo, propenso a acumular escombros. Es esencial destacar que, si la válvula se cierra de manera brusca, podría generar un golpe de ariete.

Válvulas de aire: Permiten liberar aire que se puede acumular en puntos altos, por lo cual es una buena práctica incluir estas válvulas en dichos sitios.

Válvula de retención o válvula de reflujo: Este accesorio se presenta como una elección óptima para tuberías alimentadas por bomba, ya que previene daños ocasionados por golpes de ariete. Asimismo, resulta esencial en tuberías de suministro de agua para evitar la aspiración de agua contaminada al cerrarse la tubería. La función principal de esta válvula radica en posibilitar el flujo unidireccional del agua, impidiendo el retorno del flujo una vez que se detiene el flujo principal.

Válvulas de control: como su nombre mismo lo dicen son válvulas de control disponibles para controlar problemas de descarga y presión, reducción y mantenimiento de presión, control de sobretensión.

4.4. Evaluación del sistema de riego

Es crucial evaluar minuciosamente la eficiencia del sistema de riego por goteo, ya que cualquier falta de eficiencia puede conllevar a un derroche excesivo de energía, distribución inadecuada del agua y variaciones en la producción de cultivos, entre otros (INTAGRI, 2017).

Bohórquez (2014) menciona que, para conocer el estado de las instalaciones es necesario realizar una evaluación del sistema de riego:

- **Al término de la instalación del sistema:** Este paso es fundamental para garantizar al agricultor que la instalación funciona de manera adecuada y de acuerdo con las proyecciones planificadas.
- **Durante la campaña de riegos:** Se debe realizar un control continuo de la uniformidad del volumen de agua aplicada, tanto al inicio como a mediados de la campaña de riegos.
- **En caso de sospecha de problemas:** Cada vez que exista la sospecha de algún problema en la instalación, como obstrucciones, fugas o dimensionamiento incorrecto, que pueda alterar la uniformidad del riego.

En el proceso de evaluación del sistema de riego, es esencial considerar:

4.4.1. Evaluación de la uniformidad de riego

Fernández (2010) destaca que el objetivo fundamental en el diseño del sistema de riego es alcanzar una alta uniformidad en la aplicación del agua, lo cual se logra al mantener las fluctuaciones de presión a lo largo de la tubería lateral dentro de un rango aceptable.

La uniformidad de aplicación se refiere a la distribución homogénea del agua en todos los puntos del campo regado. Una adecuada uniformidad garantiza un riego equitativo para todas las plantas, evitando situaciones donde algunas absorben demasiada agua mientras otras carecen de ella. Esto asegura un crecimiento uniforme del cultivo y maximiza el rendimiento (Palacios, 2018).

Una parte esencial en la evaluación de las instalaciones de riego es la evaluación de la uniformidad del riego, que comienza con la selección de un conjunto de plantas, idealmente alrededor de 16 plantas, según la investigación de Merriam y Keller en 1978 (Hernández et al., 2014). Posteriormente, se eligen las unidades de riego más representativas de la instalación para evaluar la uniformidad del sistema de riego localizado. Una unidad representativa debe tener un tamaño medio, representar la pendiente promedio de la instalación, ubicarse en una zona central y tener laterales de longitud media. Si es necesario, se seleccionará también la unidad que presente condiciones desfavorables, ya sea la más alejada o cercana al cabezal de riego según la pendiente, con laterales o tuberías terciarias más largas y con pendientes mayores (Loboa et al., 2011).

Una vez seleccionada la unidad representativa de la instalación, se elige una subunidad (preferiblemente la más representativa) para su evaluación. En este proceso, se determinan inicialmente los coeficientes de uniformidad de la subunidad elegida y, posteriormente, los de

la unidad de riego. Este enfoque garantiza una evaluación integral y precisa de la uniformidad en el sistema de riego.

4.4.2. Eficiencia del sistema de riego

Gonzales (2021) menciona que, esta es la relación entre la cantidad de agua empleada por el cultivo y la cantidad de agua suministrada. Esta relación se establece desde la captación del recurso en la bocatoma principal hasta su desviación a través de los canales de distribución para alcanzar el nivel de la parcela. Evaluar este vínculo implica examinar el caudal captado en la bocatoma y la cantidad específica de agua destinada al riego del cultivo. Este análisis es esencial para comprender la eficiencia del sistema de suministro y su impacto directo en las necesidades hídricas del cultivo.

Franco (2018), menciona que la eficiencia de riego está compuesta por:

4.4.2.1. Eficiencia de conducción

Contribuye a la evaluación de la pérdida de agua en el canal principal, desde la bocatoma hasta la sección final del conducto principal. Además, se define como el porcentaje del volumen de agua entregado a las parcelas para riego con respecto al volumen derivado de las fuentes de abastecimiento. En la práctica, la eficiencia de conducción puede experimentar variaciones según factores como la calidad del diseño del sistema, los materiales utilizados, el mantenimiento del sistema y la destreza del productor en la gestión del riego. De acuerdo con diversos estudios, los sistemas de riego por goteo pueden alcanzar eficiencias de conducción teóricas del 90-95%. Sin embargo, en la realidad, la eficiencia de conducción puede disminuir debido a una gestión inadecuada del riego.

4.4.2.2. Eficiencia de distribución

Evalúa las pérdidas que ocurren desde la toma lateral del canal principal hasta la entrega a los usuarios en la zona de riego. La eficiencia de un sistema de riego se determina a través de sus canales de distribución, cuyo estado y estructura son factores determinantes.

La calificación de la instalación se asigna en función del valor obtenido en la Uniformidad de Distribución (UD).

Tabla 2. Clasificación de indicadores de desempeño en riego por goteo.

Valor de la uniformidad de distribución	Calificación
> 95 %	Excelente
85- 95 %	Bueno
80- 85 %	Aceptable
70- 80 %	Pobre
<70 %	Inaceptable

Fuente: (Bohórquez, 2014)

4.4.2.3. Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación (E_a) representa el porcentaje de agua disponible para las plantas que efectivamente se aplica mediante el sistema de riego seleccionado. Aquella porción de agua que no está disponible en la zona radicular de la planta podría haberse perdido debido a procesos como la evaporación, la desviación de las gotas ocasionada por el viento, fugas de agua en el sistema de tuberías, escorrentía subterránea o percolación profunda.

4.5. Operación del riego por goteo

La operación del riego consiste en el correcto manejo de los equipos, materiales y componentes que conforman el sistema de riego, con el fin de garantizar el abastecimiento adecuado de agua en cantidad y oportunidad para satisfacer las necesidades de irrigación del cultivo. Para lograr esto, el operador del sistema debe cumplir con los horarios y frecuencias de riego específicos para cada sección del mismo, verificando las presiones hidráulicas de la red a través de los manómetros (INTAGRI, 2019).

Según Portal Frutícola (2019), algunas consideraciones generales a tomar en cuenta para la operación de un sistema de riego por goteo son:

- Se debe asegurar que todo el sistema esté correctamente instalado y en buenas condiciones, con los tubos, boquillas y emisores de goteo limpios y en buen estado.
- Es importante programar adecuadamente el temporizador o controlador del sistema de riego para establecer los horarios de riego correctos, considerando factores como la temperatura y la estación del año.
- También es fundamental controlar la presión de agua, que esté dentro del rango recomendado y realizar una inspección visual antes de encender el sistema para asegurar que no haya obstrucciones.

- Se monitorea cuidadosamente durante su funcionamiento para realizar ajustes si es necesario.
- Finalmente, se recomienda realizar un mantenimiento regular para limpiar filtros y emisores de goteo, reemplazar piezas desgastadas y realizar inspecciones periódicas.

4.6. Mantenimiento de los sistemas de riego.

El manejo y mantenimiento adecuados de los sistemas de riego tienen un impacto positivo en el rendimiento de los cultivos, en la vida útil del sistema y en la optimización de las prestaciones de los sistemas de riego. Este mantenimiento contribuye por tanto positivamente en la rentabilidad de la inversión. Para lograr estos resultados, se deben implementar programas regulares con pautas de manejo y mantenimiento organizadas (Santana *et al.*, 2018).

Según Netafim (2010), para que un sistema de riego por goteo funcione bien y dure más tiempo, es fundamental hacerle un mantenimiento adecuado. Estos son algunos consejos generales para cuidar un sistema de riego por goteo:

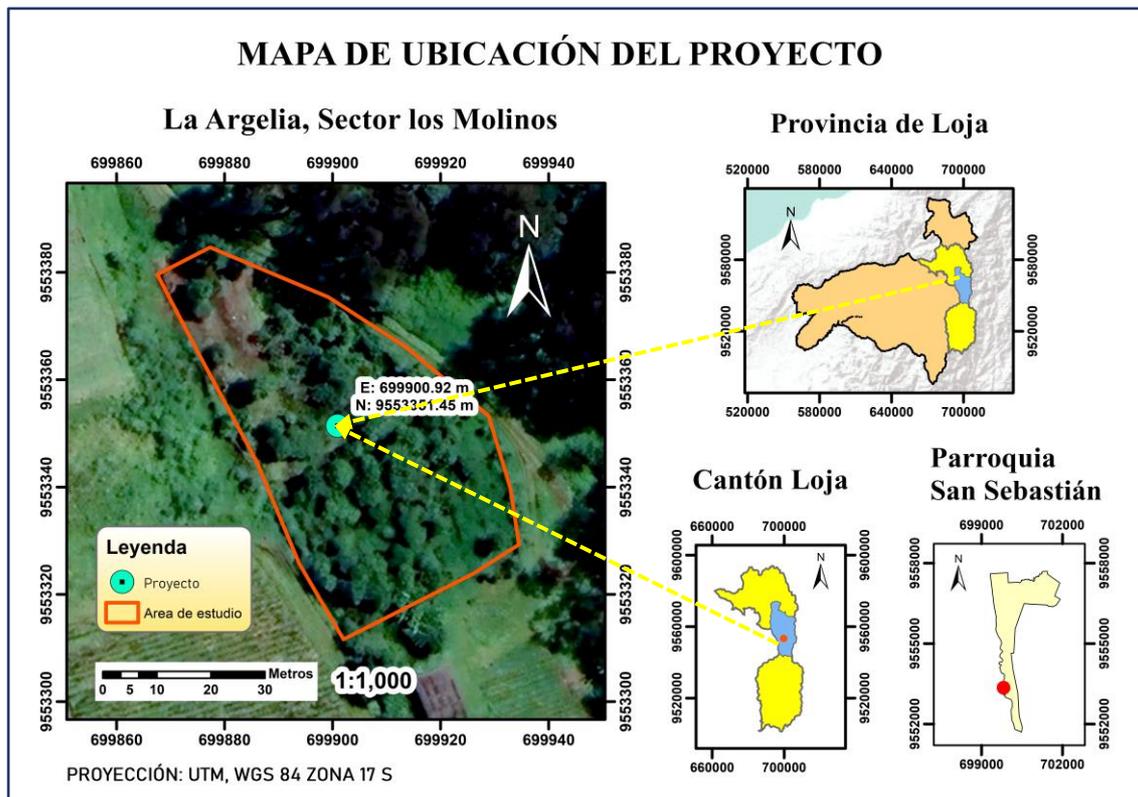
- **Lavado frecuente:** Lavar el sistema con frecuencia para evitar que se tapen las líneas con sedimentos y restos orgánicos. Enjuagar las líneas de goteo hasta que el agua salga limpia y transparente. La frecuencia del lavado dependerá de la calidad del agua y se aconseja hacerlo al menos una vez al año.
- **Revisión de filtros:** Revisar los filtros regularmente para asegurarse de que estén limpios y en buen estado. Los filtros sucios pueden disminuir el flujo de agua y causar una presión baja en el sistema.
- **Revisión de goteros:** Revisar los goteros de vez en cuando para asegurarse de que funcionen correctamente y de que no estén tapados o rotos.
- **Programación correcta del riego:** Programar el riego para asegurarse de que el agua se reparta de manera uniforme y no se formen charcos. También recomienda cambiar la frecuencia y la duración del riego según el clima y la estación.
- **Elección adecuada de componentes:** Asegurarse de elegir componentes de buena calidad, como tubos, goteros, conectores y válvulas, para garantizar un rendimiento eficaz y duradero del sistema.

5. Metodología

5.1. Ubicación del sistema de riego

El sistema de riego por goteo se instaló en una superficie de 2 000 m² en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja; en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur **Latitud N:** 9553351,92 m y **Longitud E:** 699900,92 m (Figura 3), altura promedio es de 2 100 m s.n.m. La temperatura media anual de 15 °C y precipitación anual de 956,4 mm., correspondiente a la información climática de la Estación del Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología (INAMHI) La Argelia – Loja. Cabe mencionar que este Trabajo de Integración Curricular se enmarca dentro del Proyecto de Investigación: “Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos micorrízicos sobre la macroporosidad del suelo y el crecimiento inicial del caféto (*Coffea arabica* L.) en dos agroecosistemas de la provincia de Loja, Ecuador” del periodo 2021- 2023.

Figura 3. Mapa de ubicación de proyecto de investigación.



Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM)

Elaborado: Autor

Antes de detallar el proceso metodológico mediante el cual se llevó a cabo la instalación y evaluación del sistema de riego por goteo, es necesario señalar lo siguiente:

- Se contó con el diseño del método de riego tanto agronómico como hidráulico, así como los planos, detalles constructivos y la lista de materiales con el fin de implementar el riego por goteo.
- El área del cultivo de café es de 960 m² y se encuentra dividida en tres módulos (bloques) de 320 m² cada uno.
- La fuente de agua y la estación de bombeo están ubicadas en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur 699890,509 m E y 9553798,612 m N cuya altura es de 2050 m s.n.m. A una distancia de 350 m aprox. del área a regar y son de uso compartido con las diferentes áreas productivas de la Quinta Experimental “La Argelia”.

5.2. Materiales y equipos

Para la instalación y evaluación del sistema de riego por goteo se utilizó el plano de detalles constructivos, herramientas manuales (cierra, llaves, sacabocados, taladro, entre otros.), vasos plásticos, manómetros de glicerina, cronómetro, cinta métrica, piola, probeta, libreta de apuntes, computador, calculadora, material de impresión y suministros.

5.3. Metodología de estudio

El propósito principal de este estudio es mejorar la gestión del agua de riego a través de la implementación y evaluación del sistema de riego por goteo. Para alcanzar este objetivo, se adoptó un enfoque cualitativo, eliminando la necesidad de realizar experimentos o manipular variables para evaluar el impacto del riego por goteo. En su lugar, se llevó a cabo un análisis observacional que examinó las variables en su entorno natural. Este enfoque se centró en proporcionar una descripción exhaustiva de los diversos aspectos relacionados con la instalación y evaluación del sistema de riego por goteo.

5.4. Metodología para el primer objetivo: *Instalación del sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja*

5.4.1. *Replanteo y excavación de zanjas para la instalación del riego*

Para el replanteo del sistema de riego por goteo, se emplearon los planos constructivos adjuntos en los anexos 1 y 2. Utilizando una cinta métrica, estacas y cuerda, se delimitaron las líneas correspondientes a la red de tuberías principales y secundarias.

Previo a la excavación de las zanjas, se procedió a limpiar y despejar los bordes del terreno. Las zanjas se cavaron con una longitud de 51 metros para la tubería principal y 12

metros para la tubería secundaria de cada módulo, siguiendo los estándares y especificaciones requeridos para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema de riego.

5.4.2. *Instalación del riego por goteo*

El cabezal de riego y fertirriego se armó de forma independiente y se acopló a las líneas principales de la tubería. Luego, se unió la tubería principal a la de alimentación y por ende a la fuente de agua. Se instaló la red de tuberías secundarias y laterales de riego, con sus respectivos accesorios, incluyendo tres válvulas de paso para cada bloque. Cada fila del cultivo contó con dos laterales de riego de 31 m de longitud, dispuestos sobre la superficie según el plano constructivo, y con dos emisores no compensantes por planta. Al finalizar la instalación del sistema de riego se realizó una prueba de operación para verificar su correcto funcionamiento. Después se procedió al relleno de las zanjas.

5.5. Metodología para el segundo objetivo: *Evaluación del funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo instalado*

Después de instalar el sistema, se evaluó su funcionamiento para comprobar que el agua suministrada cumpliera con los criterios de diseño en términos de cantidad y uniformidad. Para ello, la evaluación se realizó en dos etapas que comprenden: evaluación de los componentes de instalación y la evaluación de la uniformidad del sistema de riego en la que se aplicó la metodología de Merriam y Keller, (1978) modificada por Chamba (2020).

5.5.1. *Evaluación de los componentes de la instalación*

En esta etapa se examinaron los componentes del sistema, tales como tuberías, accesorios, cabezales y otros elementos relevantes, mediante una inspección detallada de la instalación para verificar que no existan fugas de agua o averías.

5.5.1.1. Equipos de filtrado

Se recopiló la siguiente información sobre el equipo de filtrado:

- Las características y estado del elemento filtrante (anillas).
- El estado general del filtro.

(Ruiz, 2008).

5.5.1.2. Equipo de fertirrigación

Del equipo de fertirrigación, se tomó en cuenta lo siguiente:

- Tipo de equipo, su capacidad y características.

- Ubicación del equipo dentro del cabezal de riego.

5.5.1.3. Elementos de control (cortadoras)

Para evaluar los dispositivos (cortadoras), se registró el número, la ubicación dentro del sistema de riego, el diámetro y otras características relevantes (estado de las conexiones, juntas, etc.) de cada uno de ellos en la instalación de riego, con el fin de verificar su correcto funcionamiento.

5.5.1.4. Laterales y emisores

Se anotaron los diámetros y su posición respecto a las plantas, así como la existencia de fugas, roturas u otros problemas en las conexiones. Para los emisores, se registró su tipo (según inserción, compensación, etc.) y su caudal nominal. Además, se observó si había obturaciones, fugas y roturas en los mismos (Bohórquez, 2014).

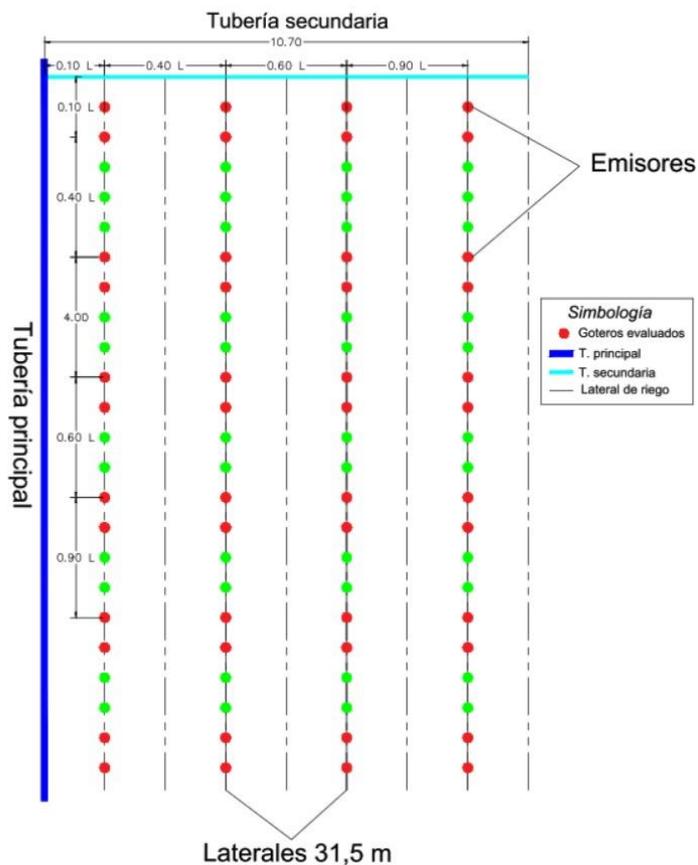
5.5.2. Evaluación de la uniformidad de riego

Siguiendo la metodología de Merriam y Keller, (1978) modificada por Chamba (2020) para evaluar la uniformidad del sistema de riego se seleccionó sub unidades (módulos); la más cercana y más lejana del cabezal de riego. Sin embargo, dado que el área de instalación del sistema es pequeña se evaluaron todos los módulos en los que se encuentra dividida la unidad de riego de forma individual.

5.5.2.1. Uniformidad del sistema de riego

Para evaluar la uniformidad dentro de cada módulo de riego, se utilizaron tres coeficientes: la Uniformidad de Distribución de Caudales (UD), la Uniformidad de Distribución de Presiones (UDP) y el Coeficiente de Uniformidad Christiansen (CU). Para calcular la uniformidad y eficiencia del sistema de riego se seleccionaron un total de 32 emisores distribuidos uniformemente dentro de cada módulo (ver Figura 4). Para esta selección, se midió la distancia total desde la matriz donde nacen los laterales y luego se midieron distancias al 10 %, 40 %, 60 % y 90 %, eligiendo así el lateral ubicado a la distancia correspondiente. En cada lateral se escogió ocho emisores siguiendo el mismo criterio. La medición se la realizó bajo cuatro distintas presiones (20, 15, 10 y 5 mca) con la finalidad de determinar la curva de descarga del emisor durante un tiempo de 4 minutos, con dos repeticiones por cada presión. Se utilizó una probeta para medir el volumen suministrado en los emisores en el tiempo establecido.

Figura 4. Esquema de evaluación del sistema de riego.



Elaborado: Autor

Con el caudal de cada emisor, se calculó la UD aplicando la siguiente fórmula:

$$UD = 100 * \frac{q_{25\%}}{q_m}$$

Donde:

UD: Uniformidad de distribución.

q_{25%}: a media de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte de más bajo caudal.

q_m: media de los caudales medidos en todos los emisores.

También se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen citado por Sarango (2019), el cual se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$Cu = 100 \left[1 - \sum \frac{Z1 - \bar{m}}{\bar{m} * N} \right]$$

Donde:

Cu= Coeficiente de uniformidad (%).

Z1= Lámina de agua medida de los emisores (mm).

\bar{m} =Media de las láminas recolectadas (mm).

N= Número de puntos de medida.

Para finalizar la evaluación de la uniformidad de la subunidad de riego, se midió la presión en cada uno de los emisores elegidos y se calculó la UDP, que indica la homogeneidad de la subunidad en cuanto a presiones. Con los datos de presión obtenidos se calculó:

$$UDP = 100 * \left(\frac{p_{25\%}}{p_m} \right)^x$$

Donde:

UDP: Uniformidad de Presiones.

$p_{25\%}$: media de las presiones medidas en los emisores que representan la cuarta parte de más baja presión.

p_m : media de las presiones medidas en todos los emisores.

x : exponente de descarga.

(Fernández, 2010)

5.5.3. Eficiencia de aplicación óptima del sistema de riego

La eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación con el total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados.

El valor de la eficiencia se verá afectada por la superficie de la parcela, para lo cual tendrá una relación de proporcionalidad. Teniendo esto en cuenta se empleó la siguiente ecuación en caso de tener varias parcelas:

$$E_a = \frac{An * Er1 + An * Er2 + An * Er3}{An + An + An}$$

Donde:

An: Area de la parcela.

Er: Eficiencia de riego en la parcela

(Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2015)

5.6. Metodología para el tercer objetivo: *Elaboración de un manual para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego*

Según lo señalado por FAO (1999), la importancia de contar con un plan de operación y mantenimiento para un sistema de riego radica en diversas razones fundamentales, todas dirigidas a asegurar la eficiencia y sostenibilidad del sistema. Por esta razón, se ha elaborado un manual detallado de operación y mantenimiento, basado en la instalación y evaluación de sus componentes, con el objetivo de optimizar su funcionamiento y prolongar su vida útil.

El manual contiene:

- Descripción del sistema de riego.
- Definición de conceptos.
- Detalles de los componentes del sistema de riego y función.
- Operación del sistema de riego.
- Mantenimiento del sistema de riego.

6. Resultados

6.1. Instalación del sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja

6.1.1. Replanteo y excavación de zanjas para la instalación.

Finalizado el replanteo, la marcación y medición para la ubicación de las líneas de tubería principales y secundarias (Figura 5), se procedió a la limpieza y excavación de las zanjas.

Figura 5. Replanteo de la tubería principal y secundaria.



Las zanjas excavadas son de sección rectangular con una profundidad de 0,40 m y un ancho de 0,35 m (Figura 6). La longitud de las zanjas fue de 51 m para la tubería de principal y 12 m para la tubería secundaria de cada módulo. Se utilizó tubería de PVC con un diámetro de 32 mm para toda la red de tuberías. En total, se removieron 10,44 m³ de material de la excavación de las zanjas para las tuberías principales y secundarias.

Figura 6. Excavación de las zanjas para la tubería principal y secundaria.



6.1.2. Instalación del cabezal de riego y fertirriego

El segundo componente en instalarse fue el cabezal de riego y fertirriego cuyas especificaciones técnicas se presentan a continuación (Tabla 3):

Tabla 3. Especificaciones del cabezal de riego y fertirriego.

Componentes del sistema de riego	Características	Material	Foto
Tubería de montura. Cabezal de riego.	Tubería PN: 1,25 MPa Ø: 32 mm	PVC	
Accesorios de acople y Válvulas de control	Ø: 32 mm 1"	PVC	
Manómetros	De glicerina. Cant: 2		
Sistema de filtrado.	filtro de anillas 120 mesh 1"		
Cabezal de fertirriego	Tubería. PN: 1,25 MPa Ø: 20 mm	PVC	
Accesorios de acople y Válvulas de control	Ø: 20 mm 1/2"	PVC	
Sistema de fertirriego.	2 manómetros pequeños. Venturi 1/2 "		

El cabezal de riego fue implementado utilizando una tubería de PVC de 32 mm. Este componente inicia con una válvula de compuerta de 1", seguida de un manómetro de glicerina y una válvula universal de PVC de 32 mm. A continuación, se establece el sistema de filtrado, que incluye un adaptador macho flex de 1", un filtro de anillas 120 mesh de 1", un segundo adaptador macho flex de 1" y otro manómetro de glicerina. Una vez completado el sistema de filtrado, se procedió a instalar el sistema de fertirriego. Para ello, se construyó una segunda torre que incluye válvulas de bola de 1/2", manómetros, adaptadores y un Venturi de 1/2" (Tabla 3). Esta torre también cuenta con otros accesorios que facilitaron las conexiones y uniones.

6.1.3. Instalación de la red de tuberías, laterales y emisores

La instalación del sistema de riego (tubería principal, secundaria, laterales y emisores) se la realizó de acuerdo con los criterios de diseño planteados. Además, se consideró las características específicas de cada tipo de tubería (Tabla 4).

Tabla 4. Especificaciones de la tubería, laterales y emisores de riego.

Componentes del sistema de riego	Características	Material	Foto
Tubería principal y secundaria.	Tubería PN: 1,25 MPa Ø: 32 mm	PVC	
Accesorios de acople y Válvulas de control	Ø: 32 mm 1"	PVC	
Laterales de riego	Tubería Pn: 0,4 MPa Ø= 16 mm Longitud: 31 m	PE	
Emisores	Gotero no compensante Q= 4 l/h PN: 3 bares PO: 10,19 mca		

- **Tubería principal y secundaria**

Para la instalación de la tubería principal y secundaria del sistema de riego, así como para la colocación de las válvulas de paso, se emplearon los siguientes materiales: tubería de PVC de 32 mm, tee de 32 x 32 mm, válvulas de bola de 32 mm, codos de 32 mm con una inclinación de 45°, codos de 30 mm con una inclinación de 90°, adaptadores machos de 32 mm por 1". Además, se utilizó un tapón roscado hembra para sellar el final de la tubería (Figura 7).

Figura 7. Instalación de la tubería principal y secundaria.



- **Laterales y emisores de riego**

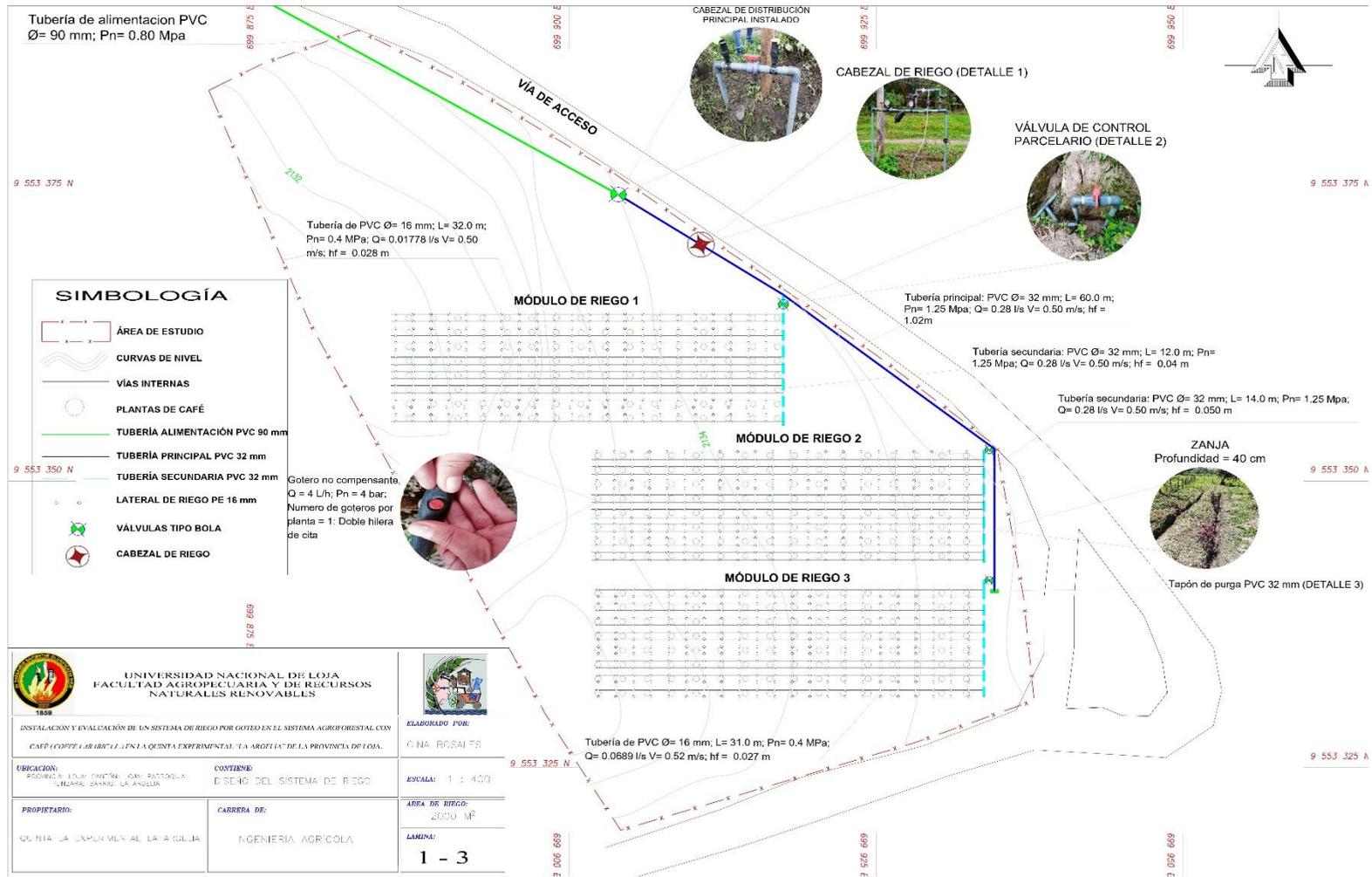
Se instalaron un total de 16 laterales para cada bloque a partir de la tubería secundaria, para su implementación se utilizó: maguera ciega de 16 mm de diámetro, empaques, conectores iniciales de 16 mm, uniones y terminales. Se ubicaron dos emisores (goteros) no compensantes en la base de cada planta (Figura 8).

Figura 8. *Instalación de los laterales y emisores de riego.*



Finalmente se presenta el plano donde se destacan las dimensiones de zanjas utilizadas en el sistema, las características de las tuberías, válvulas, cabezales de riego y fertirriego y módulos de riego. El plano del sistema proporciona una visión general de los componentes utilizados para el riego en el cultivo de café (Figura 9).

Figura 9. Detalles del sistema de riego instalado.



6.2. Evaluación del funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo instalado

Una vez realizadas las dos etapas de evaluación del sistema de riego se determinó lo siguiente:

6.2.1. Evaluación de los componentes de la instalación

Una vez finalizada la inspección de los componentes del sistema de riego instalado, estos fueron caracterizados en función de su estado actual y del material con el que fueron construidos.

Tabla 5. Componentes del sistema de riego.

Componentes del sistema de riego	Características	Estado	Material	Foto
Fuente de Agua	Reservorio de forma trapezoidal Capacidad: 450m ³	Bueno	Recubierto con geomembrana	
Fuente de energía	Modelo: CPM 680 C PEDROLLO Q: 50 450 l/min Hmax: 52 m Hmin: 40 m 5.5 HP Tipo de energía: Trifásica	Regular		
Tubería de alimentación	Tubería PN: 1 MPa Ø: 90 mm Longitud: 350 m aprox.	Bueno	PVC	

Red de tubería principal	Tubería PN: 1,25 MPa Ø: 32 mm Longitud: 51 m	Bueno	PVC	
Red de distribución secundaria	Tubería PN: 1,25 MPa Ø: 32 mm Longitud: 36 m	Bueno	PVC	
Equipo de filtrado.	Filtro de anillas/ 120 Mesh	Bueno	PVC	
Equipo de fertirrigación	Venturi Ø: 1/2" Q_i^1 : 35,73 l/h Q_s^2 : 1146,25 l/h F_d^3 : 32,08 l/h	Bueno		
Accesorios y elementos de control	Cortadora tipo bola Total: 6 3 en el cabezal 3 inicio de cada bloque.	Bueno	PVC	

¹ **Qi**: Caudal de inyección

² **Qs**: Caudal del sistema por bloque

³ **Fd**: Factor de dilución

	<p>Tapones Total: 4. Final de la tubería principal y secundaria.</p>	Bueno	PVC	
	<p>Manómetros Total: 4 Entrada y salida del filtro y del Venturi</p>	Bueno		
	<p>Válvula de compuerta Ø= 1" Inicio del cabezal de riego</p>	Bueno	Cobre	
Laterales de riego	<p>Tubería PN: 0,4 MPa Ø= 16 mm Longitud: 31 m</p>	Bueno	PE	
Goteros	<p>Goteros no compensantes "KATIF" Q= 4 l/h PN: 3 bares PO: 10,19 mca</p>	Bueno		

Según se detalla en la Tabla 5, el sistema de riego por goteo instalado incluye un reservorio trapezoidal en tierra, recubierto con geomembrana con una capacidad de 450 m³. La fuente de energía es una bomba trifásica de 5,5 HP con una capacidad de impulsión que varía entre 50 y 450 l/min. El sistema se alimenta a través de una tubería de PVC de 90 mm

x 1 MPa, y la red de tuberías, tanto principales como secundarias, es de 40 y 32 mm x 1,25 MPa en PVC.

El sistema cuenta con un filtro de anillas con una capacidad de filtrado de 120 Mesh, así como un equipo de fertirrigación Venturi de ½ pulgada de diámetro. Este último tiene un caudal de inyección y succión de 35,73 l/h y 1146,25 l/h respectivamente, y su factor de dilución es de 32,08 l/h. Además, se incluyen laterales de riego de 16 mm en polietileno y goteros autocompensantes con una capacidad de 4 l/h.

La mayoría de los accesorios que componen el sistema de riego son de PVC. En general, los componentes del sistema se encuentran en buen estado, sin presentar fallas ni fugas, lo que sugiere un funcionamiento adecuado del sistema de riego instalado.

6.2.1. Evaluación de la uniformidad de riego

Además de evaluar cada componente del sistema de riego por goteo de manera individual, se llevó a cabo un análisis integral de la eficiencia del sistema. Este análisis incluyó la medición de la presión y el caudal en diversos puntos del sistema, así como la comprobación de la uniformidad del riego en las zonas de cultivo. Esta información adicional permitió obtener una visión más detallada y completa del rendimiento del sistema de riego.

- **Eficiencia de distribución y coeficiente de uniformidad de Christiansen**

La eficiencia de distribución del sistema de riego toma en cuenta la distribución de agua del cuarto inferior de todos los emisores que menos agua emiten. Siguiendo el método de clasificación propuesto por Merriam y Keller (1978), se obtuvo un valor de eficiencia de distribución del 91% (Tabla 6). Este valor, que se encuentra en el rango de 85-95%, se califica como bueno según la Tabla 2. Se observó que a una presión de 20 bares genera la mayor eficiencia de distribución en el sistema de riego.

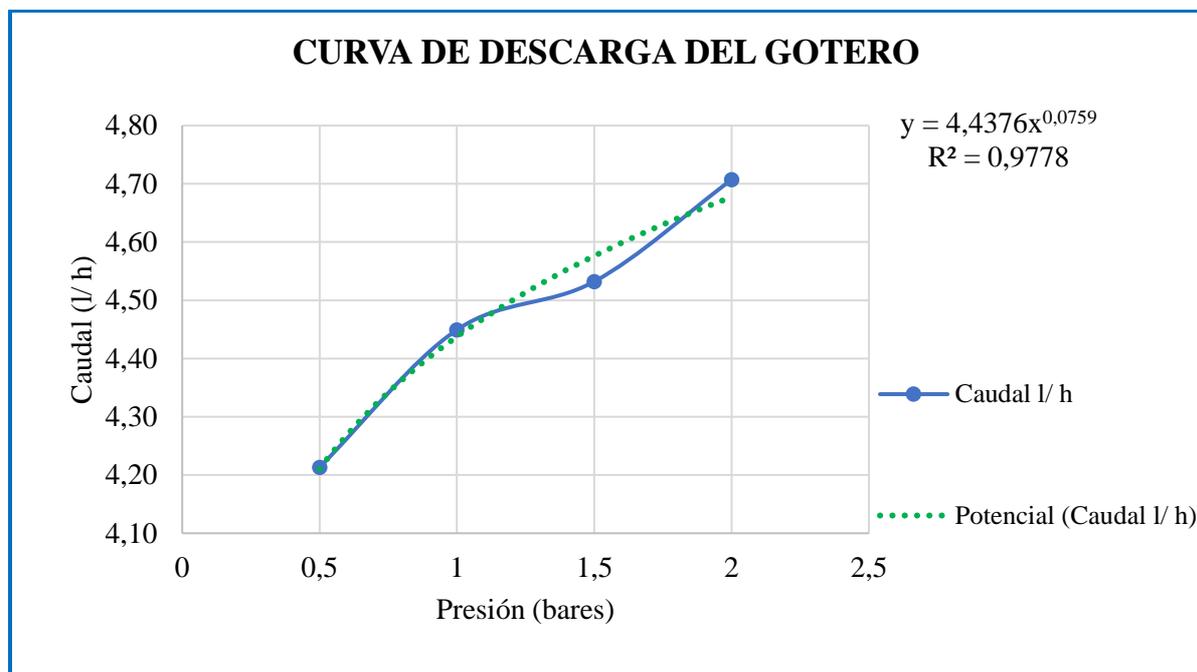
Por otro lado, el coeficiente de uniformidad de Christiansen para el sistema de riego fue del 91%. Según el mismo método de clasificación, este valor indica una buena uniformidad y eficiencia del sistema de riego. En cuanto al Coeficiente de Uniformidad de Presiones (CUP), se obtuvo un valor del 95%, que también se califica como bueno. Finalmente, la eficiencia de aplicación del sistema es del 91% clasificado como bueno.

Tabla 6. Eficiencia del sistema de riego bajo 20 bares de presión.

Bloques	UD (%)	CU (%)	CUP (%)	EA (%)
1	90	89	95	90
2	93	93	95	93
3	91	92	95	91
Promedio	91	91	95	91

La curva de descarga del gotero ilustra la correlación entre la presión (en bares) y el caudal (en l/h). La ecuación que describe esta curva es $y=4,4376x^{0,0759}$, y presenta un coeficiente de determinación $R^2=0,9778$ (Figura 8). Esta alta correlación indica que existe una compensación significativa entre la presión y el caudal del gotero, y que la ecuación se ajusta adecuadamente a los datos observados. Se puede notar que a medida que la presión incrementa, el caudal también lo hace, lo que sugiere que la presión juega un papel crucial en el rendimiento del gotero. Este tipo de información es esencial para el diseño eficiente y la operación de sistemas de riego por goteo.

Figura 10. Curva de descarga del gotero.



6.3. Elaboración de un manual para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego de riego



Manual de Operación y mantenimiento del sistema de riego por goteo



Elaborado por: Gina Rosales



6.3.1. Introducción

Este documento ha sido meticulosamente diseñado para brindar toda la información necesaria para maximizar la eficiencia del sistema de riego por goteo y mantenerlo en condiciones óptimas.

El riego por goteo es una técnica precisa y eficiente que permite la entrega directa de agua a las raíces de las plantas, minimizando el desperdicio de agua y maximizando la absorción de nutrientes. Este sistema garantiza un suministro constante de agua para el cultivo de café, promoviendo un crecimiento saludable y abundante.

En este manual, se proporciona una descripción detallada del sistema de riego, incluyendo la definición de sus componentes principales, así como esquemas y características de estos. Además, se ofrecen consejos prácticos sobre la operación adecuada del sistema y se aborda el tema del mantenimiento. Este último servirá como guía en el proceso de limpieza y revisión periódica de los componentes del sistema, como los filtros y las líneas de goteo, con el objetivo de garantizar un rendimiento óptimo y prevenir posibles obstrucciones o averías.

6.3.2. Descripción del sistema de riego

El sistema de riego por goteo es una técnica especializada que distribuye agua en forma de pequeñas gotas a través de dispositivos llamados “goteros”. Cada gotero tiene una capacidad de descarga que oscila entre 2 y 4 litros por hora.

Este sistema de riego está diseñado específicamente para el cultivo de café y se ha implementado en un área de 2000 m², cuya área de riego es de 960 m² dividida en tres módulos de 320 m². Por lo tanto, es un sistema de riego localizado de tipo parcelario. En total, hay 384 plantas de café (128 plantas por bloque) con una separación de 1 m entre plantas en la misma fila y 1,50 m entre filas.

El sistema de riego cuenta con varios componentes principales:

- Una fuente de suministro de agua (reservorio) y una estación de bombeo que abastece de agua a la quinta.
- Una tubería de alimentación de 90 mm x 1 MPa.
- Tuberías principales y secundarias de 32 mm x 1,25 MPa.
- Un cabezal de riego y fertirriego.
- Elementos de control del sistema, incluyendo válvulas de operación y seguridad.
- Laterales de riego (dos por cada fila de café) con una separación de 10 cm entre ellas.

Estos componentes trabajan en conjunto para proporcionar un riego eficiente y efectivo para el cultivo de café.

6.3.3. Definición de conceptos de los componentes del sistema

6.3.3.1. Estación de bombeo (fuente de presión)

La tarea principal de la unidad de bombeo es extraer agua desde una fuente que puede ser un pozo, tanque o reservorio, luego impulsarla a través de filtros y tuberías, incluidas las principales, secundarias y terciarias, hasta llegar a los emisores. La estación de bombeo generalmente se encuentra a lado de la fuente de agua o lo más cerca posible de la fuente de energía.

Conseguir una presión que garantice el óptimo funcionamiento de sus componentes, es decir, que el equipo de bombeo proporcione la cantidad de agua requerida por el sistema, es esencial para los sistemas de riego.

6.3.3.2. Cabezal de riego y fertirriego

El cabezal de riego también conocido como centro de control, está formado por una variedad de componentes y dispositivos que permiten el impulso, el filtrado y el control del agua de riego. Además, permite agregar pesticidas o fertilizantes al agua utilizada para el riego.

6.3.3.3. Tubería de alimentación y tubería secundaria

Las tuberías principales o matrices transportan el agua desde el cabezal de control hasta las diferentes áreas de riego dentro de la parcela.

Las tuberías secundarias son las que entregan el agua a las tuberías laterales. Al igual que las anteriores van enterradas, por lo general son de diámetros menores.

6.3.3.4. Laterales y emisores

Las tuberías laterales utilizadas en el riego están hechas con polietileno y su tamaño varía entre 12 mm y 20 mm. Por lo general, se colocan en la superficie a lo largo de las filas de cultivo y se utilizan para alojar o conectar los dispositivos que permiten que el agua pase de la red de tuberías al suelo para el riego, los cuales se conocen como emisores. Existen variedad de marcas y modelos de emisores disponibles entre los que se pueden distinguir los emisores clásicos y los emisores auto compensados.

6.3.4. Esquema detallado del sistema de riego

El esquema detallado del sistema de riego es fundamental para garantizar un adecuado suministro de agua a las plantas, maximizar la eficiencia del riego y minimizar el desperdicio de agua. Además, permite identificar fácilmente las partes del sistema de riego que requieren mantenimiento o reparación, lo que posibilita mantener el sistema en óptimas condiciones de funcionamiento.

A

continuación, se muestran los detalles del sistema de riego instalado:

- **Esquema del cabezal de riego y fertirriego**

El cabezal de control del sistema consta de varios componentes (Figura 11), que contribuyen para distribuir eficientemente el agua de riego en el cultivo. Los elementos principales son:

Válvulas (05, 11, 17): Estas regulan el flujo de agua y permiten la apertura y cierre del sistema de riego.

Válvula reguladora de presión (20): Tiene como función principal asegurar una presión constante a los goteros en los distintos módulos de riego. Es esencial implementar una válvula que opere a una presión de entre 10 a 15 mca. Esta válvula debe ser ubicada estratégicamente después del cabezal de riego, ya que las fluctuaciones de presión pueden ser provocadas por la actividad de la bomba o por la fertirrigación, y pueden afectar negativamente la eficiencia del riego y la distribución homogénea de los nutrientes. Al instalar una válvula reguladora de presión, se garantiza que la presión del agua que llega a los goteros se mantenga constante, evitando así problemas de escasez o exceso de agua en diferentes áreas del cultivo.

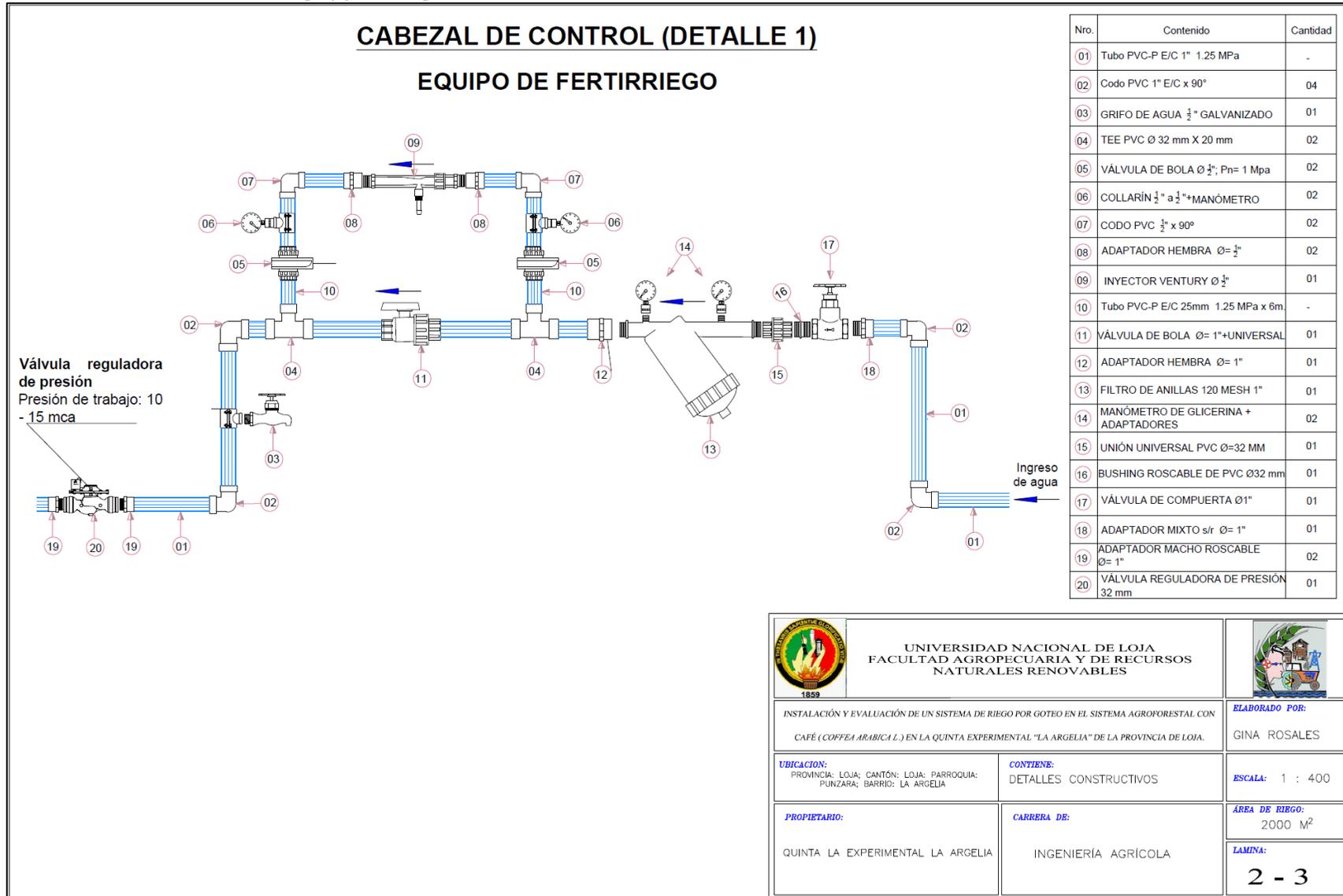
Filtro (13): Este componente se encarga de eliminar las impurezas del agua para prevenir obstrucciones en los emisores.

Inyector Venturi (09): Este elemento es responsable de la aplicación de fertilizantes al sistema.

Manómetros (14): Estos dispositivos permiten el control de la presión en el sistema de riego.

Accesorios de acople (02, 04, 06, 07, 08, 12, 15, 16, 18): Estos componentes facilitan una conexión segura y eficiente del cabezal de riego, aseguran el flujo de agua adecuado y simplifican el mantenimiento del sistema de riego.

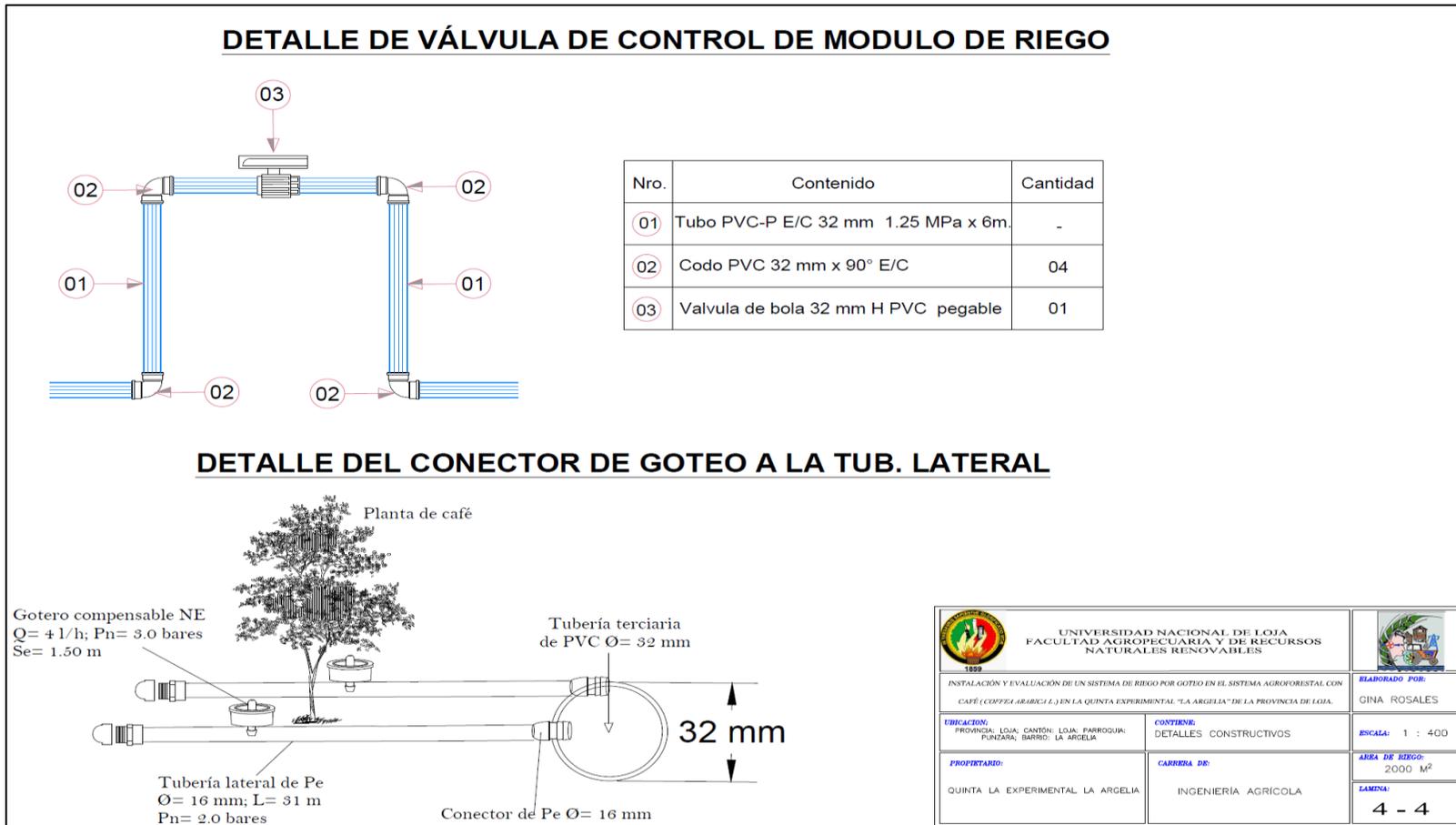
Figura 11. Detalles del cabezal de riego y fertirriego.



- **Detalles de la válvula de control del módulo de riego**

Válvula de paso (03): Esta válvula puede abrirse o cerrarse para permitir o detener el flujo de agua hacia los sectores específicos de riego (Figura 12). Es esencial para regular el suministro de agua de manera eficiente, proporcionando control sobre cuándo y dónde se distribuye el riego en la parcela.

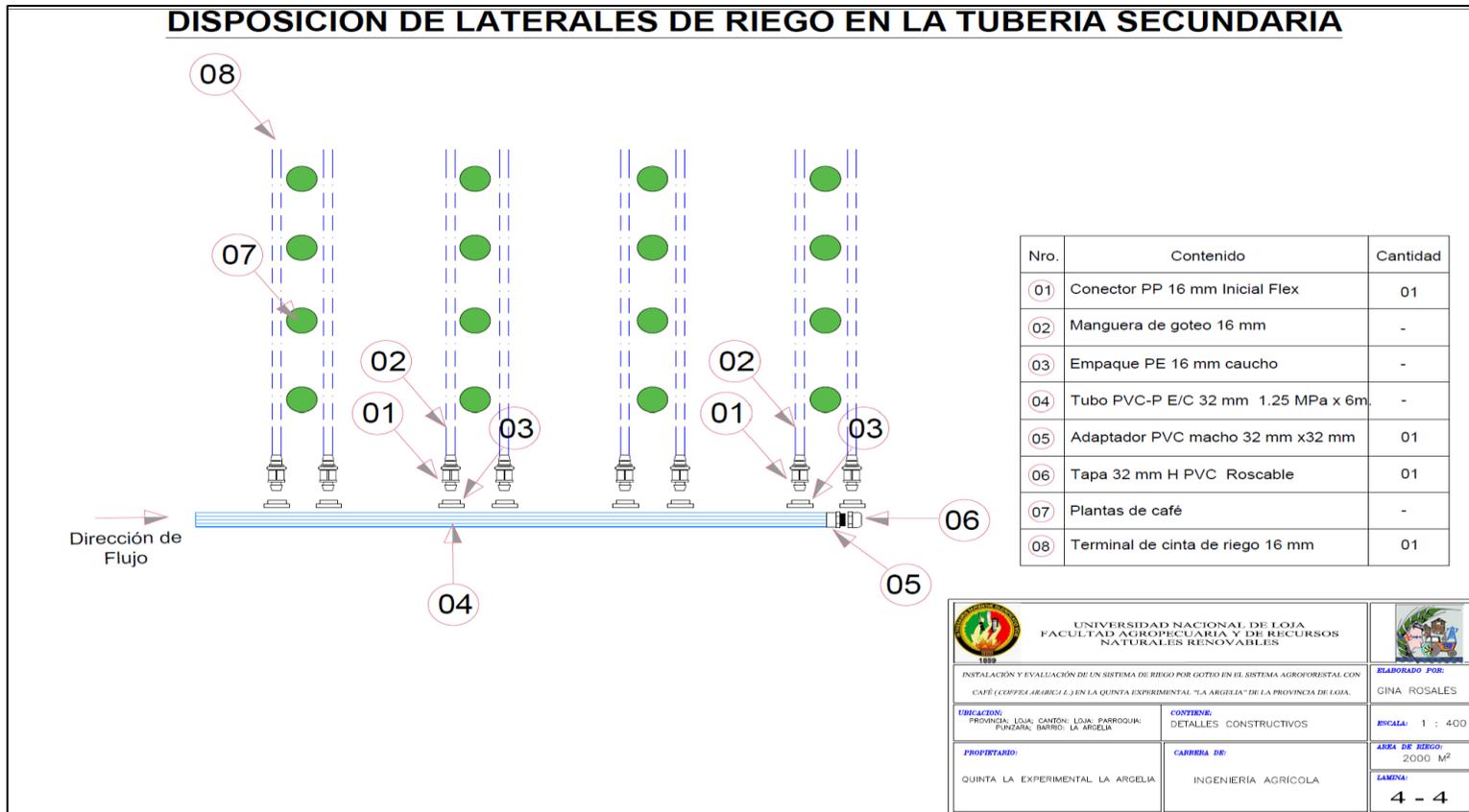
Figura 12. Válvula de control del módulo de riego.



- **Detalles de los laterales de riego**

Laterales (02): Son las líneas de distribución que transportan el agua desde la tubería secundaria hasta las filas del cultivo de café (Figura 13). Su función principal es la entrega precisa y controlada del agua a las raíces de las plantas a través goteros instalados en la línea. Las laterales de riego se componen de un conector inicial y un empaque, proporcionando una conexión segura y hermética. Se han dispuesto dos líneas de riego para cada fila de cultivo, colocadas sobre el terreno para una cobertura uniforme de la superficie de cultivo.

Figura 13. Esquema de los laterales de riego.

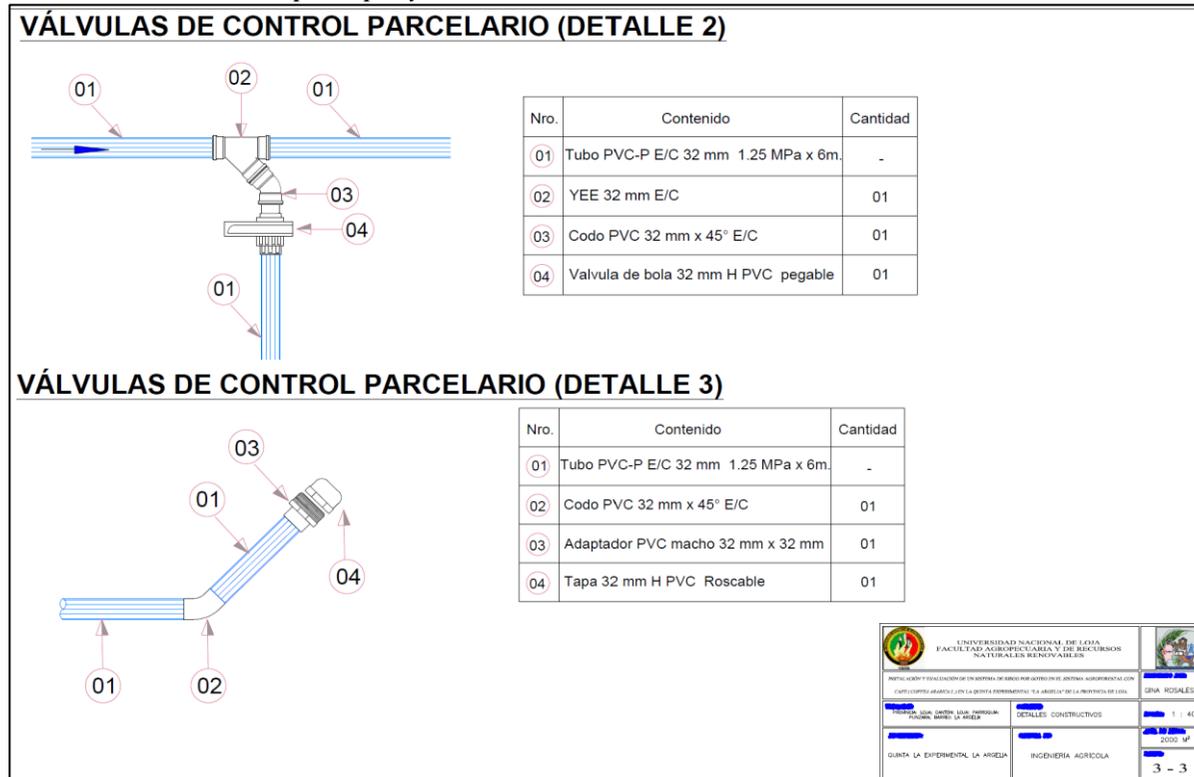


- **Detalles extras del sistema de riego**

Conexión de la tubería principal y secundaria (detalle 2): este sistema de acople permite a la tubería secundaria conectarse a la red principal de suministro de agua (Figura 14) y por ende al cabezal de riego, su sellado evita la existencia de fugas que podrían resultar en desperdicio de agua y pérdida de presión en el sistema.

Tapón final de la tubería secundaria (detalle 3): Utilizado para el proceso de purga y lavado de un sistema de riego, este es fundamental para mantener la eficiencia y prevenir obstrucciones debido a la acumulación de sedimentos, minerales o residuos orgánicos dentro de la red de tuberías.

Figura 14. Detalles de las conexiones de la tubería principal y secundaria.



6.3.5. Operación del sistema

La operación del sistema de riego implica el manejo de todos los equipos, materiales y piezas que componen el sistema de riego para lograr el correcto funcionamiento del sistema a fin de cubrir las necesidades de riego del cultivo.

A continuación, se detalla la forma correcta para hacer funcionar de manera eficiente los componentes del sistema de riego.

6.3.5.1. Estación de bombeo

Las recomendaciones generales de operación del equipo de bombeo son:

- Cerciorarse que la bomba esté colocada en una superficie plana y segura para evitar caídas.
- Verificar los niveles de agua en la fuente de abastecimiento del sistema para asegurar que cumpla con los requisitos mínimos de sumergencia establecidos en el manual de operación de la bomba. Si la bomba no opera con la sumergencia mínima, puede entrar aire en las tuberías y causar interrupciones en el flujo de agua.
- Ajustar los niveles de combustible y aceite: Verificar que el nivel de aceite en el depósito este dentro del rango óptimo de operación. También se debe asegurar que el tanque de gasolina se encuentre completamente lleno antes de iniciar su operación.
- Regular la abertura de válvulas, con la finalidad de ajustar la presión de operación del sistema de riego.
- Al encender la bomba, dejarla calentar de 2 a 5 minutos, con la aceleración mínima.
- Ante fugas o ruidos extraños detener el funcionamiento de la bomba.

6.3.5.2. Purga y llenado de la red de tuberías

Para su correcto funcionamiento se tomará en cuenta lo siguiente:

- Realizar un recorrido a lo largo tanto de la tubería principal como la secundaria con el fin de verificar posibles fugas o corrosión en las conexiones.
- Se procede también a realizar una purga en la red de tuberías, para el efecto se abren las válvulas de paso y se desconecta el tapón ubicado al final de la tubería secundaria y se deja correr el agua por un lapso no menor a 5 minutos, observando la calidad del agua que sale de la tubería.

- Una vez finalizada la purga se debe permitir que las tuberías se llenen completamente para evitar acumulación de aire en ellas, dado que esto podría afectar la presión del agua.
- Se debe comprobar que el agua llegue a todos los puntos del sistema.

6.3.5.3. Manipulación de los elementos de control del sistema

- La apertura y cierre de las válvulas debe realizarse lentamente con total cuidado.
- En la válvula principal se procede a aumentar o disminuir el caudal dependiendo de la cantidad requerida por el sistema.
- Verificar que las conexiones del sistema estén correctamente ajustadas para evitar la existencia de fugas durante el funcionamiento del sistema.
- La aplicación del riego se la debe realizar de forma individual por módulos, para ello se deberá abrir o cerrar las válvulas de paso ubicadas en cada bloque.
- Si se realiza fertirrigación, asegurarse de que los depósitos tienen suficiente cantidad de fertilizante y agua.
- En caso de aplicar fertirriego, hay que tener la precaución de no emplear fertilizantes desde el inicio y hasta el final de la fertirrigación, ya que favorecería la acumulación de precipitados. Por este motivo se recomienda regar unos 5-10 minutos al inicio con agua sola y otros 10 minutos al final del riego, igualmente con agua limpia y sola, todo ello dependiendo de la duración de la fertirrigación. De esta manera el agua que queda en el interior de las conducciones contiene escasos residuos químicos.

6.3.5.4. Laterales y emisores

- Verificar que los laterales estén correctamente posicionados a lo largo del terreno.
- Comprobar que los emisores estén instalados adecuadamente en los laterales y ajustados para garantizar una distribución uniforme del agua.
- Es importante asegurarse de que los orificios de los goteros estén completamente despejados de cualquier obstrucción.
- Confirmar que la presión del agua sea la adecuada para el sistema.
- Ejecutar una prueba de funcionamiento del sistema para verificar el correcto funcionamiento de los laterales y emisores, asegurándose de que se esté aplicando la cantidad adecuada de agua.
- Realice ajustes si es necesario para asegurar que el sistema esté funcionando de manera eficiente y efectiva.

6.3.6. Mantenimiento del sistema

Las actividades de mantenimiento son fundamentales para garantizar la eficiencia y vida útil del sistema. A continuación, se presentan algunas acciones que se deben realizar:

6.3.6.1. Fuente de almacenamiento de agua y estación de bombeo

Aunque el reservorio de agua y la estación de bombeo de la Quinta Experimental "La Argelia" se utilizan en conjunto con las diferentes áreas productivas, es necesario destacar algunas actividades generales de mantenimiento:

- Revisión y limpieza periódica del reservorio. La fuente de agua debe estar libre de algas, restos vegetales, botellas, plásticos o algún elemento que pueda obstruir el ingreso del agua a la tubería de succión.
- Para la estación de bombeo se debe cambiar el aceite cada 40 horas de trabajo y mantener libre de suciedad los resortes y cables de mando.
- Revisar que el nivel de aceite cada 8 horas de funcionamiento.
- No dejar que se apague la bomba por falta de combustible.

6.3.6.2. Filtros

Es importante verificar regularmente la diferencia de presión entre los manómetros de la entrada y salida del filtro, ya que esta discrepancia indica que tan sucio está el filtro. Cuando la diferencia de presión alcance aproximadamente 5 a 7 mca, se debe realizar una limpieza cuidadosa.

Para limpiar manualmente, es necesario quitar suavemente la carcasa de retención del filtro desde la parte inferior, girándola en sentido contrario a las manecillas del reloj. Luego retire el elemento filtrante que contiene las anillas y límpielo con cepillo de cerdas suaves o con una manguera a presión.

Una vez finalizada la limpieza, vuelva a colocar el cartucho y asegure bien la carcasa. Se recomienda realizar esta limpieza mensualmente para mantener el filtro en buen estado.

6.3.6.3. Elementos de control

Es necesario realizar limpieza y chequeos periódicos para evitar cualquier falla en su funcionamiento.

- Inspección visual para comprobar la ausencia de fugas y daños externos.
- Inspección funcional: cierre, apertura y regulación.

- Verificar el ajuste de los pernos y tuercas de ser necesario cambiarlas.

Manómetros: Se sugiere verificar que los no presentes presenten problemas como fallas, rotura del vidrio, pérdida de glicerina o no se encuentren correctamente calibrados. Para ellos, recomendable contar con manómetro calibrado como punto de referencia para comparar las mediciones de los demás manómetros.

6.3.6.4. Equipo de fertirriego

- Para evitar que el que el sistema se vea perjudicado por el fertirriego, es importante asegurarse de que el fertilizante este completamente soluble y no contenga impurezas.
- Realizar una limpieza regular de los tanques de la solución nutritiva.
- Asegurarse de que las válvulas encargadas de regular la inyección de los fertilizantes funcionen correctamente.
- También se recomienda el chequeo del caudal de inyección del equipo de fertirriego.
- Lavar y limpiar el inyector Venturi.
- Evitar la corrosión de las uniones.

6.3.6.5. Tuberías y laterales de riego

- Es importante evitar que las tuberías de PVC estén expuestas al sol durante periodos prolongados, ya que esto puede afectar a su rendimiento o su vida útil.
- Antes del primer riego, es recomendable limpiar tanto las tuberías principales como las secundarias para eliminar cualquier residuo de fertilizantes u otros sedimentos.
- Es necesario verificar regularmente el estado de las tuberías para asegurarse de que no haya fugas o pérdidas de agua.
- Si se detectan fugas o averías, es importante realizar las reparaciones necesarias.
- Para mantener el sistema en buen estado, se recomienda realizar una limpieza periódica abriendo los extremos de las tuberías secundarias y porta emisores mientras se mantiene abierto el riego.

6.3.6.6. Emisores (Goteros)

- Revisar una inspección visual para identificar cualquier obstrucción, daños u otros indicios de deterioro.
- Cambiar los tramos o goteros dañados.
- Examinar la tasa de aplicación de los emisores, seleccionando aleatoriamente algunos y revisando aquellos en los que se espera algún problema al menos dos veces al año.

6.3.7. Consideraciones para tener en cuenta

Se resalta la importancia de la limpieza de todas las tuberías principales, y laterales de riego. Cuando se realice labores de deshierbe en el terreno se deben levantar con cuidado las tuberías laterales, teniendo en cuenta la trayectoria que siguen. Se sugiere mantener completamente despejada y libre de vegetación la zona donde se encuentra el cabezal de riego y las tuberías principales.

7. Discusión

7.1. Instalación del sistema de riego por goteo en la Quinta Experimental “La Argelia”

Durante el proceso de instalación del método de riego, una de las tareas fundamentales fue la excavación de las zanjas. Dado que, en el área de implementación no hay tránsito de maquinaria pesada ni cargas que puedan dañar o alterar la red de tuberías, las zanjas se excavaron con las siguientes dimensiones: 0,40 m de profundidad y 0,35 m de ancho. Además, se llevó a cabo una limpieza manual de los fondos de las zanjas y se utilizó el material extraído durante la excavación para el relleno. Estas medidas coinciden con lo recomendado por Albites y Alvitez, (2015), quienes sugieren que las dimensiones de una zanja para tuberías PVC de 1” de diámetro son de 0,40 m x 0,34 m. Sin embargo, Icochea (2020) plantea que la profundidad de una zanja será definida según las necesidades del proyecto, es decir, las características de uso del área de la instalación. Así mismo, recomienda que, para zonas con alto tránsito vehicular y uso de maquinaria, la profundidad mínima de la zanja sería entre 0,6 m a 0,8 m para asegurar cierta protección ante las cargas y las heladas. Además, indica que el ancho de la zanja estaría en dependencia del diámetro de la tubería a instalar, por lo que se debe dejar un espacio de 0,25 m a cada lado del tubo y que, en la práctica, se opta por realizar excavaciones de 0,60 m de ancho para facilitar la manipulación de los tubos. Por otro lado, Triskeu (2020) señala que, las medidas mínimas de las zanjas para las conducciones de agua serán de 0,35 m de ancho y 0,80 m de profundidad y tras la realización de la excavación se debe realizar un refino y limpieza manual de los fondos de la zanja y que además colocar una cama de arena de 5 cm de aproximadamente que sirva como punto de apoyo para las conducciones. Así mismo, el relleno de las zanjas que se realizó en el presente proyecto coincide con lo planteado por Chavez (2013), quien menciona que el relleno se debe realizar en dos etapas: primero se realizará en contacto con la conducción mediante relleno manual del material que ha sido seleccionado de la excavación hasta al menos 15 cm de altura por encima de la tubería hasta asegurar que las tuberías presentan un recubrimiento total en todo su contorno. Tras ello, la segunda etapa corresponderá en tapar por completo la zanja, dicha labor se realiza con el material ordinario de excavación.

El sistema de riego implementado se compone de varios elementos. Primero, el agua llega a un cabezal de riego que consta de una unidad de filtrado utilizando un filtro de anillas, una unidad de fertirrigación que emplea un inyector tipo Venturi, así como elementos de programación y control, del cabezal parte la red de tuberías (primarias y secundarias) que son la vía de suministro de agua. Existen válvulas de paso para cada bloque o subunidad de riego

y los laterales y emisores no compensantes. Lo cual, concuerda con Pizarro (1996) quien menciona que el esquema de instalación de un sistema de riego localizado de alta frecuencia está compuesto por tres unidades fundamentales: un cabezal de riego, el cual contiene el conjunto de elementos que permiten el tratamiento del agua de riego, su filtrado y medición, control de presión y aplicación de fertilizantes, la red de conducción y distribución (tubería principal, secundaria y laterales) y los emisores. Por su parte, Dioses y Zapata (2017) indican que el cabezal de riego se encuentra compuesto de cuatro unidades fundamentales: una fuente impulsadora de agua (equipo de bombeo), unidad de filtraje, equipo de fertilización y los elementos de programación y control de flujo, misma descripción que concuerda con el sistema de riego instalado en el presente trabajo.

En el área de estudio la red de tuberías se encuentra enterrada y está compuesta por PVC para la tubería principal y secundaria mientras que se utiliza PE para las laterales mismas que se encuentran extendidas sobre la superficie. Esto se debe a que el cultivo predominante es una plantación de *C. arábica*, una especie perenne, es decir, un cultivo a largo plazo. Esto coincide con lo citado por Martínez (2012), quien señala que el riego localizado emplea mayormente tuberías fabricadas con materiales plásticos, siendo el PVC y el PE los más comunes. De igual manera alude que en el caso de cultivos perennes, que permanecen en el suelo durante extensos periodos de tiempo, sugiere la instalación de tuberías de PVC enterradas para prevenir el desgaste ocasionado por la exposición prolongada a la radiación solar, incluyendo las tuberías terciarias de las cuales parten los laterales que suelen ser fabricados con PE.

7.2. Evaluación del funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo instalado.

Los resultados obtenidos en la evaluación del sistema de riego demuestran un rendimiento destacado en términos de eficiencia y uniformidad. Los valores obtenidos fueron del 91% para la eficiencia de distribución y el coeficiente de uniformidad y un 95% para la eficiencia de presiones del sistema, además, tiene una eficiencia de aplicación alta, superior al 90%. Sin embargo, esta eficiencia varía entre módulos de riego debido a varios factores tales como: la presión de la bomba es mayor a la requerida por el sistema el tipo de gotero instalado (no compensantes), los cuales, no ajustan su caudal a la presión del sistema. Otro factor para considerar es la variación del caudal y pérdida de presión debido a los consumos existentes dentro de la Quinta Experimental. A pesar de ello, en términos generales el sistema cumple con los requisitos de calidad para garantizar una distribución homogénea del agua hacia el

cultivo de café implementado. Además, estos valores concuerdan con los valores teóricos esperados para el riego por goteo, los cuales oscilan entre el 90% y el 95% según lo establecido por Antunez et al (2009). Es importante tener en cuenta que estos valores se obtendrían en condiciones óptimas, donde el escurrimiento y la percolación son mínimos. Según Antúnez *et al.*, (2010) considera eficiente un método de riego cuando se utiliza más del 70% del agua aplicada al cultivo.

El sistema de riego instalado no presenta problemas de obstrucción ni envejecimiento por lo que el coeficiente de uniformidad determinado es de 0,91 y se encuentra sobre los rangos establecidos para terrenos con pendientes uniformes menor al 2% y cultivos permanentes, lo que coincide con lo mencionado por Pizarro (1996), quien manifiesta que en terrenos con pendiente uniforme menor al 2% y donde los emisores se ubican a menos de 2,5 m en cultivos permanentes o semipermanentes, se recomienda un rango de CU de 0,85- 0,90, lo que concuerda con este estudio. Por otro lado, Yacoubi *et al.*, (2012) señalan que el coeficiente de uniformidad (CU) es influenciado por factores constructivos, térmicos, hidráulicos, de envejecimiento y obstrucciones, lo que lo hace útil tanto para evaluar nuevos sistemas como para monitorear el funcionamiento de sistemas ya instalados. Además, Capra y Scicolone (2004) citan que la obstrucción de los emisores es uno de los problemas más significativos en los sistemas de riego por goteo, ya que reduce el CU y, por ende, la eficiencia de aplicación de los sistemas.

7.3. Elaboración de un manual para el manejo, operación y mantenimiento del sistema de riego.

El manual de operación y mantenimiento del sistema de riego establece todas las acciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego por goteo y así mismo prologar su vida útil, puesto que según Britton (2009), un manual de operación y mantenimiento de un sistema de riego permite el manejo adecuado de los componentes del sistema y así evitar daños que puedan afectar la eficiencia de riego y por ende al cultivo. Así mismo, Ahumada (2019) menciona que, realizar un programa de mantención que involucre todos los componentes del sistema de riego, permite mantenerlo en óptimas condiciones y que este cumpla con lo indicado en su selección. También recomienda que las actividades de operación y mantenimiento se las puede realizar antes, durante y después de la temporada de riego. Sin embargo, para este estudio se recomienda realizar estas actividades al iniciar la época de invierno, cuando la temporada de riego ha terminado o cuando las frecuencias han disminuido.

8. Conclusiones

- El sistema de riego instalado cuenta con todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento. Estos incluyen la fuente de agua, la bomba de impulsión, la red de alimentación, red principal, el cabezal de riego y fertirriego, la red secundaria, laterales, emisores y todos aquellos accesorios esenciales para su operación.
- El sistema se encuentra en óptimas condiciones, lo que lo convierte en una base sólida para garantizar un funcionamiento eficiente y efectivo. Esto ofrece tanto un uso inmediato como confianza en su capacidad para satisfacer de manera consistente las necesidades de riego. Además, el riego por goteo cuenta con los componentes necesarios y muestra una buena eficiencia y uniformidad bajo una presión de 20 bares, asegurando una distribución uniforme del riego.
- Producto de la evaluación en el funcionamiento del sistema de riego por goteo implementado, se obtuvo valor del 91% de Coeficiente de Uniformidad categorizado como bueno, que determina que la instalación cumplió con el diseño hidráulico previo.
- El manual de operación y mantenimiento se ha realizado en base a los resultados de la instalación y evaluación del sistema existente y considerando todos los componentes existentes en el mismo. Fue elaborado con la finalidad de garantizar la eficiencia en el riego y prolongar la vida útil de sus componentes. Además, es una herramienta fundamental que proporciona una guía clara y detallada para el manejo adecuado del sistema, brindando a los usuarios la capacidad de optimizar su rendimiento y minimizar el desgaste innecesario.

9. Recomendaciones

- Se recomienda instalar una válvula reguladora de presión después del cabezal de riego. Esta medida permitirá un control eficaz del exceso de presión que llega a la parcela, especialmente considerando que la bomba existente supera las necesidades del sistema.
- Se recomienda realizar la evaluación y revisión del sistema de forma periódica para evitar posibles fugas u obstrucciones. Es crucial abordar estas fugas de manera oportuna, ya que pueden provocar pérdidas de agua significativas y comprometer la uniformidad y la eficiencia del riego.
- Se sugiere inspeccionar y limpiar el sistema de filtrado con regularidad para prevenir obstrucciones y garantizar un flujo constante de agua limpia. Además, se recomienda verificar y calibrar periódicamente el sistema de fertirrigación para asegurar una dosificación precisa de nutrientes y evitar desequilibrios en la solución nutritiva.
- Se sugiere realizar un análisis de la calidad del agua utilizada para el riego con el fin de identificar los posibles problemas y tomar medidas correctivas para evitar daños en los cultivos. Además, permitirá determinar la cantidad y frecuencia de fertilizantes y otros insumos que se deben aplicar.

10. Bibliografía

- Aguinsaca, D. (2020). *Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio la "la Dolorosa" de la parroquia Chuquiribamba, cantón Loja y provincia de Loja*. Univeridad Nacional de Loja.
- Ahumada, R. (2019). Operación y mantención de sistemas de riego tecnificado con generación fotovoltaico. *Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)*, 1(1ra ed), 60.
- Albites, J., & Alvitez, C. (2015). *Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de palto Hass en la parcela de 22 Ha del subsector de riego ferreñafe* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/108/BC-TES-3817.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Andrade, A. (2017). Análisis y perspectivas de las empresas ecuatorianas exportadoras de productos industrializados de café, periodo 2009-2015 [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. In *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14147/Trabajo de Titulación PUCE final.pdf](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14147/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n%20PUCE%20final.pdf)
- Antúnez, A., Mora, D., & Felmer, S. (2010). Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. *INIATierra Adentro*, 1, 40–43. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR36672.pdf>
- Aranda, J., González, B., & Reyes, T. (2014). Manual de Buenas Prácticas para la producción de café sustentable. *USAID*, 120. <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/bfa3f766d2e72157e5e228ed280492fd.pdf>
- Aranda, S. (2019). *Riego por goteo*. Sebastián Aranda. <https://www.sebastianarandamantenimiento.com/riego-por-goteo>
- Armijos, C. (2020). *Problemática del agua y riego de la provincia de Loja* [Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://www.docsity.com/es/problematica-del-agua-y-riego-en-la-provincia-de-loja/5496655/>
- Bohórquez, M. (2014). Procedimiento Para La Realización De Evaluaciones De Riego Localizado. *Servicios de Asesoramiento Al Regante*, 22.
- Britton, W. (2009, November). Manual de Operación y Mantenimiento de un Sistema de Riego por Goteo. *ADRA- Perú*, 36. <https://es.scribd.com/doc/245683930/Manual-de-Operacion-y->

Mantenimiento-de-sistemas-de-riego-tecnificado

- Cadena, V. H. (2016). Hablemos de riego. In *Congope* (CONGOPE, Vol. 1, Issue 2). <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Cancela, M. (2013). *Las condiciones ambientales en la producción de café*. INNATIA. <http://www.innatia.com/s/c-produccion-cafe/a-ambiente-para-producir-cafe.html>
- Capra, A., & Scicolone, B. (2004). Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 68(2), 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.03.005>
- Chamba, D. (2020). “Caracterización hidráulica del riego por goteo a partir de ensayos en ramales y unidades para su proyecto y gestión económica.” In *Molecules* (Vol. 2, Issue 1). <http://clik.dva.gov.au/rehabilitation-library/1-introduction-rehabilitation%0Ahttp://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/as.2017.81005%0Ahttp://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/as.2012.34066%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.201>
- Chavez, J. (2013). Dimensionamientos de Zanjas, Relleno Mínimos. *Lineamientos Técnicos*, 5. <https://es.scribd.com/document/325816265/Dimensionamientos-de-Zanjas-Relleno-Minimos>
- DaMatta, F., & Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombia*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14411/15244>
- Dioses, F. F., & Zapata, R. E. (2017). *Sistema de Riego Tecnificado por Goteo para Cultivo de Quinua, Financiado por Fondo Contravalor Perú-Francia; en el Distrito Tauripampa, Provincia Yauyos. Lima. 2017* [Universidad Privada Antenor Orrego]. https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12759/5741/REP_ING.CIVIL_FERNANDO.DIOSES_RAUL.ZAPATA_SISTEMA.RIEGO.TECNIFICADO.GOTEO.CULTIVO.QUINUA.FINANCIADO.FONDO.CONTRAVALOR.PERU.FRANCIA.DISTRITO.TAURIPAMPA.PROVINCIA.YAUYOS.LIMA.2017.pdf?sequen
- ESPAC. (2022). *Módulo de Información Ambiental y Tecnificación Agropecuaria Contenido*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Modulo_Ambiental_ESPAC_2021/PRINC_RESUL_MOD_AGR_OTEC_2021_19_04_vf.pdf
- FAO. (1999). Technology and Research in Realizing the value of irrigation system. *International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage*, 2, 1–20.

- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales de café* (Cenicafé).
- Fernandez, R. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión*. (Consejería). https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf
- Fernández, R. (2010). Manual de Riego para Agricultores Módulo 4: Riego Localizado. In *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera* (Consejería, Vol. 4, Issue 1). https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- Franco, V. A. (2018). Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. In *Universidad Técnica De Ambato*. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27290/1/Tesis-191 Ingeniería Agronómica - CD 563.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27290/1/Tesis-191%20Ingenieria%20Agronomica%20CD%20563.pdf)
- Fuentes, J. L. (1991). Instalación De Riego Por Goteo. 5, 31.
- García, I., & Briones, G. (2015). *Sistemas de riego por aspersión y goteo* (Trillas). <https://es.scribd.com/document/254621355/Sistemas-de-Riego-por-Aspersion-y-Goteo-PDF>
- Gestiriego. (2016). *Componentes de instalación para riego por goteo*. <https://www.gestiriego.com/componentes-instalacion-riego-por-goteo/>
- Gestiriego. (2017). *Riego por goteo en el cultivo de café*. <https://www.gestiriego.com/riego-por-goteo-en-el-cultivo-del-cafe/>
- Gonzales, D. (2021). *Eficiencia de un sistema de riego*. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo (UNPRG). <https://www.docsity.com/es/6-eficiencia-del-sistema-de-riego/7723802/>
- Goyal, M. R. (2014). Sustainable micro irrigation: Principles and practices. In *Sustainable Micro Irrigation: Principles and Practices*. <https://doi.org/10.1201/b17155>
- Hernández, D., Mujica, A., Pelier, D., & Paneque, P. (2014). Evaluación de los parámetros de manejo de los sistemas de microirrigación mediante el criterio de Merriam y Keller. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 37–40. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n1/rcta06114.pdf>
- Icochea, S. (2020). *¿Cómo realizar la construcción de zanjas para tuberías?* Innovación En Geosintéticos y Construcción (IGC). <https://igc.com.pe/como-realizar-la-construccion-de-zanjas-para-tuberias/#:~:text=Profundidad de la zanja&text=No obstante%2C se estima que,y la superficie del terreno.>
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAPE). (2011). *Guía Técnica para el Cultivo del Café*. Primera

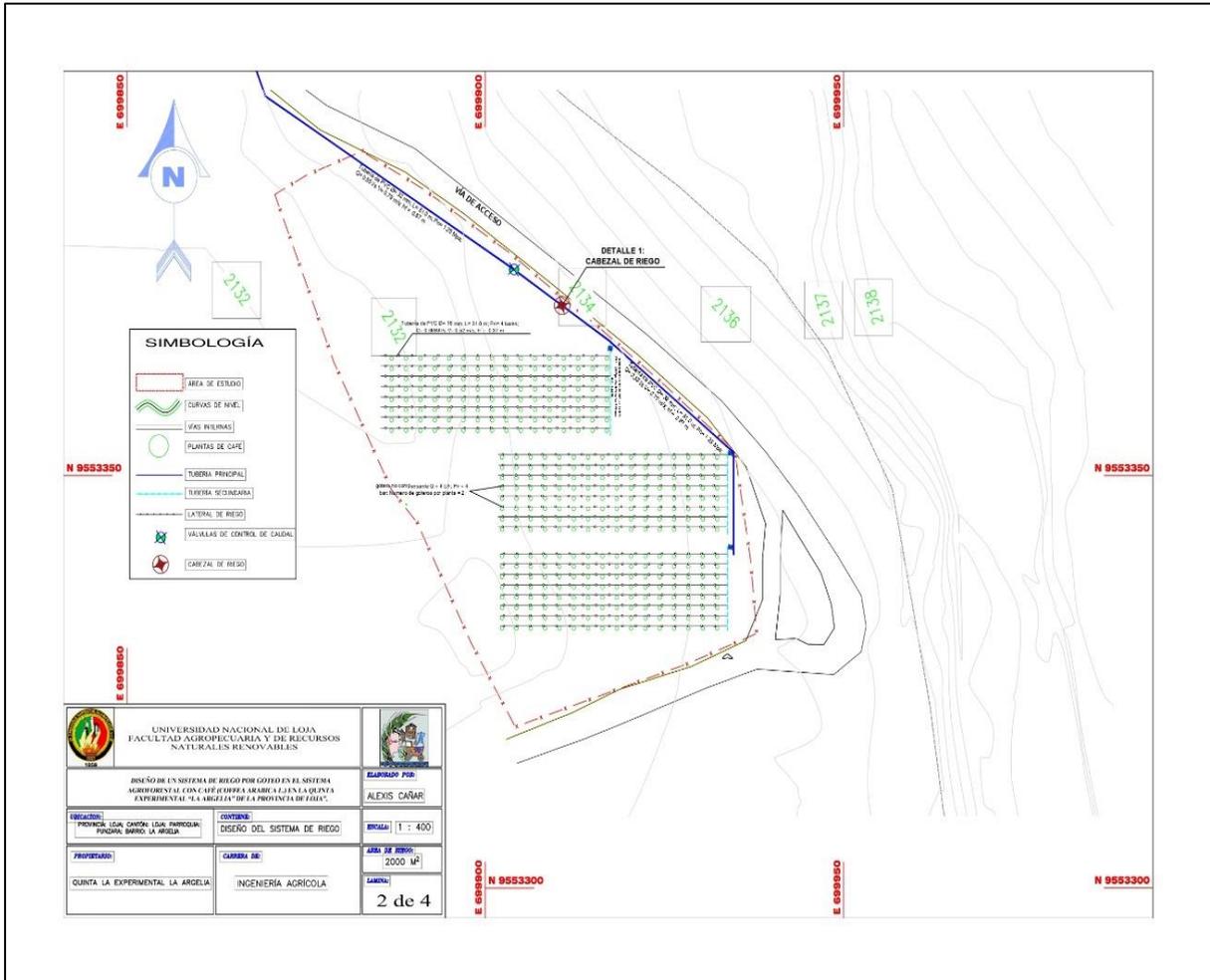
- Edición*. <https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- INTAGRI. (2015). *Sistema de Riego por Goteo*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>
- INTAGRI. (2017). *Importancia de la Evaluación de la Eficiencia de los Sistemas de Riego por Goteo*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/importancia-de-la-evaluacion-de-la-eficiencia-de-los-sistemas-de-riego>
- INTAGRI. (2019). *Sistemas de Riego por Goteo: diseño, operación, mantenimiento y evaluación*. INTAGRI S.C. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/algunos-aspectos-de-diseno-operacion-mantenimiento>
- Jimenez, J. (2012). Manual de metodos de sistemas de riego. *Suna*, 26. <https://fundacionsuna.org/wp-content/uploads/PDF/Jaime-Lamo/MANUAL-MÉTODOS-DE-SISTEMAS-DE-RIEGO.pdf>
- Lino, H. (2020). Determinación del comportamiento agronómico de cinco cultivares de café en etapa de vivero, con el uso de bioestimulantes. [Univerisidad Estatal del Sur de Manabí]. In *Repositorio Unesum* (Vol. 4, Issue 1). <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0884-z%0Ahttps://doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193%0Ahttp://serisc.org/journals/index.php/IJAST/article>
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: Riego por goteo* (UCAR (Unid). https://www.academia.edu/31515502/RIEGO_POR_GOTEO_3
- Loboa, J., Ramírez, S., & Díaz, J. E. (2011). Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas. *Revista EIA*, 29–41. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a03.pdf>
- MAGAP. (2018). *“Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana.”* Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca. <https://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/>
- Martínez, F. (2014). Introducción al riego. In *I* (Universida, Vols. 3–2). <https://elibro.net/es/ereader/uce/57382>
- Martínez, M. (2012). *Todo sobre riego por goteo*. Issuu. https://issuu.com/miguelarmenia/docs/todo_sobre_riego_por_goteo_-_un_sevilla

- Ministerio de Agricultura y Riego MINAGRI. (2015). Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego. *Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (DGIAR)*, 54. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2021). Plan Nacional De Riego y Drenaje 2021-2026. *Maate*, 60. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/PLAN-NACIONAL-DE-RIEGO-Y-DRENAJE-2021-2026-PARA-PUBLICAR.pdf>
- Montero, A. (2017). Rendimientos de Café Grano Seco en el Ecuador 2017. *Coordinación General Del Sistema de Información Nacional Ministerio de Agricultura y Ganadería*, 25. <http://fliphtml5.com/dvwf/sglp/basic>
- Netafim USA. (2010). Operación y mantenimiento del sistema de goteo. *Grow More With Less*, 16. <https://www.netafimusa.com/wp-content/uploads/2017/11/A012S-Drip-System-Ops-Maint-Spanish.pdf>
- Nieto, C., Pazmiño, E., Rosero, S., & Quishpe, B. (2018). Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. *SIEMBRA*, 5. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1427>
- Palacios, T. (2018). *Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en el Proyecto Agrícola Huarmey, distrito y provincia de Huarmey*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2131/L02-C389-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia. In *Ediciones Mundi-Prensa* (3ra Edición).
- Portal Frutícola. (2019). *Mantenimiento y operación de sistemas de riego a presión*. Portalfruticola.Com. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/08/21/mantenion-y-operacion-de-sistemas-de-riego-a-presion-2/>
- Portal Frutícola. (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/>
- Rodríguez, L., Sobrino, F., Alvarez, R., & Garrido, J. C. (2017). *Taller: Instalación de sistema de riego por goteo en itdUPM*. <https://itd.upm.es/wp-content/uploads/2017/01/Resumen-TALLER-13.02.sistema-riego-1.pdf>

- Ruiz, N. (2008). Como evaluar una instalación de riego localizado. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*, 1–4.
- Santana, J., Litardo, C., Mendoza, H., & Cañarte, C. (2018). *Manual de manejo y mantenimiento: Instalaciones de riego por goteo. 3*, 8–32. <https://azud.com/wp-content/uploads/2019/02/Manejo-y-Mantenimiento-de-instalaciones-de-riego.pdf>
- Sarango Calva, A. (2019). *Evaluación del sistema de riego por goteo en la finca Shagiündode la parroquia San Pedro de la Bendita* [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22691/1/ANTHONY DANIEL SARANGO CALVA.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22691/1/ANTHONY%20DANIEL%20SARANGO%20CALVA.pdf)
- Steele, A. (2015). *Drip irrigation Technology, management and efficiency*. (NOVA). <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Triskeu, T. (2020). *Proyecto de instalación integral colectiva para el riego localizado en el T.M de Liria (Valencia)*. Universidad Politecnica de Valencia.
- Valdivieso, A. (2017). *¿Cuántos tipos de riego hay?* IAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/cuantos-tipos-riego-hay>
- Valverde, J. C. (2022). *Sistemas de riego por goteo. Fichas técnicas*.
- Venegas, F. (2016). *Conoce el Clima óptimo para un cultivo de café*. Coffee Media. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/08/31/conoce-el-clima-optimo-para-un-cultivo-de-cafe/>
- Villalobos, R. (2015). *El riego por goteo*. SCRIBD. <https://es.scribd.com/document/264702066/El-Riego-por-Goteo-pdf#>
- Waller, P., & Yitayew, M. (2016). *Irrigation and Drainage Engineering* (Springer). <https://educons.edu.rs/wp-content/uploads/2020/05/2016-Irrigation-And-Drainage-Engineering.pdf>
- Yacoubi, S., Zayani, K., Slatni, A., & Playán, E. (2012). Assessing Sprinkler Irrigation Performance Using Field Evaluations at the Medjerda Lower Valley of Tunisia. *Engineering*, 04(10), 682–691. <https://doi.org/10.4236/eng.2012.410087>

11. Anexos

Anexo 1. Plano constructivo previo del sistema de riego.



CU1	89%
CU 2	93%
CU 3	92%
CU SIST.	91%

Uniformidad de presiones

$$UDP = 100 * \left(\frac{p_{25\%}}{p_m} \right)^x$$

UDP1	95%
UDP 2	95%
UDP3	95%
UDP SIST.	95%

Uniformidad de Aplicación

$$E_a = \frac{A1 * Er1 + A2 * Er2 + A3 * Er3}{A1 + A2 + A3}$$

EA1	90%	Área bloque 320 m²
EA2	93%	
EA3	90%	
EA SIST	91%	

Intensidad de precipitación

$$IP = \frac{Qe}{(dl * de)} * n \text{ laterales}$$

IP1	6,04	l/h* m ²
IP 2	6,28	l/h* m ²
IP3	6,52	l/h* m ²
IP SIST	6,28	l/h* m ²

Anexo 4. *Determinación del factor de dilución del equipo de fertirrigación.*

Caudal de inyección (Qi)

Promedio **35,73 l/h**

CAUDAL DE SUCCIÓN

Qs = 1205,76 ml/min

Qs = **72,35 l/h**

FACTOR DE DILUCIÓN

$$FD = \frac{Qs}{Qi}$$

FD = 2,02 l/h

Anexo 5. Instalación del sistema de riego (excavación de zanjas)



Anexo 6. Instalación del cabezal de riego y fertirriego.



Anexo 7. Instalación de la red de tuberías.



Anexo 8. Instalación de laterales y emisores.



Anexo 9. Evaluación del sistema de riego.



Anexo 10. Certificado de traducción del resumen.

Mgs. Mónica Jimbo Galarza

C E R T I F I C O:

Haber realizado la traducción de Español – Inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola titulado **“Instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en el sistema agroforestal con café (Coffea arabica L.) en la Quinta Experimental “La Argelia” de la provincia de Loja.”** de autoría de Gina Vanessa Rosales Torres CI: 1150780557.

Se autoriza a la interesada hacer uso de la misma para los trámites que crea conveniente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Emitida en Loja, a los 05 días del mes de abril 2024.



Firmado electrónicamente por:
**MONICA CECILIA
JIMBO GALARZA**

Mgs. Mónica Jimbo Galarza

MAGÍSTER EN ENSEÑANZA DE INGLÉS COMO LENGUA EXTRANJERA

REGISTRO EN LA SENECYT N° 1021-2018-1999861