



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA GRANJA AVÍCOLA LANZACA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola

AUTOR:

Joffre Danilo Valle Aguilar

DIRECTOR:

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, Mg. Sc

Loja - Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 11 de septiembre de 2020

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA GRANJA AVÍCOLA LANZACA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría del estudiante **Joffre Danilo Valle Aguilar**, con **cédula de identidad Nro. 1105108490**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO MANUEL
MESIAS GUAYA
PAUTA**

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

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

Firma:



Cédula de Identidad: 1105108490

Fecha: 12 de junio del 2024

Correo electrónico: jdvallea@unl.edu.ec

Celular: 0992185453

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

Yo, **Joffre Danilo Valle Aguilar**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado **DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA GRANJA AVÍCOLA LANZACA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de junio del dos mil veinticuatro

Firma:



Autor: Joffre Danilo Valle Aguilar

Cédula: 1105108490

Dirección: Chantaco - Loja

Correo electrónico: jdvallea@unl.edu.ec

Teléfono: 0992185453

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a Dios por guiarme, protegerme y ampararme en cada momento de mi vida.

A mi familia en general y de manera especial a mis padres Luis Valle, Merci Aguilar que con su esfuerzo y sacrificio permitieron no desmayara en esta etapa de formación profesional, mis hermanos Magaly y Luis que siempre estuvieron motivándome.

A mi esposa Johana Pucha soporte fundamental en la culminación de este trabajo.

A mis amigos en general quienes han sido participes de compartir un sinnúmero de experiencias que acrecentaron mis conocimientos para realizarme como profesional capaz de aportar con propuestas enmarcadas en el desarrollo y beneficio de la sociedad.

Joffre D. Valle A

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la vida y salud, por la familia quienes con su esfuerzo, consejos y apoyo incondicional han contribuido en mi formación para culminar con una etapa más en mi vida.

Agradecimiento sincero a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables; Carrera de Ingeniería Agrícola, a través de sus autoridades y docentes el permitirme formarme día tras día en el campo personal y profesional.

Al Ingeniero Pedro Guaya director del Trabajo de Titulación gracias a su asesoría y apoyo ha sido posible lograr los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación.

Finalmente, a mi esposa, familiares, amigos y conocidos que directa e indirectamente contribuyeron para el desarrollo de este proyecto de investigación y este logro académico.

Joffre D. Valle A

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
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
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1 El suelo	6
4.1.1. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego.	6
4.2 Contenido de agua en el suelo	8
4.3 Energía del agua en el suelo	10
4.3.1 Potencial del agua en el suelo (ϕ_t).....	10
4.3.2 Potencial gravitacional (ϕ_g)	10
4.3.3 Potencial matricial (ϕ_m).....	11
4.3.4 Potencial osmótico (ϕ_o).....	11
4.3.5 Potencial de presión (ϕ_p).....	11
4.4 Curva de retención de humedad del suelo.....	11

4.4.1	Puntos importantes de la curva de retención de humedad.....	11
4.5	Riego.....	13
4.5.1	Riego gravitacional.....	13
4.5.2	Riego por aspersión	13
4.5.3	Riego por goteo	13
4.6	Diseño de sistemas de riego por goteo	18
4.6.1	Diseño agronómico.....	18
4.6.2	Necesidades hídricas de los cultivos	18
4.6.3	Laminas, tiempo y frecuencia de riego.....	20
4.6.4	Diseño Hidráulico.....	21
5.	Metodología.....	24
5.1.	Ubicación del área de estudio.....	24
5.2.	Ubicación geográfica.....	24
5.3.	Condiciones edafoclimáticas de la parroquia Changaimina.....	25
5.3.1.	Condiciones climáticas.....	25
5.3.2.	Condiciones edáficas.....	25
5.4.	Materiales y equipos.....	25
5.4.1.	Materiales de campo.....	25
5.4.2.	Materiales de laboratorios	26
5.4.3.	Materiales de oficina	26
5.5.	Metodología para el primer objetivo	26
5.5.1.	Levantamiento Topográfico.	26
5.5.2.	Estudio del suelo.....	27
5.5.3.	Propiedades físicas	27
5.5.4.	Constantes hidrofísicas.....	27

5.5.5. Curva de retención de la humedad.	28
5.5.6. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.	28
5.5.7. Diseño agronómico.....	28
5.5.8. Diseño hidráulico.....	37
5.6. Metodología para el segundo objetivo	42
5.6.1. Replanteo de la ubicación de la red hidráulica.....	42
5.6.2. Instalación de la red hidráulica.....	42
5.7. Metodología para el tercer objetivo.....	42
5.7.1. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU).....	42
6. Resultados	44
6.1. Determinación de la superficie de riego.....	44
6.2. Descripción de la fuente abastecedora de agua	44
6.3. Resultados para el primer objetivo	44
6.3.1. Propiedades físicas.	44
6.3.2. Constantes hidrofísicas.....	45
6.3.3. Curva de retención de la humedad del suelo	45
6.3.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.	46
6.3.5. Diseño agronómico.....	47
6.3.6. Diseño hidráulico.....	50
6.4. Resultados para el segundo objetivo	51
6.4.1. Replanteo de la ubicación de la red hidráulica.....	51
6.4.2. Instalación de la red hidráulica.....	52
6.5. Resultados para el tercer objetivo.....	54
6.5.1. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU).....	54
6.5.2. Costos del sistema de riego	54

7. Discusión	56
7.1. Diseñar un sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca	56
7.1.1. Propiedades físicas	56
7.1.2. Constantes hidrofísicas	56
7.1.3. Diseño agronómico.....	56
7.1.4. Diseño hidráulico.....	58
7.2. Instalar el sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca.	59
7.3. Evaluar la eficiencia de la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo en un módulo representativo del sistema instalado.....	59
7.3.1. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU).....	59
7.3.2. Costo del sistema de riego.....	59
8. Conclusiones	60
9. Recomendaciones	61
10. Bibliografía	62
11. Anexos	71

Índice de tablas

Tabla 1. Diámetro mojado del bulbo en función de la textura	34
Tabla 2. Densidad aparente (D_a) del área de estudio	44
Tabla 3. Valores de saturación, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de la zona de estudio.	45
Tabla 4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.	46
Tabla 5. Evapotranspiración de referencia para el área de estudio	47
Tabla 6. Precipitación efectiva (P_e), para el área de estudio.....	48
Tabla 7. Requerimientos de riego del cultivo.....	48
Tabla 8. Necesidades brutas y caudal continuo de riego.....	49
Tabla 9. Necesidades de agua.....	49
Tabla 10. Parámetros de riego	50
Tabla 11. Diseño de la tubería principal.....	50
Tabla 12. Diseño de la tubería lateral y secundaria.....	51
Tabla 13. Coeficiente de uniformidad.....	54
Tabla 14. Costo del sistema de riego por goteo.	54

Índice de figuras

Figura 1. Componentes de un sistema de riego por goteo	15
Figura 2. Sistema de distribución de una red de riego	18
Figura 3. Ubicación del área de estudio	24
Figura 4. Coeficiente de advección de acuerdo con el área del terreno	32
Figura 5. Curva de retención de humedad del suelo	46
Figura 6. Coeficiente K_c para el cultivo de café	47
Figura 7. Evapotranspiración del cultivo de café	48
Figura 8. Replanteo de la ubicación de la red hidráulica	52

Índice de anexos

Anexo 1. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	71
Anexo 2. Ecuaciones utilizadas para el diseño agronómico del sistema de riego por goteo.	72
Anexo 3. Parámetros de riego	74
Anexo 4. Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo	76
Anexo 5. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU).....	81
Anexo 6. Respaldo fotográfico.	82
Anexo 7. Plano topográfico de la zona de estudio.....	83
Anexo 8. Plano del diseño del sistema de riego por goteo.	84
Anexo 9. Detalles constructivos del sistema de riego por goteo.	85
Anexo 10. Certificación de traducción del Abstract	87

1. Título

"DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA GRANJA AVÍCOLA LANZACA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA"

2. Resumen

Dado que la disponibilidad de agua para la agricultura disminuye constantemente debido al cambio climático y la competencia entre productores, en el presente trabajo se realizó el diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo para mejorar el aprovechamiento y eficiencia del uso de agua en la granja avícola Lanzaca. Para lograr este propósito se inició con el estudio de las características físicas e hidrofísicas del suelo, en donde se obtuvo una textura franco arcillosa, con densidad aparente de $1,36 \text{ g cm}^{-3}$, saturación de 36,82 %, una capacidad de campo (CC) del 22,11 % y punto de marchitez permanente (PMP) de 11,09 %. Para el diseño agronómico se determinó las necesidades de riego del cultivo de café, utilizando la información climática de las estaciones meteorológicas cercanas al sitio de estudio, dando como resultado necesidades máximas de riego de $5,30 \text{ mm dia}^{-1}$, que deberá ser aplicada cada 3 días, con un tiempo de riego de 3,5 horas. En el diseño hidráulico se determinó la tubería principal con diámetro nominal de 1 ½”, la secundaria o múltiple de 1 ½” y lateral con diámetro de 16 mm. Para la instalación del riego se realizaron trabajos preliminares como limpieza y excavación de zanjas, el tendido de la tubería y colocación de accesorios se lo realizó con base al plano de diseño. Finalmente, con el sistema de riego instalado se procedió a la evaluación del mismo, obteniendo una uniformidad del 96,09 %, corroborando que el diseño es adecuado y funciona correctamente.

Palabras clave: Riego por goteo, diseño, instalación, evaluación, café.

2.1 Abstract

Given that the availability of water for agriculture is constantly decreasing due to climate change and competition among producers, the present work involved the design, installation and evaluation of a drip irrigation system to contribute to a better use and efficiency of water for irrigation at the Lanzaca poultry farm. To achieve this purpose, we began with the study of the physical and hydrophysical characteristics of the soil, where we obtained a clay loam texture, with a bulk density of 1.36 g cm⁻³, saturation of 36.82%, a field capacity (CC) of 22.11% and a permanent wilting point (PMP) of 11.09%. For the agronomic design, the irrigation needs for the coffee crop were determined using climatic information from meteorological stations near the study site, resulting in maximum irrigation needs of 5.30 mm day⁻¹, to be applied every 3 days, with an irrigation time of 3.5 hours. In the hydraulic design, the main pipe was determined with a nominal diameter of 1 ½", the secondary or multiple pipe of 1 ½" and a lateral pipe with a diameter of 16 mm. For the installation of the irrigation system, preliminary works such as cleaning and excavation of ditches were carried out, then the laying of the piping and placement of accessories was done based on the design plan. Finally, with the irrigation system installed, it was evaluated, obtaining a uniformity of 96.09%, corroborating that the design is adequate and works correctly.

Key words: Drip irrigation, design, installation, evaluation, coffee.

3. Introducción

El riego es considerado generalmente como una forma eficiente de incrementar la producción agrícola. Suministrar el agua necesaria para el crecimiento de los cultivos cuando las precipitaciones son escasas y en climas húmedos permite disminuir los riesgos agrícolas de los periodos de sequía (Pilataxi, 2021).

De acuerdo a la información del Módulo de información agropecuaria y tecnificación de la ESPAC (2020), en Ecuador actualmente se riegan alrededor de 1.06 millones de ha, este valor representa el 25,4 % el de la superficie cultivada, y el 29,4 % de la superficie potencialmente regable, el 74,6 % del área cultivada no cuenta con este servicio, es decir 3,38 millones de ha (Pilataxi, 2021).

El riego en la provincia de Loja es poco tecnificado, se estima que el 51 % de la superficie irrigada aplica el agua a las parcelas por gravedad, ocasionando pérdidas del agua y de suelo, el 20 % utiliza el riego por aspersión, el 2 % por goteo y el 27 % otro tipo de riego (Játiva et al., 2019).

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de la provincia de Loja es la topografía del terreno (irregular y pendientes pronunciadas); a pesar de esta situación, las áreas de regadío se manejan con sistemas tradicionales y de muy baja tecnificación, el principal método de riego utilizado es por gravedad bien sea por inundación o surcos trayendo consigo una eficiencia muy baja, acarreado problemas consecuentes como erosión de los suelos, percolación, lixiviación y lavado profundo de nutrientes (INERHI, 1998).

En la parroquia Changaimina del cantón Gonzanamá, la producción de café es baja, se atribuye principalmente a la poca disponibilidad de agua aprovechable en el suelo, que por lo general se extiende entre 6 y 7 meses al año (tabla 7), es ahí cuando los cultivos no cuentan con la suficiente humedad para poder desarrollarse en las etapas fenológicas de floración, cuajado de fruto y llenado de grano. Según Cisneros et al.(2015) el incremento de la producción de café es de 8,4 hasta 22,2% cuando se aplica agua para satisfacer la demanda hídrica del cultivo.

Los proyectos de riego realizados en la provincia, consideran principalmente el diseño y la construcción, obviando en la mayoría de ellos los aspectos relacionados con la operatividad y el mantenimiento de los mismos (Chamba, 2015).

En el barrio Lanzaca perteneciente al cantón Gonzanamá, las distribuciones de las lluvias permiten distinguir dos épocas bien definidas; la estación lluviosa comprendida entre los meses de octubre a mayo contribuye a realizar una campaña de cultivo, mientras que, el resto de meses del año para cultivar es necesario la aplicación de riego de manera continua (PDOT Changaimina, 2015).

Por ello la implementación de un sistema de riego tecnificado, permite una distribución y aplicación adecuada del agua en los cultivos, contribuyendo a mejorar el desarrollo productivo, la seguridad alimentaria y sobre todo obtener una mejor eficiencia y suministro de agua. Por lo tanto, se considera al riego como un componente principal de la producción agrícola en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Existen diferentes métodos de riego (aspersión, superficial, microaspersión y goteo).

Por otro lado, es necesario disponer de agua de riego, durante la época de escasez, con la finalidad de no deteriorar el suelo y que permitan alcanzar el máximo potencial productivo. Por tal motivo, en el presente trabajo de investigación, se procedió a realizar la propuesta de estudio, diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca del cantón Gonzanamá, provincia de Loja, y para efectuar el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Aportar a un mejor aprovechamiento y eficiencia de uso del agua para riego en la granja avícola Lanzaca.

Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca.
- Instalar el sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca.
- Evaluar la eficiencia de la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo en un módulo representativo del sistema instalado

4. Marco Teórico

4.1 El suelo

El suelo es un sistema heterogéneo, conformado por elementos sólidos como son los minerales y materiales orgánicos (por ejemplo, hojas, animales en descomposición etc.), líquidos y gaseosos. Contiene propiedades específicas que fueron adquiridas durante su evolución y por el manejo recibido, que le confieren la capacidad de satisfacer en mayor o menor grado las necesidades vitales que la planta necesita para su normal crecimiento y desarrollo (Vásquez et al., 2018). El suelo es un sustrato es decir el medio de vida para las plantas, porque a más de desarrollar la parte radicular en él, sirve como anclaje para sostener la parte aérea y proporciona el aporte de agua y nutrientes necesarios para su desarrollo (Ibáñez, 2006a).

El suelo es un recurso natural no renovable y un elemento fundamental para la agricultura por proveer agua y nutrientes necesarios para los cultivos, además que interviene en los ciclos del agua, carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos de interés. Su proceso de regeneración es muy lento y constantemente es sometido a procesos de destrucción y degradación lo que provoca el deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo que es importante establecer estrategias de conservación (Novillo et al., 2018).

4.1.1. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego.

Novillo et al. (2018), menciona que las propiedades físicas son aquellas propiedades que pueden ser evaluadas por inspección visual o por el tacto, pueden medirse comparándolas con algún tipo de escala, de tamaño, de consistencia e intensidad etc. Cada suelo presenta un conjunto característico de propiedades físicas que dependen de la naturaleza de los componentes, cantidades relativas de cada uno de ellos y de la manera en la que se encuentran enlazados mutuamente.

Las propiedades físicas no solo influyen en la distribución del tamaño de las partículas del suelo, sino también es un medio complejo que se encuentra en constante cambio y en especial relación con el aire, el relieve, las rocas etc. También son las encargadas de determinar las características naturales; como, la fuerza de atracción, la rigidez, la tenacidad de la superficie, la aireación, capacidad de drenaje, almacenamiento de agua, la retención de nutrientes y la plasticidad (Porta et al., 2014).

De todas las propiedades físicas que caracterizan a los suelos; a continuación, se describen sólo aquellas propiedades básicas aplicadas al riego:

Textura: Calvache (2013), menciona que la textura es una propiedad física del suelo que no cambia con el tiempo, está determinada por la composición mecánica del suelo y la conformación granulométrica; además, indica la proporción entre las diferentes fracciones de tamaño de partículas sólidas (arena, limo y arcilla). De la misma manera Vásquez et al. (2018), señala que la textura del suelo es la proporción de arena, limo y arcilla, sus porcentajes permiten conocer el tipo de textura mediante un análisis de laboratorio cuyos resultados se interpretan con la ayuda del Triángulo Textural o también denominado Triángulo de Textura. Se pueden distinguir doce clases texturales; sin embargo, para su fácil comprensión se consiguen agrupar en 3 denominaciones de carácter general que son: Suelos de textura gruesa o ligera, suelos de textura media y suelos de textura fina, pesada o arcillosa. De acuerdo al componente predominante los suelos se clasifican en arenosos, limosos o arcillosos.

La textura es una propiedad del suelo que está relacionada con la retención del agua, la velocidad de infiltración, la absorción de nutrientes y el manejo del suelo. Según la clasificación del Sistema Internacional las partículas de arena pueden verse con facilidad, son rugosas al tacto y tienen diámetros entre 2 y 0.02 mm, las de limo se las puede observar con la ayuda de un microscopio y al tocarlas parecen harina sus diámetros varían entre 0.02 y 0.002 mm y mientras que las partículas de arcilla son menores de 0.002 mm, forman una masa viscosa cuando se mojan y son visibles con ayuda de un microscopio (Cadena, 2016).

Estructura: La estructura del suelo es la forma como se unen y se relacionan entre sí las partículas que tiene un suelo en función de sus diferentes tamaños, la relación entre macro y micro poros influye a que este mejor o peor estructurado. Un elevado volumen de microporos retiene el agua fuertemente, provoca inmovilización de la misma para las raíces de las planta y falta de aireación mientras que un elevado volumen de macroporos supone poca cantidad de agua retenida ocasionado por el excesivo drenaje y permite el paso del aire (Martínez, 2014).

Densidad: La densidad es la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa dicho cuerpo, debido a q el suelo está formado por una fase sólida, líquida y gaseosa, adquiere dos tipos de densidades: densidad aparente y densidad real (Ángela et al., 2016).

Densidad Aparente (Da): Aguinsaca (2020), indica que la Da actúa como indicador de la compactación y restricción en relación al crecimiento de las raíces de los cultivos en el suelo, su valor oscila entre 1.0 a 1.7 g cm⁻³ y va aumentando conforme a la profundidad del suelo, estos valores dependen principalmente de la textura, estructura y grado de compactación del suelo.

Para calcular la Da de un suelo, Assan & Gorosito (2019), indica que se toma la muestra del sustrato sin alterar conservando todas sus fases, (no sea disturbada, ni compacta), con la utilización de un barreno tipo sacabocado.

Densidad Real (Dr): También se denomina densidad de los sólidos, no considera el espacio poroso, sino que se relaciona la masa total del suelo seco con el volumen de la fase sólida. Los valores de la densidad real en todos los suelos oscilan entre 2,5 a 2,6 g cm⁻³ dependiendo de su naturaleza mineralógica (Assan & Gorosito, 2019).

Porosidad: Novillo et al. (2018), indican que el espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Regularmente, el volumen del suelo está constituido por 50 % materiales sólidos (45 % minerales y 5 % materia orgánica) y el 50 % restante de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se distinguen macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. Las características de la porosidad, dependen de la textura y la estructura del suelo (Rucks et al., 2004).

Profundidad: Para diseñar un sistema de riego es indispensable considerar la profundidad o el volumen del suelo. Mientras más profundo es el suelo, más firme estará el cultivo, sus raíces se extenderán más y el almacenamiento del agua será mejor (Cadena, 2016).

4.2 Contenido de agua en el suelo

FAO (2012), indica que el suelo debe almacenar la mayor cantidad de agua posible para que las plantas la puedan absorber, los escasos rendimientos de los cultivos en su mayoría se deben a la falta de la capacidad de los suelos para retener agua. El contenido de agua del suelo puede ser expresado en términos gravimétricos (w), volumétricos (θ) y en términos de lámina.

El contenido gravimétrico es la masa de agua por una unidad de masa de suelo seco. Su valor se determina secando la muestra de suelo a 105 °C (aproximadamente 24 horas). La

determinación gravimétrica del contenido de agua está compuesta por dos mediciones independientes: la masa de suelo húmedo o total (M_w) y la masa de suelo seco (M_s) (Silva et al., 2015a).

$$\theta_m = \frac{M_w}{M_s} * 100$$

Dónde:

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

M_w = Masa de agua (g)

M_s = Masa de sólidos de suelo (g)

El contenido volumétrico de agua del suelo (θ) se expresa en términos de volumen de agua (V_w) por volumen de suelo (V_t). Puede ser calculado a partir del contenido gravimétrico de agua y la densidad aparente (D_a) del suelo (Silva et al., 2015a).

$$\text{Ec. 2.} \quad \theta = \frac{V_w}{V_t}$$

Dónde:

θ_v = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

V_w = Volumen de agua (cm^{-3})

V_t = Volumen total de suelo (cm^{-3}).

Así mismo Silva et al., 2015 indica que el contenido de humedad en términos de lámina (mm) es el volumen de agua (θ_v) que tiene el suelo por una profundidad determinada (D).

$$\text{Ec. 3.} \quad L_{mm} = \theta_v * D$$

Dónde:

L_{mm} = Lamina de riego (mm)

θ_v = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

D = Profundidad del suelo (mm).

4.3 Energía del agua en el suelo

En el riego no solo es importante saber el contenido de humedad en el suelo, también se debe conocer la energía que posee el agua en el éste, para establecer si está o no disponible para la planta. Los diferentes estados energéticos regulan el movimiento de agua en el suelo hacia las plantas, atmosfera y otras zonas del suelo. El agua en el suelo, es retenida por diferentes fuerzas que son: atracción gravitacional de la tierra, presencia de solutos disueltos, tensión superficial en interface solido - liquido (Ángela et al., 2016).

4.3.1 *Potencial del agua en el suelo (φ_t)*

El potencial hídrico del suelo, hace referencia a la energía potencial del agua, es decir, la energía libre que poseen las moléculas de agua para realizar trabajo. Su estimación describe cuanto trabajo debe realizar una planta para extraer agua del suelo desde un punto de alto potencial (energía) hasta un punto de potencial total más bajo. Sus componentes son: potencial gravitacional, potencial matricial, potencial osmóticas y de presión (McCarty et al., 2016).

$$\text{Ec.4. } \varphi_t = \varphi_g + \varphi_m + \varphi_o + \varphi_p$$

Dónde:

φ_t = Potencial total

φ_g = Potencial gravitacional

φ_m = Potencial mátrico

φ_o = Potencial osmótico

φ_p = Potencial de presión.

4.3.2 *Potencial gravitacional (φ_g)*

El potencial gravitacional es debido a la fuerza de la gravedad que desplaza el agua hacia capas cada vez más profundas. El potencial gravitacional del agua en un punto determinado del suelo está determinado por la elevación de ese punto con respecto a un nivel de referencia dado. Si el nivel de referencia está por encima, el potencial gravitacional es negativo ($\Psi_g < 0$), y si el nivel de referencia está por debajo dicho potencial es positivo ($\Psi_g > 0$) (Pachés, 2019).

4.3.3 Potencial matricial (ϕ_m)

Se denomina potencial matricial a la relación entre las fuerzas de atracción del agua a la matriz del suelo y las fuerzas de atracción entre moléculas de agua. En función del gradiente de potencial, el agua se mueve de zonas húmedas (potencial alto o menos negativo) a zonas secas (potencial bajo o más negativo). El potencial matricial es negativo en la zona no saturada y es nulo en la zona saturada o bajo el nivel de freático (Mendoza, 2013).

4.3.4 Potencial osmótico (ϕ_o)

El potencial osmótico (Ψ_o) es debido al efecto de los solutos en la fase líquida del suelo. El agua debido a la bipolaridad que presenta, es un buen disolvente y se absorbe sobre las superficies sólidas hidratando iones y coloides. La presencia de estos altera la estructura del agua y sus moléculas pierden energía libre. Como los solutos reducen la energía potencial de las moléculas de agua, el potencial osmótico es siempre negativo ($\Psi_o < 0$). Se considera el potencial osmótico cero ($\Psi_o = 0$) para el agua pura (Pachés, 2019).

4.3.5 Potencial de presión (ϕ_p)

Moratiel (2017), indica que dicho potencial, aparece en suelos saturados y se lo compara con la presión atmosférica (superficie de agua libre), su valor es positivo y se produce cuando se está ejerciendo una presión sobre el suelo. Su valor es cero cuando está sometido a presión atmosférica.

4.4 Curva de retención de humedad del suelo

Las curvas de retención de humedad (*CRH*) en el suelo expresan la relación existente entre el contenido de humedad y su potencial matricial, además reflejan la capacidad del suelo para retener agua en función de la succión; dicha relación depende de los factores relacionados con la porosidad del suelo (Casanova, 2018).

4.4.1 Puntos importantes de la curva de retención de humedad

Saturación

Flores & Alcalá (2010), indica que este se da cuando todos los poros del suelo se llenan de agua, por tal razón los poros no poseen aire y las plantas pueden morir por asfixia. Este parámetro se ve afectado por el tipo y contenido de arcilla, por el tipo y contenido de materia orgánica. El

punto de saturación de un suelo va de menos del 10% para suelos arenosos, hasta 150% para suelos muy arcillosos y/o con muy alto contenido de materia orgánica.

Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo es el contenido de agua que se retiene en un suelo después de ser saturado con agua. La capacidad de campo se valora por el porcentaje en volumen de agua existente con respecto al suelo seco. La CC representa el contenido de humedad del suelo, cuando el agua que este contiene, deja de fluir por gravedad, cuando este fenómeno ocurre, el agua libre deja de existir en el suelo. Un suelo provisto de un buen drenaje interno, la máxima capacidad de almacenamiento de agua está representada por la capacidad de campo (Tamara & Ducuara, 2016).

Punto de marchitez permanente (PMP)

Tamara & Ducuara (2016), señalan que el PMP es el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no recobran su turgencia. El valor del PMP depende de las condiciones climáticas del suelo y de la conductividad hidráulica. Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a un nivel en el que las raíces ya no pueden extraer agua del suelo. El PMP no es un valor constante para un suelo dado, este varía con el tipo de cultivo.

Tabla 1. *Valores de pF y su equivalente en atmosferas*

pF	Atm	Clases de agua
4,4	28,8	Agua higroscópica
4,2	15,0	Punto de marchitez Permanente
2,52	0,33	Capacidad de Campo
2	0,1	Capacidad de Campo
0,00	0,001	Saturación

Fuente: Valarezo et al. (1998)

Umbral de Riego (UR)

El Umbral de Riego (UR) es el porcentaje tolerable de disminución del Agua Disponible en el suelo (AD) sin que se produzca una disminución del potencial productivo de la planta. Se sugiere un valor de UR del 50% (UR= 0,50), lo que implica permitir que la planta extraiga la mitad del agua útil para la planta en el perfil de suelo hasta donde exploran y extraen agua las raíces. Para

los cultivos sensibles al déficit hídrico, se sugiere emplear un UR de 0,30, y para cultivos que toleran de mejor manera el estrés hídrico se recomienda un UR de 0,60 a 0,70 (Hidalgo, 2020).

Agua aprovechable (AA)

El Agua aprovechable no es más que la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), se considera como agua utilizable o fácilmente extraíble por los cultivos en la zona de crecimiento radical, es decir, de toda el agua que se encuentra presente en el suelo (Ojeda et al., 2019).

4.5 Riego

4.5.1 Riego gravitacional

El riego por surcos es un sistema de riego por superficie también denominado riego por gravedad en el cual el agua se coloca en la cabecera de los surcos y por gravedad avanza hasta el extremo más bajo permitiendo; durante este tiempo, la infiltración de una lámina de agua de mayor valor se presenta generalmente en la cabecera del campo. Con este método el agua se aplica únicamente durante la fase de avance, cortando el suministro un poco antes de que el frente de avance llegue al final del surco. Los principales: surcos, melgas, pozas, riego por desbordamientos entre otros (Cenicaña, 2015a).

4.5.2 Riego por aspersión

Este método consiste en aplicar el agua al suelo simulando una lluvia. Este efecto es conseguido gracias a la presión en que fluye el agua dentro de un sistema de tuberías y es expulsada al exterior a través de las boquillas de un aspersor. Comúnmente la presión requerida se obtiene a partir de bombas hidráulicas las cuales aspiran el agua desde un canal, río, pozo, o reservorio. Sin embargo, también puede operar sin bombas cuando la fuente de agua se encuentra en un nivel más elevada que el terreno a regar.

4.5.3 Riego por goteo

El riego por goteo o llamado también sistema presurizado, consiste en una extensa red de tuberías, de diámetros pequeños, que suministran el agua directamente al suelo cerca de la planta. Proporciona humedad continua al suelo, lo suficiente para satisfacer las demandas de transpiración del cultivo, posee un filtro para impedir el paso de materiales que puedan dañar los emisores (Intagri, 2016).

Sneh (2006), menciona que el riego por goteo presenta algunas ventajas y limitaciones que se describen a continuación:

Ventajas

- Aplicación exacta y localizada del agua.
- Equilibrio apropiado entre el aire y el agua en el suelo
- Al disminuir la superficie humedecida por el riego por goteo se reducen a un mínimo las pérdidas de agua por evaporación.
- Evita el desperdicio de agua en los bordes de la parcela.
- Disminuye la infestación de malezas.
- Aplicación integrada del agua y de los nutrientes.
- Adaptación de la aplicación del agua y de los nutrientes.
- Automatización: Los controladores de riego permiten el manejo automático del sistema de riego por goteo y la aplicación de fertilizantes.
- Adaptabilidad a condiciones extremas de topografía y de suelos.
- No interfiere con las demás labores de campo.
- No se ve afectada por el viento.
- Bajo consumo de energía
- Reduce la incidencia de las enfermedades del follaje y de los frutos ya que el riego no moja los tallos ni el follaje de las plantas.

Limitaciones

- Riesgo de obturación del sistema.
- Alto monto de la inversión: debido a la gran cantidad de emisores y de tubería, es sumamente laborioso mover los sistemas de una posición a otra durante la temporada. La mayoría de los sistemas de goteo permanecen fijos.
- La acumulación de sales sobre la superficie del suelo: El ascenso capilar de la solución del suelo desde el volumen mojado hacia la superficie del suelo y posteriormente, su evaporación - deja tras sí una gran cantidad de sales.
- Vulnerabilidad de los goteros y de las tuberías a daños infligidos por animales.

- Volumen restringido de las raíces: la aplicación frecuente del agua a un volumen limitado del suelo, conlleva el desarrollo de un sistema radicular restringido y ocasionalmente, muy superficial.

Componentes de un sistema de riego por goteo

Los componentes básicos de un sistema de riego por goteo son los siguientes: Un sistema de riego por goteo básicamente consta de: Fuente de abastecimiento de agua, Equipo de bombeo, Cabezal principal, Sistema de filtrado, Manómetros, Válvulas, Tuberías y Emisores.



Figura 1. Componentes de un sistema de riego por goteo

Fuente de abastecimiento de agua: El abastecimiento para el equipo puede provenir de una fuente subterránea a través de una perforación o una fuente superficial como: una quebrada, río, canal, reservorio, considerando, la ubicación, la calidad del agua y el caudal disponible. En algunos de los casos es a través de un sistema de impulsión que posibilita el aprovechamiento de las aguas subterráneas (Liotta et al., 2015).

Equipo de bombeo: Maza (2020), señala que va acoplado a la toma de agua y se encarga de proveer el caudal y presión suficiente para el funcionamiento del sistema, consta de: la bomba hidráulica, la tubería de aspiración de agua desde la fuente (reservorio) y la tubería de impulsión a la salida de la bomba. Se debe considerar la presión requerida para vencer el desnivel entre la fuente de agua y la zona de riego en su mayoría las más utilizadas son las de tipo centrífugas impulsadas por energía eléctrica.

Cabezal de control: Es el conjunto de elementos que dominan toda la instalación y sirve para proveer presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizantes, medir volúmenes y presiones, y controlar de forma manual o automática el sistema (Liotta et al., 2015).

Sistema de filtrado: Chulde (2017), indica que en todos los sistemas de riego, es fundamental, instalar de un sistema de filtrado, debido a que las impurezas del agua pueden ocasionar inconvenientes como por ejemplo; en un sistema de riego por goteo, las impurezas presentes en el agua pueden causar obstrucción en los goteros, impidiendo que entreguen el caudal y la presión que han sido analizados y diseñados; el lugar más importante para la ubicación de un sistema de filtrado es en la toma principal de agua, antes del ingreso a la red de riego.

La diferenciación del funcionamiento en los distintos tipos de filtro depende de la calidad de fluido que se dispone antes del filtrado, como la calidad que se deba obtener después del mismo. El sistema de filtración más común y simple en un sistema de riego es el de rejillas y es empleado en caso de querer separar del fluido, elementos de gran tamaño. Los decantadores son depósitos ubicados entre la fluctuación del fluido en donde pierde velocidad y por medio de un proceso de sedimentación, son separadas las impurezas. Finalmente, los pre-filtradores son rejillas ubicadas en la zona de succión, separando impurezas y protegiendo así la integridad de la bomba (Montalvo, 2020).

Equipo de fertilización: Fertirrigación o fatigación, son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego. Con esta técnica, se puede controlar la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes. Sin embargo, en suelos con buen nivel de fertilidad natural la fertirrigación permanente no tiene un impacto relevante sobre el rendimiento, siendo más importante el método de riego y el control de la humedad del suelo (Porras, 2015).

Manómetros: Son dispositivos de medición, esenciales en un sistema de riego presurizado, ya que es importante obtener la medición y llevar un control, de los valores de presión existentes en los tramos de la red que se considere, ya sea en el campo o en el cabezal. Los valores obtenidos por el manómetro corresponden a la diferencia de presión absoluta con la presión atmosférica, denominada “presión manométrica” (Montalvo, 2020).

Válvulas: Las válvulas son los componentes más importantes de una línea de conducción, son elementos mecánicos en donde se puede iniciar, detener o regular la circulación del fluido. Las válvulas se clasifican según su función: manual, de cierre, venteo, de drenaje, de purga (Studocu, 2015).

Sistema de distribución: Fernández & García (2014), indican que un sistema de distribución, o red de riego, es el conjunto de tuberías que transportan el agua, ya sea sola o con elementos fertilizantes, hasta los emisores que se encuentran junto a la planta. Dispone fundamentalmente de:

- a. Tuberías primarias y secundarias: están fabricadas en plástico de polietileno (PE). Conducen el agua hasta las unidades de riego, normalmente enterradas a poca profundidad.
- b. Tuberías terciarias: también fabricadas en PE, reparten el agua por las subunidades de riego, aquí se conectan los ramales portaemisores, van enterradas.
- c. Los ramales portaemisores: contienen los mecanismos de reparto del agua sobre el área a regar, los llamados emisores.
- d. Los emisores: son los elementos más delicados de la instalación de riego localizado, básicamente son de dos tipos: los goteros, emisores del riego por goteo con caudal hasta 16 l/h, y los microaspersores y difusores, usados en microaspersión, con caudales mayores de 16 l/h. (Fernández, 2010). Los goteros de acuerdo a su regulación de presión se clasifican en:

Auto compensados; tienen la peculiaridad de mantener el mismo caudal, aunque diferente presión. El flujo es turbulento y en su interior poseen una membrana de silicona que se deforma por la diferencia de presión del agua antes y después de la misma, modificando el conducto de paso y manteniendo el caudal constante. Se da con mayor uso en áreas con desniveles significativos, donde se producen grandes diferencias de presión o cuando se emplean laterales de gran longitud y con un menor diámetro (Liotta et al., 2015)

No-compensados: no tiene mecanismo de regulación de caudal y varía en función de la presión. Pueden funcionar con menor presión que los auto compensados. Pero, para no perder uniformidad de caudal (más o menos 10 %), la longitud de los laterales debe ser menor (Reinders et al., 2012).

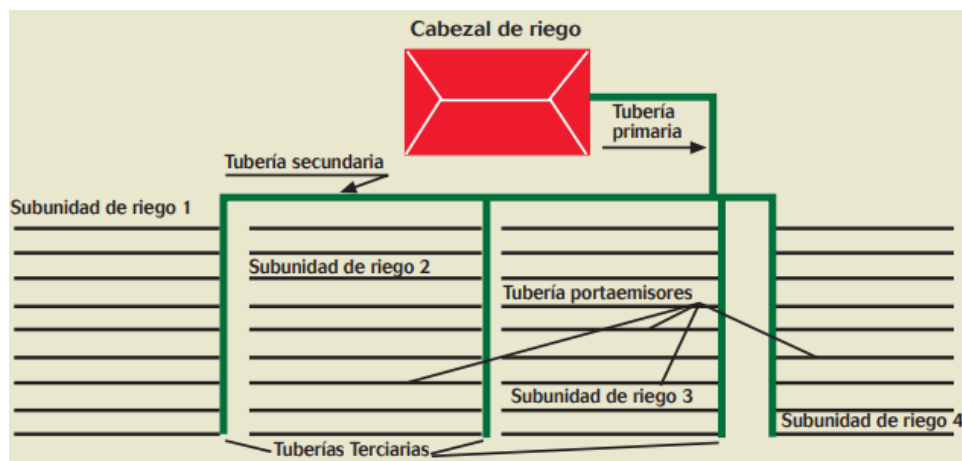


Figura 2. Sistema de distribución de una red de riego
Fuente: Fernández & García (2014).

4.6 Diseño de sistemas de riego por goteo

El diseño de un sistema de riego por goteo comprende dos fases: diseño agronómico y diseño hidráulico, los cuales se describen a continuación.

4.6.1 Diseño agronómico

Martínez (2014), señala que el diseño agronómico tiene que ver con el cuándo y cuánto regar; consiste en dimensionar la superficie máxima de cada unidad, así como su intervalo y tiempo de riego a partir de la lámina de diseño, el tiempo de operación, número de emisores por planta, etc. para finalmente conocer la capacidad requerida del sistema; en caso de no coincidir con la capacidad disponible se deben realizar los ajustes pertinentes.

Para el diseño agronómico se requiere conocer la interrelación entre las características y/o propiedades del agua y el suelo, así como tomar en cuenta las particularidades de cada cultivo como su estado fenológico y su requerimiento hídrico. Su metodología depende del sistema de riego seleccionado (Goteo, microaspersión, aspersión, etc.) (Martínez, 2014).

4.6.2 Necesidades hídricas de los cultivos

Evapotranspiración de referencia (ET_o): La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se designa ET_o. Los procedimientos para calcular la ET_o según la ecuación Penman-Monteith de la FAO, requieren de datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento y fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como

un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 sm^{-1} y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado (FAO, 2006).

Coefficiente del cultivo (Kc): Steele (2015), menciona que al Kc se lo utiliza para la planificación del riego, realización de programas básicos de riego y para la mayoría de los estudios hidrológicos de balance hídrico. Este incorpora las características del cultivo conjuntamente con los efectos de evaporación promedio del suelo, es proporcional a la demanda de agua atmosférica y las etapas de desarrollo del cultivo. Se consideran etapas cuyas duraciones dividiéndose en etapa inicial, de desarrollo, mitad de temporada y etapa final.

La evapotranspiración del cultivo ETC: Se obtiene multiplicando ETo por Kc el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia. Esta diferencia puede ser combinada dentro de un coeficiente único o integrado del cultivo, o puede ser separada en dos factores que describen por separado las diferencias en evaporación y transpiración entre las dos superficies (FAO, 2006).

Calculamos:

$$\text{Ec. 5.} \quad E_{Tc} = (K_{cb} + K_e) E_{To}$$

Dónde:

E_{Tc} = Evapotranspiración del cultivo.

K_{cb} = Coeficiente basal del cultivo

K_e : Coeficiente de evaporación

E_{To} = Evapotranspiración de referencia.

Precipitación efectiva (Pe): Villazón Gómez et al. (2021), indica que precipitación efectiva es la fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Depende de varios factores como la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración.

Como primera aproximación, Brouwer y Heibloem, citado por Villazón Gómez et al. (2021), proponen las siguientes fórmulas para su aplicación en áreas con pendientes inferiores al 5 %.

Así en función de la precipitación caída durante el mes tenemos:

$$\text{Ec.6.} \quad P_e = 0.8 P - 25 \quad \text{Si: } P > 75 \text{ mm/mes}$$

$$\text{Ec.7.} \quad P_e = 0.6 P - 10 \quad \text{Si: } P < 75 \text{ mm/mes}$$

Dónde:

P = precipitación mensual (mm/mes)

P_e = precipitación efectiva (mm/mes).

Necesidades de riego netas: Para determinar el requerimiento de riego diario, mensual o de todo el ciclo vegetativo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{NRC} = \text{ET}_p - P_e$$

Es recomendable para riego por gravedad calcular las NRC de manera mensual, mientras que para riego presurizado es recomendable calcular las NRC de manera diaria (Arviza, 2018).

Porcentaje de suelo mojado: No ha sido establecido un valor mínimo absoluto para el porcentaje de suelo mojado, por lo que se aconseja, para cultivos espaciados, porcentajes superiores al 20 % en zonas de alta precipitación y suelos de textura arcillosa, y valores de 33 a 55 % en zonas de baja precipitación (Burneo, 2018).

Superficie mojada por un gotero: Burneo (2018), afirma que para conocer el área que moja un gotero, lo pertinente es hacer pruebas de campo, en las que se establecerá el tiempo, el caudal, el radio del bulbo y la profundidad del bulbo.

4.6.3 Láminas, tiempo y frecuencia de riego

Láminas de riego: Es la cantidad de agua, a aplicar en un riego para elevar el contenido de humedad de la zona radicular, desde un valor inferior que es la fracción de agotamiento, hasta un valor superior que coincida con la capacidad de campo; la lámina de riego, generalmente, es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por cada unidad de superficie. Existen dos tipos de láminas de riego: lámina neta y lámina bruta (Cadena, 2016).

Lámina neta (L_n): Es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración. Para calcular la lámina neta, se requiere conocer:

- La humedad disponible del suelo. (CC – PMP)
- El agotamiento de la humedad disponible del suelo.
- La profundidad radical efectiva del cultivo (Castro, 2009).

Lamina bruta (Lb): El suministro de agua a la planta debe incluir a las necesidades netas de la planta, toda el agua que se pierde por escorrentía, evaporación, arrastre del viento, entre otros. La lámina bruta se define entonces como la lámina neta afectada por la eficiencia de riego y se expresa mediante la siguiente ecuación (Castro, 2009).

Frecuencia de riego: Es el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos; depende de la capacidad que tiene el suelo para retener el agua y de la demanda de agua de la planta. Su valor se estima dividiendo la lámina neta para la Evapotranspiración diaria del cultivo (Cadena, 2016).

Tiempo de riego: Es el tiempo indispensable para que la lámina total de agua, se infiltre en el terreno; o sea, es el tiempo que el sistema de riego debe estar funcionando para cubrir la demanda de agua de los cultivos y los factores complementarios de la evapotranspiración del cultivo (Cadena, 2016).

4.6.4 Diseño Hidráulico

Tiene como finalidad definir los diámetros y longitudes de las diferentes tuberías que componen el sistema (regantes, distribuidoras y conducción) bajo un criterio de optimización. El diseño hidráulico de la red parcelaria debe considerar por lo menos dos criterios básicos: que las secciones operen con una uniformidad de emisión mayor a 90%, y que la velocidad en las tuberías de la red parcelaria no sea mayor de 2,0 m/s (Bonifacio, 2014).

Saud (2012), señala que las líneas regantes, distribuidoras o de conducción se diseñan de manera diferente. Las líneas de conducción se diseñan como tuberías que no tienen salidas; en contraste, las líneas laterales sobre las que se localizan los emisores (en los sistemas de riego por aspersión, goteo, microaspersión) y las secundarias de los sistemas de riego localizado, sobre las que se ubican las líneas laterales se diseñan considerando la teoría de tuberías con salidas múltiples.

Para lograr que un diseño sea eficiente, significa que independientemente de las dimensiones del sistema, de las condiciones topográficas y del tipo de cultivo, se garantice una

diferencia en caudal del 10 % entre los emisores más distantes y consecuentemente, la variación de presión no mayor al 21 % en estos mismos emisores (Bonifacio, 2014).

Red hidráulica: Sneh (2006), indica que la red hidráulica es un conjunto de tuberías distribuidas en el campo. Estas pueden ser de fierro, aluminio, polietileno de alta y baja densidad y de policloruro de vinilo (PVC), estas son de uso más generalizado en riego. La red de tuberías consta de:

- a) Tubería primaria: es la que parte de la estación y llega a todos los módulos de riego del cultivo.
- b) Tubería secundaria: tubería que parte de la tubería principal y lleva el caudal a uno de los módulos de riego. Es difícil separar las tuberías primaria y secundaria su diseño es en conjunto y recibe el nombre de red matriz o principal.
- c) Tubería terciaria: es la tubería que alimenta directamente los laterales de riego se conocen también el nombre de múltiples de riego o porta laterales. Al final de las tuberías se colocan las purgas que son usadas para el lavado de dicha tubería (Sneh, 2006).

Pérdidas de carga en tuberías: La pérdida de carga en una tubería es debido a la fricción por el paso del agua, existen dos clases de pérdidas de carga: pérdidas de carga lineal, que se ocasionan a lo largo de toda la línea de conducción, y pérdidas singulares, que son producidas por la instalación de accesorios y cambios de turbulencia (Llique, 2017).

El diseño de sistema de riego lleva en forma implícita el cálculo de pérdidas de carga en tuberías, tanto por fricción como localizadas. Las pérdidas mayores son las pérdidas de fricción, por lo que los diseñadores la calculan en primera instancia, existen varias ecuaciones que contribuyen a resolver las pérdidas de carga lineal en tuberías, siendo las más conocidas: Darcy-Weisbach, Manning, Hazen Williams, Scobey. Ortiz (García & Martínez, 2021).

Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CU): El coeficiente de uniformidad (CU); también conocido como el coeficiente de Christiansen: indica que tan uniforme es el caudal de los emisores en relación a una media poblacional del caudal; para su cálculo se recomienda la siguiente fórmula:

$$Cu = \left[1 - \frac{(\sum |X_i - \bar{X}|)}{(\bar{X})(n)} * 100 \right]$$

Dónde:

CU = Coeficiente de uniformidad en porcentaje

X_i = Datos individuales de los caudales de los goteros muestreados

\bar{X} = Promedio de los goteros aforados

n = Número de goteros aforados,

$|X_i - \bar{X}|$ = Valor absoluto de la diferencia entre $X_i - \bar{X}$

De acuerdo con Vargas (2008) citado por Franco (2018), las categorías de eficiencia de uniformidad (Eu) para sistemas de riego presurizado son: la categoría excelente del 90%-100%, buena del 80%- 90%, aceptable del 70%-80% e inaceptable menos del 70%.

Eficiencia de distribución: Antúnez et al. (2010), señala que una uniformidad de distribución inferior al 70 % se considera deficiente, de 70 a 90 % es buena; y valores superiores a 90 % se establece como excelente. Si se tiene una uniformidad de distribución deficiente, quiere decir que el agua que se está destinando no es de manera uniforme, unas plantas podrían estar recibiendo más o menos agua de lo designado, por lo que las plantas no se pueden desarrollar con normalidad.

Eficiencia de aplicación: La eficiencia de aplicación establece la cantidad agua que no es retenida en la zona radicular, en relación al total del agua aplicada en el suelo; además, determina directamente la superficie factible de regar sin causar déficit hídrico al cultivo suelo (Antúnez et al., 2010).

5. Metodología

5.1. Ubicación del área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en el barrio Lanzaca de la parroquia Changaimina del cantón Gonzanamá, Provincia de Loja. El área de estudio se encuentra a 8,5 km de distancia de la cabecera cantonal de Gonzanamá y se puede acceder al sitio por vía terrestre de primer orden.

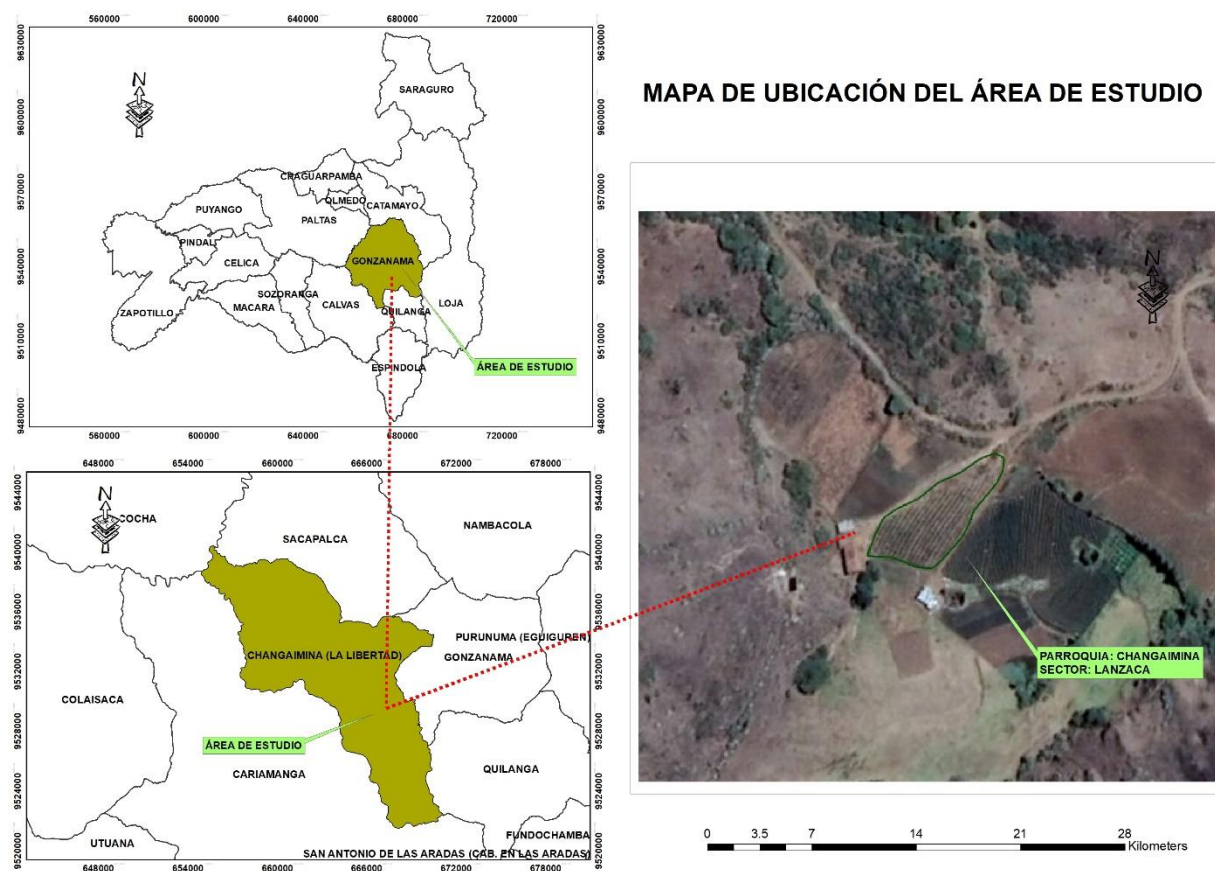


Figura 3. Ubicación del área de estudio

5.2. Ubicación geográfica

El barrio Lanzaca de la parroquia Changaimina limita al norte con la parroquia Sacapalca y el cantón Paltas, al sur con el cantón Calvas, al este con los cantones Gonzanamá y Quilanga y al oeste con el cantón Calvas (Plan de Ordenamiento Territorial de Changaimina 2015 – 2019). El área de investigación tiene como referencia de localización las coordenadas planas (UTM) en la zona 17S.

Este: 669156,49 m

Norte: 9528529 m.

Altitud: 1650 m.s.n.m.

5.3. Condiciones edafoclimáticas de la parroquia Changaimina

5.3.1. Condiciones climáticas

El barrio Lanzaca de la parroquia Changaimina tiene una temperatura promedio que varía desde los 12 a 18 °C, en consideración al rango altitudinal del cantón Gonzanamá, su población goza de un clima agradable y sensación térmica fresca, esto es entre 15 y 20 °C, la precipitación media anual de 1 098 mm y una humedad relativa del 85%. Presenta un relieve colinado muy alto con mayor concentración de lluvias en los lugares más elevados (Plan de Ordenamiento Territorial de Changaimina 2015 – 2019).

5.3.2. Condiciones edáficas

Los suelos van desde muy profundos 75 a 99 cm (valles) a muy superficiales menores a 10 cm, posee una textura variable como arcillo limoso, franco arcillo limoso, arcillo arenoso y franco arcillo arenoso, con presencia de gravas finas y gruesas. La cobertura vegetal de los suelos ha ido disminuyendo paulatinamente con el pasar de los años, resultado de la expansión en la frontera agrícola y ganadera haciendo del suelo un elemento susceptible a las condiciones climáticas que se presentan. Las actividades principales de impacto negativo son: ganadería, sobre carga animal y pastoreo extensivo (Plan de Ordenamiento Territorial de Changaimina 2015 – 2019).

5.4. Materiales y equipos

5.4.1. Materiales de campo

- Cámara fotográfica
- Estación Total/GPS diferencial
- Libreta de campo
- Flexómetro
- Manómetro de mercurio
- Tabla Munsell
- Barreno

- Cilindros
- Barreta
- Pala

5.4.2. *Materiales de laboratorios*

- Cilindros Kopecky de 100 cm³

5.4.3. *Materiales de oficina*

- Computadora
- AutoCAD Civil 3D 2019 versión estudiantil
- Hojas de calculo
- CROPWAT 8.0
- Material bibliográfico
- Catálogos de goteros
- Anuarios metrológicos del INAHMI

5.5. Metodología para el primer objetivo

Diseñar un sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca

5.5.1. *Levantamiento Topográfico.*

Para realizar el levantamiento topográfico de la superficie se empleó un GPS diferencial y una estación total, con ello se registró los datos en los sitios de interés de la zona de estudio, tomando en cuenta los siguientes aspectos: puntos en cada cambio de pendientes y la ubicación del reservorio como la fuente de abastecimiento de agua.

Para el trabajo de oficina se consideraron los siguientes aspectos: Verificación del sistema de referencia del equipo, para esta región se tomó el DATUM WGS 84 Zona 17 Sur en el sistema de proyección Universal Transversal Mercator (UTM), y el procesamiento de las coordenadas de los puntos obtenidos en el campo por medio del GPS en el software AutoCAD CIVIL estudiantil 2018, finalmente con ello se trazó la planimetría con curvas de nivel en la que se indica la fuente de agua y la superficie a irrigar

5.5.2. Estudio del suelo.

Primeramente, se realizó una calicata de 1,0 m de ancho, 1,0 m de largo y 1,0 m de profundidad, mediante el cual permitió describir las propiedades del suelo.

5.5.3. Propiedades físicas

Para el análisis de las propiedades físicas se recolectaron muestras disturbadas como no disturbadas, según lo requerido por el análisis.

Textura

Se procedió a recolectar en forma de zigzag 4 muestras disturbadas, dos muestras a una profundidad de 0 - 20 cm y dos muestras a una profundidad de 20 – 40 cm; estas muestras fueron trabajadas en el laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, empleando el método de Bouyoucos.

Estructura.

Se determinó mediante la observación directa en campo y el método del tacto.

Densidad aparente (Da).

Con ayuda de un cilindro Kopecky de 100 cm³ se recolectaron dos muestras no disturbadas, la primera a una profundidad de 0 - 20 cm y la segunda a una profundidad de 20 – 40 cm, cada muestra con tres repeticiones. Las cuales fueron secadas a la estufa a una temperatura de 105 °C y luego se pesaron las muestras.

Para determinar la densidad aparente se utilizó la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{\text{Peso seco (g)} * 100}{\text{Volumen del cilindro}}$$

Donde:

Da= Densidad aparente.

5.5.4. Constantes hidrofísicas

Saturación

Las muestras no disturbadas fueron saturadas, dejándolas varios días hasta ver una película de agua en la parte superior de la muestra.

Capacidad de campo (CC).

Las muestras saturadas fueron llevadas a la cámara de presión y sometidas a tensiones de 1/10 atm ($pF = 2,00$) y 1/3 atm ($pF = 2,52$) y se dejó por un tiempo 24 horas. A continuación, se colocaron las muestras en estufa a 105 °C por 24 horas y posteriormente se pesaron.

Punto de marchitez permanente (PMP).

Primeramente, se tamizó la muestra seca que se obtuvo en la cámara de presión, luego se la colocó en los anillos de caucho y se las ubicó sobre la placa de la olla de presión a 15 atm ($pF = 4,2$) durante un tiempo de 24 horas; finalmente se pesó la muestra.

5.5.5. *Curva de retención de la humedad.*

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

5.5.6. *Evaluación de las condiciones físicas del suelo.*

En el diagrama triangular de la evaluación de las condiciones físicas del suelo se relacionaron los valores porcentuales de agua aprovechable (AA), capacidad de aireación (CA) y el volumen de poros físicamente inerte (VFI), con estos parámetros, se procedió a clasificar la zona de condición física del suelo.

5.5.7. *Diseño agronómico.*

Según Alocén (2007), el diseño agronómico contribuye a definir las láminas de riego a aplicar, tiempo, intervalos de riego, número de emisores por planta, espaciamiento entre goteros, capacidad requerida por el sistema y por último realizar ajustes en caso de no coincidir con la capacidad disponible.

Necesidades hídricas de los cultivos

Se empleó la información del cultivo de café y los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de las estaciones con incidencia en el área de estudio. Una vez obtenida la información se determinó lo siguiente:

Evapotranspiración del cultivo (ETc).

Se determinó mediante la ecuación propuesta por la FAO (2006)

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm mes⁻¹)

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm mes⁻¹)

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

- **Evapotranspiración de referencia (ETo).**

Se buscó información de las estaciones meteorológicas Gonzanamá, Cariamanga, Changaimina y Quilanga, por estar próximas al área de estudio. Una vez obtenidos los valores de temperatura mínima y máxima, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y radiación, para un periodo de 25 años, fueron interpolados en el software ArcGis, obteniendo un ráster que fue multiplicado con un modelo digital de elevación (DEM), permitiendo obtener datos precisos del sitio de estudio. Finalmente, los datos se introdujeron en el programa informático CROPWAT 8.0 el mismo que utiliza la ecuación Penman Monteith recomendado por la FAO.

- **Coeficiente del cultivo (Kc).**

Basado en “Valores de coeficiente único (promedio temporal) del cultivo Kc y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos. (HRmin ≈ 45% μ2 ≈ 2ms-1) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ETo”, se consideró el valor de kc del cultivo de café mismo que serviría para los cálculos de las necesidades de riego.

Precipitación efectiva.

Se calculó mediante el software CROPWAT (software de acceso libre), para ello se utilizó la precipitación media mensual de las estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de la ETo de los años 1990 al 2015.

Requerimientos hídricos del cultivo de café

Para determinar las necesidades de riego del cultivo de café se empleó la siguiente fórmula (Jiménez, 2017).

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

Donde:

Pe = Precipitación efectiva (mm/mes)

ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/mes)

Necesidades brutas

Se calcularon en base a la siguiente fórmula:

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

Donde:

Nb = Necesidades brutas de riego (mm/día)

Nr = Necesidad de riego (mm/día)

Ea = Eficiencia de aplicación del agua para el sistema de riego por goteo (90%)

Caudal ficticio continuo

Se calculó a partir de las necesidades brutas para todos los días del mes aplicando la siguiente fórmula.

$$qc = \frac{Nb}{Ea * 8,64}$$

Donde:

qc = Caudal continuo $l s^{-1} ha^{-1}$

Nb : Necesidades brutas del mes de máxima exigencia hídrica del cultivo (mm día⁻¹)

Ea = Eficiencia de aplicación del agua para el sistema de riego por goteo (90%)

Necesidades netas de riego

Para determinar las necesidades de riego se debe realizar las siguientes correcciones siguiendo la metodología propuesta por Pizarro (1990):

Coefficiente de localización (Kl).

Primeramente, se calculó la fracción del área sombreada de la planta con relación a la superficie que moja, luego se multiplicó la proyección del diámetro de la copa del árbol teniendo en cuenta el marco de plantación.

Se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

A = Porcentaje de área sombreada de la planta (%)

Dm^2 = Diámetro de la copa del árbol (m)

a = Distancia entre plantas (m)

b = Distancia entre laterales (m)

Además, se utilizó las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Aljibury: $Kl = 1,34 * A$

Ecuación de Decroix: $Kl = 0,1 + A$

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

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

Finalmente, para obtener el coeficiente por localización Kl , se tomó en cuenta el promedio de los dos valores intermedios calculados anteriormente por los cuatro métodos.

Correcciones por condiciones locales

Variación climática (kv): Se emplea para ajustar los valores de promedios mensuales o promedios de un periodo en específico utilizados para calcular la ETo. En el caso de riego

localizado se usan valores entre 1.15 y 1,2. Considerando las condiciones climáticas en el área de investigación, se eligió en valor de $K_v = 1.20$.

Variación de la advección (Ka): Se calcula con la Figura 4, teniendo en cuenta la naturaleza de los cultivos y la superficie de regadío. El cultivo del café está en la curva caducifolia, porque es un arbusto debido a que las hojas están vivas todo el año, puede medir 10 m en estado silvestre y 3 m de altura en una plantación.

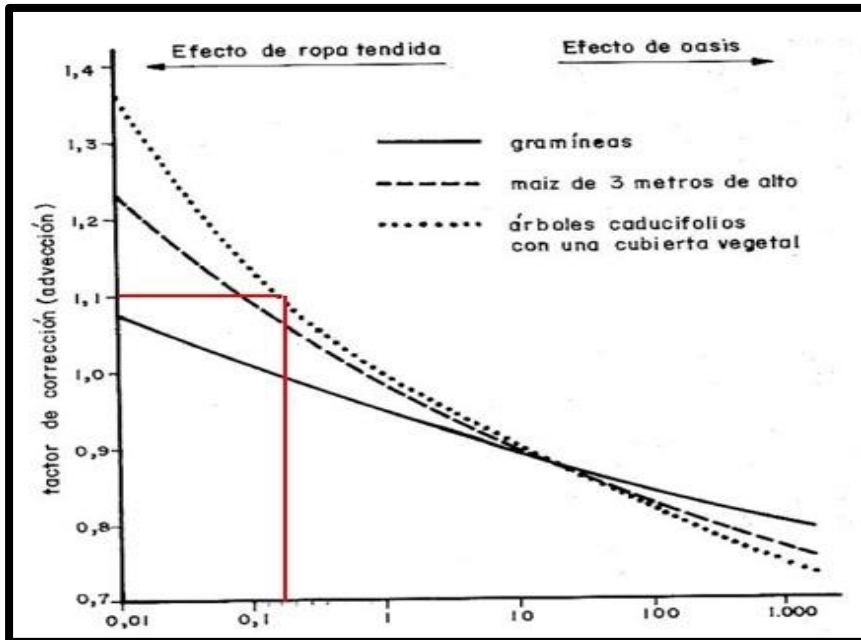


Figura 4. Coeficiente de advección de acuerdo con el área del terreno

Fuente: Alfaro y Nomberto (2015).

Por tanto, la Evapotranspiración corregida (E_{Trl}) para el riego localizado se calcula con la siguiente fórmula:

$$E_{Trl} = E_{Tc} \times K_I \times K_v \times K_a$$

Necesidades netas de riego (Nn)

Obtenido el valor de E_{Trl} . Se procedió a calcular las necesidades netas de riego (Nn) a partir del balance hídrico. Para ello se utilizó la siguiente ecuación.

$$Nn = E_{Trl} - (P_e + G_w + \Delta w)$$

Donde:

E_{Trl} = Evapotranspiración corregida en (mm día⁻¹)

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

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

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

Necesidades totales de riego (Nt)

A partir de las necesidades netas se calculó las necesidades totales para ello se consideró:

Eficiencia de aplicación

Según Antunez B et al. (2009), la eficiencia de aplicación para un sistema de riego por goteo es del 90 %.

$$K = 1 - \text{ef. Aplicación}$$

Necesidades totales

Se determinó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

Nt = Necesidades totales (mm día⁻¹)

Nn = Necesidades netas (mm día⁻¹)

k = coeficiencia de pérdidas por percolación

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

Necesidades diarias por árbol

Se determinó de acuerdo al marco de riego en mm día⁻¹

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

Donde:

Nt = Necesidad total (mm día⁻¹)

a = Separación entre plantas (m)

b = Separación entre laterales (m)

Parámetros de riego

Se determinaron los siguientes parámetros según la metodología propuesta por Martínez (2014).

Área mojada del emisor

Para determinar este parámetro se utilizó la textura del suelo y la ecuación de la tabla siguiente, considerando la textura del suelo.

Tabla 1. *Diámetro mojado del bulbo en función de la textura*

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

Fuente: (Karmeli et al. (1985))

Donde:

D Diámetro de la superficie mojada (m)

q = Caudal del emisor ($l\ h^{-1}$)

Ecuación para el área mojada en m^2

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

Donde:

Am = Área mojada del emisor

Dm = Diámetro húmedo del emisor (m)

Número de emisores por planta

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

Ne = Número de emisores por planta (u)

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

Sp = Disposición entre plantas (m²)

Ame = Área mojada por emisor (m²)

Separación entre emisores

Según la metodología aplicada se toma en cuenta un traslape (S) mínimo recomendado del 25 % y el radio húmedo (Rm) del emisor de acuerdo a la textura del suelo.

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

Donde:

Se = Separación entre emisores (m)

Rm = Radio húmedo (m)

S = traslape recomendado (%)

Porcentaje de superficie mojada

Se calculó mediante la siguiente fórmula

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

Donde:

Ne = Número de emisores por planta (u)

Ame = Área mojada por emisor (m²)

Sp = Superficie ocupada por la planta (m²)

Dosis, frecuencia y tiempos de riego

Lámina neta (Ln)

Para calcular la Lámina neta se utilizó la siguiente fórmula:

$$Ln = \frac{(CC - PMP)}{100} * Prof * Da * Ur$$

Donde:

Ln = Lámina de riego (cm)

CC = Capacidad de campo (% θ_m)

PMP = Punto de marchitez permanente (% θ_m)

$Prof$ = Profundidad radicular (cm)

Da = Densidad aparente ($g\ cm^{-3}$)

Ur = Umbral de riego (%)

Frecuencia de riego (I)

Se determinó mediante la siguiente formula

$$I = \frac{Ln.corregida}{Nt}$$

Donde:

I = Frecuencia de riego (días)

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

Nt = Necesidades total de riego ($mm\ día^{-1}$)

Tiempo de riego (t)

Se utilizó la siguiente ecuación

$$t = \frac{N_{diarias}}{n_e * qa}$$

Donde

t = Tiempo de riego

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

n_e = Número de goteros por planta (u)

qa = Caudal del goteo ($l\ h^{-1}$)

5.5.8. *Diseño hidráulico*

El diseño hidráulico permitió conocer, el dimensionamiento de la red, distribución y componentes, para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Para determinar los parámetros a continuación se utilizó la metodología propuesta por Linares (2012):

Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego

Caudal de la tubería lateral y secundaria

Se determinó mediante la siguiente ecuación

- **Caudal del lateral (Ql)**

$$Ql = qe * Ngl$$

Donde:

Ql = Caudal del lateral (l/h)

qe = Caudal del gotero (l/h)

Ngl = Número de goteros por lateral (u)

- **Caudal de la secundaria (Qs).**

$$Qs = Ql * Nl$$

Donde:

Qs = Caudal de la secundaria (l/h)

Ql = Caudal del lateral (l/h)

Nl = Número de laterales del módulo de riego

Longitud del lateral y secundaria

Se utilizó el programa AutoCAD, para dibujar la tubería lateral y secundaria mediante la cual nos permitió determinar la distancia del lateral más crítico de cada una de las tuberías.

Pérdidas de carga máxima admisible

Para calcular la pérdida de presión permisible en el módulo de riego, se aplicó la expresión de Fuentes (1998):

$$h \text{ máx} = \frac{0,1 * p}{x}$$

Donde:

h máx = Pérdida de carga máxima admisible (m)

p = Presión media de los goteros (m)

x = Exponente de descarga del gotero no compensantes (0,5)

Pérdida de carga en la tubería lateral

Se determinó mediante la siguiente fórmula

$$Hf = J * l * F$$

Donde:

Hf = Pérdida de carga en el lateral

J = Pérdida de carga lineal

l = Longitud del lateral

F = Factor de Christiansen

Pérdida de carga lineal (J)

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

Donde:

J = Pérdida de carga lineal (m/m)

Q = Caudal (l/s)

C = coeficiente de fricción, depende de la naturaleza y estado del material

D = Diámetro interno de la tubería (mm)

Factor de Christiansen (adimensional)

$$F = \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{2 * n} + \frac{\sqrt{\beta - 1}}{6 * n^2}$$

Donde:

F = Factor de Christiansen (adimensional)

β = Coeficiente beta para la tubería PVC (1,8)

N = Número de salidas en la tubería

Velocidad permisible en la tubería lateral.

Se calculó a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

V = Velocidad permisible en la tubería lateral (m/s)

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

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

Área de la sección circular interna de la tubería

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

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

D = Diámetro interior de la tubería (m)

Presión a la entrada del lateral

En el presente diseño del sistema de riego, la posición de los laterales es descendente; consecuentemente, se aplicó las siguientes ecuaciones para determinar la presión al inicio y final del lateral (Pizarro, 1990).

$$\left(\frac{Po}{\gamma}\right) = \left(\frac{Pa}{\gamma}\right) + \frac{3}{4}hfl - \frac{Hg}{2}$$

Donde:

Po/γ = presión a la entrada del lateral (m)

Pa/γ = presión nominal del gotero (m)

hfl = pérdida de fricción en el lateral (m)

Hg = Desnivel del lateral (m)

Presión a la salida del lateral

$$\left(\frac{Pn}{\gamma}\right) = \left(\frac{Pa}{\gamma}\right) - \frac{1}{4}hfl + \frac{Hg}{2}$$

Donde:

Pn/γ = presión al final del lateral (m)

Pa/γ = presión nominal del gotero (m)

hfl = pérdida de fricción del lateral (m)

Hg = Desnivel del lateral (m)

Presión de entrada en la secundaria

Se determinó mediante la siguiente ecuación

$$\frac{Po}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} + Hfl - hg$$

Donde:

Po/γ : Presión a la entrada de la secundaria (m.c.a.)

Pa/γ = Presión requerida a la entrada de la tubería que suministra (m)

Hfl = Pérdidas de carga en la secundaria (m.c.a.)

Hg = Desnivel topográfico (descendente) en la dirección de la secundaria (m)

Diseño de la tubería principal

Caudal de la principal

Se determinó con base a la ecuación

$$Q_p = Q_s * N_s$$

Donde:

Q_p = Caudal de tubería principal (l/h)

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

N_s = Número de tuberías secundarias en funcionamiento

Pérdida de carga por fricción longitudinal

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

$$H_f = J * L$$

Donde:

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

J = Pérdida de carga lineal (m/m)

L : Longitud de la tubería (m)

En cuanto a la pérdida de carga lineal se calculó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

J = Pérdida de carga lineal (m/m)

Q = Caudal (l/s)

C = coeficiente de fricción, depende de la naturaleza y estado del material

D = Diámetro interno de la tubería (mm)

Velocidad del agua en la tubería principal

Se calculó siguiendo la metodología antes mencionada para el cálculo del lateral y secundaria

5.6. Metodología para el segundo objetivo

Instalar el sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca

5.6.1. Replanteo de la ubicación de la red hidráulica.

Partiendo del diseño hidráulico del sistema de riego, se procedió a replantear mediante la utilización de GPS Diferencial. Se colocó estacas de madera en la ubicación del cabezal de control, vértices de las líneas principal, secundaria y laterales. Para esta actividad se requirió un topógrafo y cadenero.

5.6.2. Instalación de la red hidráulica.

Para la instalación de la red hidráulica se realizaron las siguientes actividades:

- Desmonte y limpieza de la trayectoria de la red hidráulica
- Excavación manual de zanjas.
- Colocado de la tubería principal y secundaria con sus respectivos accesorios.
- Elaboración del cabezal de control
- Instalación de las laterales de riego con sus respectivos accesorios
- Colocado de goteros no compensados
- Relleno de zanjas

5.7. Metodología para el tercer objetivo

Evaluar la eficiencia de la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo en un módulo representativo del sistema instalado.

5.7.1. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU)

Tomando como referencia el procedimiento de Merriam y Keller (1978), Para el análisis de la uniformidad de distribución de riego por goteo, aplicamos la ecuación conocida del cuarto menor.

Se muestreó con una probeta graduada el caudal de un lateral al inicio, 1/3, 2/3 y al final del módulo del sistema de riego por goteo. Además, a lo largo de cada lateral seleccionado, se muestreó un emisor al inicio, 1/3, 2/3 y al final.

La siguiente ecuación se utiliza para evaluar datos de campo, es decir, evalúa a sistemas de riegos que ya se encuentran en funcionamiento.

Esta se describe de la siguiente manera:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} * 100$$

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad (%);

q_{25} = Caudal promedio del 25% de goteros de menor caudal ($l\ h^{-1}$);

q_a = Media del caudal de los goteros ($l\ h^{-1}$).

6. Resultados

6.1. Determinación de la superficie de riego

Obtenida la información topográfica a través del programa software, se obtuvo que el área a irrigar es de 975 m². El marco de plantación del cultivo de café es de 1,80 m entre hilera y 1,50 m entre planta.

6.2. Descripción de la fuente abastecedora de agua

El sitio de estudio cuenta con un reservorio de 56 m³, con dimensiones de 6 m de largo x 3 m ancho x 3 m de profundidad.

La distancia desde el reservorio hasta el área de riego es de 45 m; el reservorio se encuentra en la cota 2100,294 m y el área de riego a la cota 2078,819 m, obteniendo un desnivel de 21,47 m.

6.3. Resultados para el primer objetivo

6.3.1. *Propiedades físicas.*

Textura

La textura del área de estudio corresponde a Franco Arcilloso (Ac).

Densidad aparente

La densidad aparente del suelo a distintas profundidades se detalla a continuación:

Tabla 2. *Densidad aparente (Da) del área de estudio*

Profundidad cm	Da g cm ⁻³
00 - 20	1,199
	1,183
Promedio	1,19
	1,529
20 – 40	1,524
	1,562
Promedio	1,54
Promedio total	1,36

Fuente: Laboratorio de suelos y aguas de la UNL

La densidad aparente promedio del suelo es de 1,36 g cm⁻³.

6.3.2. Constantes hidrofísicas.

Las constantes hidrofísicas del suelo del área de estudio se presentan a continuación:

Tabla 3. Valores de saturación, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de la zona de estudio.

Profundidad (cm)	Saturación	CC	PMP
	pF = 0 % θ_v	pF = 2,52 % θ_v	pF = 4,2 % θ_v
00 - 20	46,79	26,44	11,42
	49,03	26,63	11,52
Promedio	47,91	26,54	11,47
20 – 40	25,77	19,16	15,3
	26,51	17,39	9,09
Promedio	25,73	17,69	10,72
Promedio total	36,82	22,11	11,09

Fuente: Laboratorio de suelos y aguas de la UNL

Para la profundidad de 00 – 20 cm, el valor promedio de saturación es de 47,91 %, CC a 1/10 atm es de 28,04 %, CC a 1/30 atm es de 26,54, PMP de 11,47. Mientras que para una profundidad de 20 – 40 cm la saturación es de 25,73 %, CC a 1/10 atm es de 18,64 %, CC a 1/30 atm es de 17,69, PMP de 10,72 %.

6.3.3. Curva de retención de la humedad del suelo

La figura siguiente refleja la curva de retención de la humedad del suelo para la unidad de riego, en la cual se obtuvo valores de CC de 22,11 %, PMP de 11,09 % y Saturación de 36,81 % correspondiente a un suelo con textura franco arcilloso.

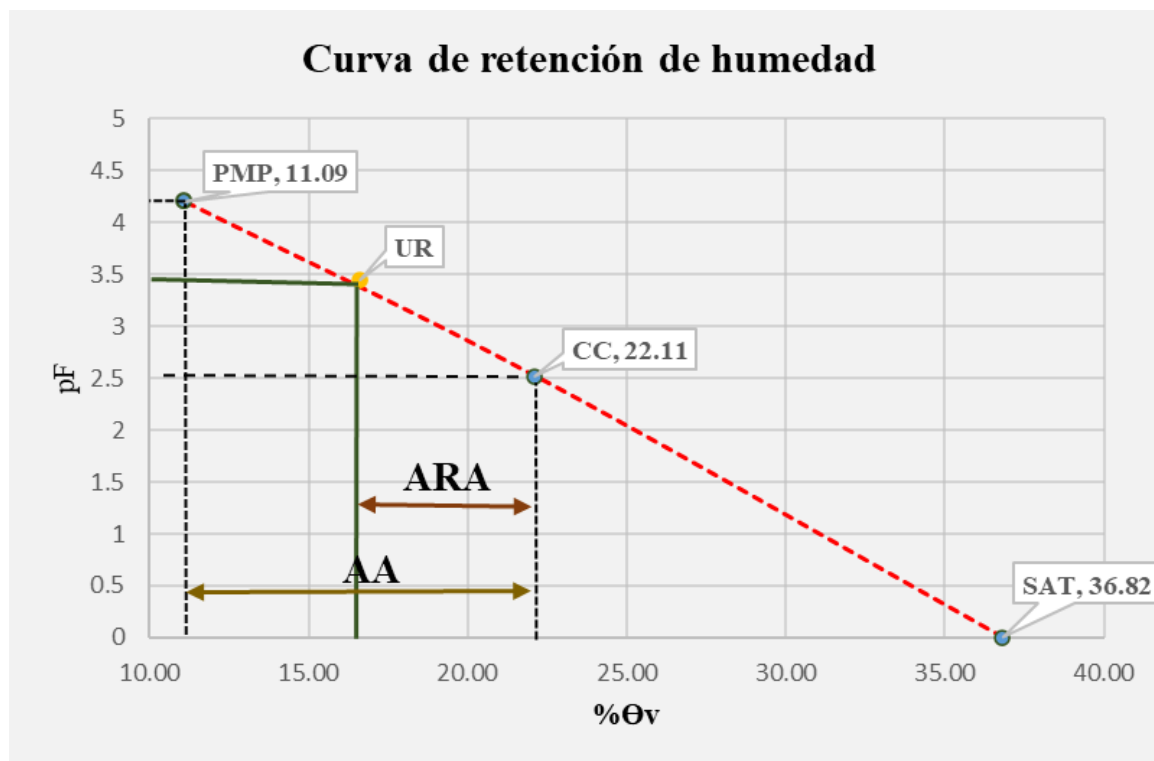


Figura 5. Curva de retención de humedad del suelo

6.3.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

La evaluación de las condiciones físicas para el suelo de estudio (Anexo 1), presentan los siguientes valores:

Tabla 4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

Textura	AA	CA	VFI	ZONA	CLASE
Franco Arcillosa	11,02	14,71	74,28	II	POBRE

Fuente: El Autor

El agua aprovechable (AA) representa el 11,02 %, mientras que la capacidad de aireación (CA) es de 14,71 % y el volumen físicamente inerte (VFI) de 74,28 %; según el diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo, se encuentra dentro de la zona II, clasificado como pobre, esto debido al porcentaje de AA, CA y VFI.

6.3.5. Diseño agronómico

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

A continuación, se presentan los valores mensuales de la evapotranspiración del cultivo de referencia para el periodo de un año:

Tabla 5. Evapotranspiración de referencia para el área de estudio

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET _o mm mes ⁻¹	94,86	85,40	93,93	87,30	89,59	93,60	98,89	114,08	101,10	106,02	101,10	103,54
ET _o mm día ⁻¹	3,06	3,05	3,03	2,91	2,89	3,12	3,19	3,68	3,37	3,42	3,37	3,34

Fuente: El Autor

Los valores máximos y mínimos de la ET_o para el sitio de estudio son de 3,68 y 2,91, correspondiente a los meses de agosto y abril respectivamente

Coefficiente del cultivo (K_c)

La figura siguiente indica el k_c del cultivo de café para las distintas etapas fenológicas: 0,90 para enero y febrero, 0,91 para marzo y diciembre, 0,93 para abril y noviembre, 0,94 para mayo y octubre 0,95 para junio, julio, agosto y septiembre.

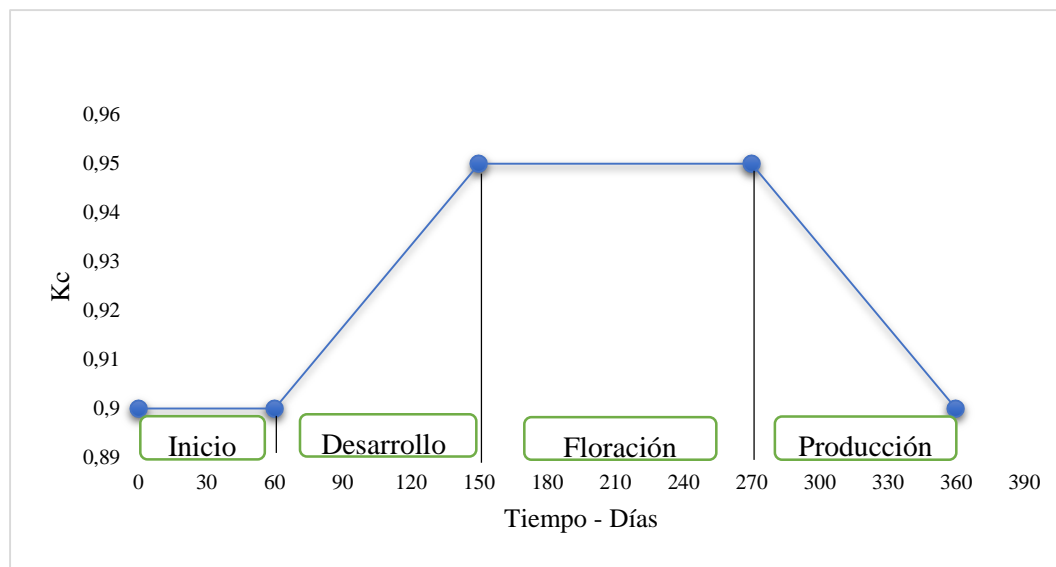


Figura 6. Coeficiente K_c para el cultivo de café

Fuente: FAO (2006).

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

A continuación, se presenta la evapotranspiración del cultivo de café, de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona de estudio

Figura 7. *Evapotranspiración del cultivo de café.*

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET _o mm día ⁻¹	3,06	3,05	3,03	2,91	2,89	3,12	3,19	3,68	3,37	3,42	3,37	3,34
kc	0,9	0,9	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93	0,91
ET _c mm día ⁻¹	2,75	2,75	2,76	2,71	2,72	2,96	3,03	3,50	3,20	3,21	3,13	3,04

Fuente: El Autor

El mes de abril presenta el valor más bajo de ET_c con 2,71 mm día⁻¹, mientras tanto el mayor índice de requerimiento hídrico corresponde al mes de agosto con 3,50 mm día⁻¹.

Precipitación efectiva

La tabla siguiente presenta los datos de precipitación efectiva para el área de investigación.

Tabla 6. *Precipitación efectiva (Pe), para el área de estudio*

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pe (mm mes ⁻¹)	106,03	133,89	150,48	131,41	66,42	16,60	9,26	3,95	18,36	42,93	64,98	81,39
Pe (mm día ⁻¹)	3,42	4,78	4,85	4,38	2,14	0,55	0,30	0,13	0,61	1,38	2,17	2,63

Fuente: El Autor

El área de investigación tiene una precipitación efectiva máxima en el mes de marzo con 150,48 mm mes⁻¹ y una precipitación mínima de 3,95 mm mes⁻¹ correspondiente al mes de agosto.

Requerimientos de riego del cultivo

La demanda de agua por parte del cultivo de café, se presentan a continuación:

Tabla 7. *Requerimientos de riego del cultivo*

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET _c (mm día ⁻¹)	2,75	2,75	2,76	2,71	2,72	2,96	3,03	3,50	3,20	3,21	3,13	3,04
Pe (mm día ⁻¹)	3,42	4,78	4,85	4,38	2,14	0,55	0,30	0,13	0,61	1,38	2,17	2,63
Nr (mm día ⁻¹)	-	-	-	-	0,57	2,41	2,73	3,37	2,59	1,83	0,97	0,41

Fuente: El Autor

Según los datos obtenidos, el mes con mayor demanda es agosto con 3,37 mm día⁻¹, mientras que los meses con menor demanda es de enero a abril.

Necesidades brutas y caudal continuo

Tabla 8. Necesidades brutas y caudal continuo de riego

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Nr (mm día ⁻¹)	-	-	-	-	0,57	2,41	2,73	3,37	2,59	1,83	0,97	0,41
Eficiencia del sistema	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
NB (mm día ⁻¹)	-	-	-	-	0,64	2,68	3,04	3,74	2,88	2,03	1,08	0,46
Caudal ficticio l s ⁻¹ ha ⁻¹	-	-	-	-	0,08	0,34	0,39	0,48	0,37	0,26	0,14	0,06

Fuente: El Autor

En el mes de julio y agosto las necesidades brutas de riego son las más altas con 3,04 mm día⁻¹ y 3,74 mm día⁻¹, respectivamente, de igual forma el caudal ficticio continuo con 0,39 l s⁻¹ ha⁻¹ para julio y 0,48 l s⁻¹ ha⁻¹ para agosto, meses que forman parte de la época de estiaje.

Necesidades de agua del cultivo de café.

Las necesidades de agua para el cultivo de café se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 9. Necesidades de agua

Descripción	Símbolo	Unidades	Valores
Corrección por efecto de localización	Kl	s u ⁻¹	0,72
Corrección por condiciones climáticas:			
a.- Coeficiente de variación	Kv	s u ⁻¹	1,20
b.- Coeficiente de Advección	Ka	s u ⁻¹	1,15
Evapotranspiración corregida	Etrl	mm día ⁻¹	4,26
Necesidades netas de riego	Nn	mm día ⁻¹	4,26
Necesidades totales de riego	Nt	mm día ⁻¹	5,3
Necesidades diarias por árbol	N _{diarias}	l árbol ⁻¹ día ⁻¹	14,2

Fuente: El Autor

Las necesidades netas son igual a le evapotranspiración corregida del mes con mayor demanda con $4,26 \text{ mm día}^{-1}$, las necesidades totales de riego es de $5,3 \text{ mm día}^{-1}$ y las necesidades diarias por árbol es de $14,2 \text{ l árbol}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

Parámetros de riego

Fueron determinados a partir de los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo, los requerimientos hídricos del cultivo y el clima de la zona de estudio.

Tabla 10. *Parámetros de riego*

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores
Área mojada por emisor	Ame	m^2	1.04
Número de emisores por planta	Ne	U	0,93
Separación entre emisores	Se	m	1
Superficie mojada real	P	%	39
Lámina neta	Ln	mm	16,15
Frecuencia de riego	Fr	día	3
Tiempo de riego	T	h	3,5

6.3.6. Diseño hidráulico

La unidad de riego consta de 16 líneas de goteo, dispuestos a 1,8 m de distancia, el caudal de diseño para la tubería principal es de $1,64 \text{ l s}^{-1}$. En la unidad de riego la tubería principal, secundaria son de PVC y las laterales son de polietileno como se indica en el anexo 8.

Diseño de la tubería principal

Tabla 11. *Diseño de la tubería principal*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Longitud	Ll	m	34
Caudal	Ql	l s^{-1}	1,64
Pérdida de carga	hf	m.c.a.	1,92
Velocidad del agua	V	m s^{-1}	1,44

Fuente: El Autor

La tubería principal del sistema de riego, es de material PE, con una longitud de 34 m, caudal de $1,64 \text{ l s}^{-1}$ y una pérdida de carga de 1,92 m.c.a.

Diseño de la tubería del lateral y secundaria de riego

A continuación, se presentan los valores para la unidad de riego:

Tabla 12. *Diseño de la tubería lateral y secundaria.*

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área de la unidad de riego	A	m^2	975
Presión del emisor	P	m.c.a	10
Caudal del emisor	Q_e	l h^{-1}	4,1
Pérdida de carga máxima admisible	h_{max}	m	2
Lateral de riego			
Longitud	Ll	m	45
Caudal del lateral	Q_l	l s^{-1}	0,1025
Pérdida de carga	hf	m	0,76
Velocidad del agua	V	m s^{-1}	0,69
Presión a la entrada del lateral	P_o/γ	m	9,57
Presión a la salida del lateral	P_n/γ	m	10,81
Secundaria de riego			
Longitud	Ls	m	29
Caudal	Q_s	l s^{-1}	1,64
Pérdida de carga	hf	m	0,64
Velocidad del agua	V	m s^{-1}	1,44
Presión a la entrada	P_o/γ	m	6,21

Fuente: El Autor

Los laterales de riego tienen una longitud de 45 m, caudal de $0,10 \text{ l s}^{-1}$, presión requerida a la entrada del lateral 9,57 m y presión a la salida del lateral 10,81 m, esta incrementa debido a que se trata de un lateral descendente. La secundaria de riego tiene una longitud de 29 m, caudal de $1,64 \text{ l s}^{-1}$, velocidad del agua $1,44 \text{ m s}^{-1}$ y la presión de entrada es de 6,21 m.

6.4. Resultados para el segundo objetivo

Para la instalación del sistema de riego por goteo se realizó las siguientes actividades:

6.4.1. Replanteo de la ubicación de la red hidráulica.

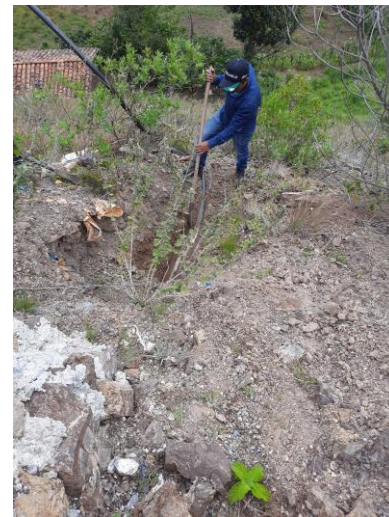
Se ubicó los vértices de cada uno de las tuberías y el cabezal de control según el plano de diseño (Anexo 8).

Figura 8. *Replanteo de la ubicación de la red hidráulica*



6.4.2. Instalación de la red hidráulica.

Actividad	Descripción
Desmonte y limpieza de la trayectoria de la red hidráulica	Las malezas fueron limpiadas de manera longitudinal por el paso de la tubería principal.
	<p>Se realizó las siguientes zanjas:</p> <p>Zanja de 47 m x 0,20 m x 0,30 m para tubería principal, con un volumen de excavación de 2,82 m³.</p>
Excavación manual de zanjas.	<p>Zanja de 27 m x 0,20m x 0,30 m para tubería secundaria o múltiple, con un volumen de excavación de 1,62 m³.</p>



Colocado de la tubería principal y secundaria con sus respectivos accesorios.

Se instaló 45 m de manguera de PVC de 1 ½” para la principal.

Para la secundaria se utilizó 27 m de manguera de PVC de 1 ½”.



Elaboración del cabezal de control

Se utilizó:

Tubo PVC de 40 mm

Codo PVC de 40 mm x 90°

Válvula 1 Universal de 40 mm

Filtro de anillas de 40 mm 120 mesh

Válvula de aire de ¾”



Colocación de las laterales de riego con goteos

Se utilizó manguera de 16 mm de polietileno con goteros no compensantes, 1 por cada planta.



Relleno de zanjas

Colocado de cama de apoyo.

Se rellenó las zanjas con el material original.



6.5. Resultados para el tercer objetivo

6.5.1. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU).

A continuación, se presenta el valor de coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo:

Tabla 13. *Coeficiente de uniformidad.*

Sector	CU (%)	Clasificación
Lanzaca	96,09	Excelente

El riego por goteo presenta un coeficiente de uniformidad del 96,09 % (Anexo 5), clasificado como excelente.

6.5.2. Costos del sistema de riego

En la Tabla 14 se muestra el presupuesto de materiales y accesorios del sistema de riego por goteo para la finca, el cual tiene un costo de \$888,60 en 973,4 m² este valor proyectado para 1ha es de \$ 9128,45.

Tabla 14. *Costo del sistema de riego por goteo.*

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT	TOTAL
CABEZAL DE CONTROL				
TUBOPVC E/C 50 MM X 6M 0,63MPA	U	1.00	12.94	12.94
CODO PVC 50 MM X 90 GR PVC PN16	U	4.00	0.85	3.40
VÁLVULA 1 UNIVERSAL 50 MM PEGABLE	U	1.00	11.95	11.95
ADAPTADOR H 50 MM X 1 1/2" PVC PN16	U	4.00	1.00	4.00
FILTRO HT ANILLO 1 1/2" 120 MESH	U	1.00	31.10	31.10
MONTURA SP 50 MM X 3/4" PVC	U	1.00	1.55	1.55
VÁLVULA HT AIRE 3/4 DOBLE ACCIÓN	U	1.00	12.30	12.30
PRINCIPAL DE RIEGO				
MANGUERA EC 1 1/2" X 80PSI X 100 MTS	U	0.50	113.35	56.68
ADAPTADOR FLEX 1 1/2"	U	2.00	0.85	1.70

SECUNDARIA DE RIEGO				
MANGUERA EC 1 1/2" X 80PSI X 100 MTS	U	0.50	113.35	56.68
ADAPTADOR FLEX 1 1/2"	U	1.00	0.85	0.85
TAPA 1 1/2" HEMBRA ROSC PLAST SIP	U	1.00	1.06	1.06
LATERAL DE RIEGO				
EMPAQUE PE 16MM CAUCHO	U	14.00	0.01	0.14
CONECTOR PE 16MM INICIAL FLEX	U	14.00	0.14	1.96
MANGUERA 16MM CADA 0.50M X 500M	U	1.00	299.65	299.65
TERMINAL DE GOTERO 16MM	U	14.00	0.09	1.26
ACCESORIOS				
PEGA 1/8 GALÓN	U	1.00	4.47	4.47
TEFLÓN MV AMARILLO CLARO 1/2" X 10 MTS	U	2.00	0.30	0.60
ABRAZADERAS NOR/W/1/URZA 35-50 1 1/2	U	4.00	1.03	4.12
OTROS				
DESMONTE Y LIMPIEZA	ha	0.90	50.00	45.00
REPLANTEO Y NIVELACIÓN	ha	0.09	200.00	18.00
EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR A MANO	m ³	4.44	71.90	319.24
COSTO TOTAL				888.64

Fuente: Riego Ecuador (2023).

7. Discusión

7.1. Diseñar un sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca

7.1.1. *Propiedades físicas*

La textura del suelo del área de estudio es Franco Arcillosa, Gisbert et al. (2010), manifiesta que estas texturas dan suelo plásticos, que retienen gran cantidad de agua pero presentan una permeabilidad baja. De igual manera se determinó la densidad aparente reportando un valor promedio de $1,36 \text{ g cm}^{-3}$, coincidiendo con los valores de densidad aparente referenciales para suelo con textura Franco Arcillosa que están en el rango de $1,30 - 1,40 \text{ g cm}^{-3}$ según Jiménez & Sadeghian (2005).

7.1.2. *Constantes hidrofísicas*

La saturación del suelo para el presente estudio es de 36,82 % en promedio, según Ibáñez (2006) la saturación puede afectar las capas superficiales del suelo y los valores normales para suelos de textura fina está entre los 40 a 50 %; por otro lado la capacidad de campo (CC) promedio del suelo es 22,11 % a una tensión de humedad pF de 2,52, así mismo Silva et al. (2015), manifiesta que la CC es el contenido del agua del suelo después de haber sido mojado y drenado evitando las pérdidas por evapotranspiración, y se interpreta que por 100 g de suelo seco retiene 22,11 g de agua. Por último se determinó un PMP de 11,09 % promedio correspondiente a un suelo de textura franco arcillosa y según Cherlinka (2022), cuando el suelo tenga 11,09 g de agua por 100 g de suelo la planta alcanzara marchitez.

Entre las condiciones físicas del suelo tenemos la capacidad de aireación, la cual se obtuvo un valor de 14,71 %, que según López (2023), se clasifica como alta y permite el intercambio de oxígeno y gases en el suelo.

7.1.3. *Diseño agronómico*

Necesidades hídricas del cultivo.

La Evapotranspiración de referencia (ET_o) determinada para el sitio de estudio presenta un valor máximo en el mes de agosto de $3,68 \text{ mm día}^{-1}$, mientras que el mes de abril se reporta la menor ET_o con un valor de $2,91 \text{ mm día}^{-1}$, valores cercanos a los reportados por Robles (2021), quien realizó su investigación en el mismo cantón de estudio obtenido como dato máximo de ET_o de 3,28 y mínimo de $2,86 \text{ mm día}^{-1}$, pero en distintos meses; según FAO (2006), la ET_o puede

variar al verse afectada por: variables climáticas, factores de cultivo, manejo y condiciones ambientales.

El valor de K_c máximo para el cultivo de café es de 0,95, valor similar al obtenido por Moreno (2023) para café bajo cobertura, este valor se obtuvo basándose en la metodología de la FAO (2006).

En cuanto a la evapotranspiración del cultivo de café, el mes de agosto se presenta la mayor demanda con $3,50 \text{ mm día}^{-1}$, en cambio la menor demanda es de $2,71 \text{ mm día}^{-1}$ en el mes de abril; según Cenicaña (2015) determinar la ET_c es indispensable para realizar una planificación correcta del riego y mejorar la eficiencia de uso del agua.

La demanda de agua máxima por parte del cultivo de café se presenta en el mes de agosto con $3,37 \text{ mm día}^{-1}$, mientras que los meses de enero hasta abril no se necesita el aporte de agua mediante el riego debido a la precipitación que recompensa las pérdidas por la evapotranspiración.

Para las necesidades brutas de agua para el cultivo de café se partió de la demanda de agua y la eficiencia de riego (90%) según lo recomendado por Cisneros et al. (2015), en donde las necesidades más altas son de $3,04$ y $3,47 \text{ mm día}^{-1}$; de igual manera se obtuvo el caudal ficticio de diseño para la época de estiaje de $0,48 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, para Planells et al. (1999) este es el caudal que habría que derivar de forma continua y permanente para satisfacer las necesidades brutas del cultivo de café.

Necesidades de agua del cultivo de café

Para la corrección por efecto de localización (K_l) se consideró el porcentaje de superficie bajo sombra con relación a la superficie total proyectada por la planta, donde se estima que el diámetro del follaje del café es 1.40 m. Siendo así el porcentaje de área sombreada de 57 %, a partir de este valor el factor de K_l es de 0,72.

Para la corrección por variación climática se utilizó el criterio de Hernández Abreu en donde se consideró un K_v : 1,20 esto debido a que en riego por goteo la aplicación de agua se efectúa de acuerdo a la cantidad que necesita la planta, por tal motivo es necesario incrementar las necesidades y de esta forma corregir los periodos de necesidad de riego (Intagri, 2015).

Las necesidades netas de riego son de $4,26 \text{ mm día}^{-1}$, mientras que las necesidades totales $5,30 \text{ mm día}^{-1}$ y las necesidades diarias por árbol de $14,20 \text{ mm día}^{-1}$; estos valores son cercanos a

los reportados por Picoita (2021) y Moreno (2023), en sus investigaciones en sistemas de riego por goteo para el cultivo de café en condiciones climáticas similares a la del área de estudio.

Parámetros de riego

Dentro de los parámetros de riego se determinó el área mojada por el emisor con base al diámetro húmedo con relación a la textura del suelo, obteniendo 1,04 m² de área mojada por el emisor.

El número de emisores por planta para satisfacer la demanda de agua de la planta es de 1 emisor y con ello se determinó la separación entre goteros la cual es de 1 m entre emisor; Cevallos (2008), manifiesta que el espaciamiento entre emisores se define directamente por el tipo de cultivo y la distancia de plantación.

La frecuencia de riego estimada es de 3 días y el tiempo de riego de 3,5 horas; el riego por goteo usualmente necesita menos frecuencia de riego y el tiempo de riego resulta de las necesidades de riego y del caudal del emisor (Proain, 2020).

7.1.4. Diseño hidráulico

Para el diseño hidráulico se consideró un área de riego de 975 m², y manguera con goteos no compensados con una presión del emisor de 10 m.c.a y un caudal de 4,10 l h⁻¹. La unidad de riego consta de 16 líneas de goteo, dispuestas a 1,8 m de distancia.

Para la tubería principal debido a las características topográficas se utilizó manguera de polietileno de 1 ½", con longitud de 34 m, y un caudal continuo de 1,64 l s⁻¹, la pérdida de carga por rozamiento es de 1,92 m.c.a y velocidad de 1,44 m s⁻¹; estos parámetros están dentro de los rangos propuestos por Jiménez (2017), el cual manifiesta que la velocidad dentro de la tubería debe oscilar entre 0,50 a 3,00 m s⁻¹.

La tubería secundaria presenta una longitud de 29,00 m, con caudal continuo de 1,64 l s⁻¹, una pérdida de 0,64 m.c.a y la velocidad del agua de 1,44 m s⁻¹; mientras que la lateral más crítica tiene una longitud de 45 m, 0,1025 l s⁻¹ de caudal, una velocidad del agua de 0,69 m s⁻¹ y las presiones de entrada y salida presentan una diferencia de 1,3 m.

7.2. Instalar el sistema de riego por goteo en la granja avícola Lanzaca.

Con el diseño agronómico e hidráulico, se elaboró el plano de diseño y detalles constructivos, con ello siguiendo lo recomendado por Grupo Hidráulica (2023), se replanteo los vértices de las tuberías principal, secundaria y laterales con la finalidad de observar el diseño en campo y rediseñar si se necesita.

Siguiendo con el proceso se realizó las zangas para el tendido de manguera de 0,20 m de ancho y 0,30 m de profundidad, de manera manual colocando el material saliente a un costado para su futura utilización como lo recomienda Icochea (2020).

Para el colocado de las tuberías se la realizó con base a lo descrito en los planos de diseño y de igual manera la elaboración del cabezal de control.

Par el relleno de las zanjas se colocó una cama de apoyo con material fino y luego se cubrió por completo con material original tratando de no utilizar material con alta dureza con el fin de no provocar daños en el futuro, como recomienda Yepes (2018), el cual manifiesta que la tubería, aunque se haya fabricado y dimensionado correctamente, puede fallar si no se instala adecuadamente, pues debe soportar los esfuerzos de todo tipo.

7.3. Evaluar la eficiencia de la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo en un módulo representativo del sistema instalado

7.3.1. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU).

El coeficiente de uniformidad del sistema de riego es de 96,09 % y según González et al. (2011), valores cercanos al 100 % presentan un buen funcionamiento del sistema de riego por goteo.

7.3.2. Costo del sistema de riego

Considerando los planos de diseño y detalles, se determinó un presupuesto de 888,64 USD, para una superficie de 973 m², estos según los precios referenciales de Riego Ecuador (2023).

8. Conclusiones

- El suelo presenta una textura franco arcillosa, con densidad aparente de $1,36 \text{ g cm}^{-3}$, con un nivel de saturación de 36,38 %, capacidad de campo de 22,11 % y punto de marchitez permanente de 11,09 %; como condiciones físicas el suelo presenta una clase pobre con capacidad de aireación de 14,71 % y agua aprovecha de 11,02 % correspondiente a nivel medio.
- Para satisfacer las necesidades de riego del cultivo de café en las épocas más críticas se seleccionó un gotero por planta cuyo caudal de descarga es de $4,10 \text{ l s}^{-1}$, para regar con una frecuencia de 3 días y tiempo de riego de 3,5 horas, suministrando una lámina de 16,15 mm.
- En el diseño hidráulico se determinó la tubería principal y secundaria de polietileno con diámetro nominal de $1 \frac{1}{2}$ ", la lateral de riego es de 16 mm con goteros cada 1 m; las pérdidas de carga por fricción y las velocidades de agua en las tuberías, cumplen con los parámetros establecidos para el correcto funcionamiento del sistema.
- Se instaló un sistema de riego por goteo para una superficie de $973,34 \text{ m}^2$ con costo de 888,64 USD, en el sector Lanzaca del cantón Gonzanamá; las tuberías principal y secundaria se encuentran a 0,30 m de profundidad y con una cama de apoyo para evitar daños en lo posterior
- Producto de la evaluación en el funcionamiento del sistema de riego por goteo instalado, reporto un 96,09 % de Coeficiente de Uniformidad, que determina que el diseño hidráulico es óptimo.

9. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio de rentabilidad de la producción de café utilizando el sistema de riego por goteo.
- Seguir las disposiciones del uso del sistema de riego por goteo considerando las especificaciones de los cálculos agronómicos, y así prolongar la vida útil del sistema de riego.
- Evaluar anualmente el funcionamiento del sistema de riego instalado, para no tener problemas en la distribución del agua en el cultivo.
- Se recomienda realizar el lavado de tuberías cada 6 meses, con el fin de evitar taponamiento en los goteros.

10. Bibliografía

- Aguinsaca, D. (2020). Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio “la dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.
- Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego.
- Ángela, G., Frías, C., & Salgado, R. (2016). Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta. https://www.researchgate.net/publication/322888562_Conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua-suelo-planta
- Antúnez, A., Mora, D., & Felmer, S. (2010). Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. 5.
- Antunez B, A., Felmer E, S., & Mora L, D. (2009). Eficiencia de riego en sistemas localizados. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7279>
- Arviza, J. (2018). Diseño de un sistema de riego localizado. Cálculo de las necesidades netas de un cultivo. <https://m.riunet.upv.es/handle/10251/102531?show=full>
- Assan, M., & Gorosito, S. (2019). Relación agua planta (2). Infiltración. 19.
- Bonifacio, O. (2014). Diseño Hidráulico de un sistema de riego por goteo en espárrago. <https://docplayer.es/41655558-Universidad-nacional-mayor-de-san-marcos-diseno-hidraulico-de-un-sistema-de-riego-por-goteo-en-esparrago-ica.html>
- Burneo, J. (2018). Diseño de un sistema de riego por goteo para parcelas de uva en la Hacienda Agrindzap, ubicada en el cantón Zapotillo, provincia de Loja. [Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7510/1/139399.pdf>
- Cadena, V. (2016). Hablemos de Riego (Segunda edición).
- Calvache, M. (2013). Riego Andino Tecnificado.

- Casanova, J. (2018). Modelación Elastoplástica de la Curva de Retención de Agua en Suelos Parcialmente Saturados [Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.]. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/130976/TFM+final+Javier+Casanova+M.pdf?sequence=1
- Castro, C. (2009). Lamina neta de aplicación de agua: Lamina Neta. [Internet]. Version 1. Artículos Varios (Knols). <https://elknol.wordpress.com/article/lamina-neta-ln-de-aplicacion-de-agua-1i29ptfum49sf-20/>
- Cenicaña. (2015a). Evapotranspiración del cultivo. <https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>
- Cenicaña. (2015b). Evapotranspiración del cultivo. <https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>
- Cevallos, C. (2008). Diseño y cálculo de un sistema de riego por goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha de cultivos orgánicos en El Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/fcc76902-ea4e-41a5-932c-36ad183dc270/content>
- Chamba, C. (2015). Aplicacion de indicadores de gestión en sistemas de riego. 108.
- Cherlinka, V. (2022, agosto 9). Punto De Marchitez En Las Plantas: Límite Permanente Y Temporal. <https://eos.com/es/blog/punto-de-marchitez-permanente/>
- Chulde, K. (2017). Implementación de un sistema automatizado de riego por goteo parcial, a campo abierto en el Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales. [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/7620>

- Cisneros, E., González, F., Martínez, R., López, T., & Rey, Á. R. (2015). Respuesta productiva del café al manejo del riego. Función agua-rendimiento. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 5–11.
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8802ddc9-86b6-4f13-96b7-4871dd3ace65/content>
- FAO. (2012). El agua y la seguridad alimentaria. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/3/i2652s/i2652s.pdf>
- Fernández, M., & García, G. (2014). El sistema de riego localizado. <https://ria.asturias.es/RIA/handle/123456789/4586?mode=full>
- Fernández, R. (2010). Manual de Riego para Agricultores. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.pdf
- Flores, L., & Alcalá, R. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos [Universidad nacional autónoma de México]. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>
- Franco, V. (2018). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MÉTODO DE RIEGO POR GOTEO [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27290/1/Tesis-191%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20563.pdf>
- García, F., & Martínez, R. (2021). Cálculo de pérdidas de carga en tuberías asistido por computadora. 13.

- Gisbert, J., Ibáñez, S., & Moreno, H. (2010). La Textura del Suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- González, R. C., Estrada, O. P., & Gómez, C. M. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación. 20(1).
- Grupo Hidráulica. (2023, abril 24). ¿Cómo implementar un sistema de riego por goteo? Grupo Hidraulica. <https://grupohidraulica.com/noticias/2023/04/24/como-implementar-un-sistema-de-riego-por-goteo/>
- Hidalgo, R. C. (2020). Diseño de un circuito de medición de agua del suelo basado en arduino para riego deficitario controlado [Tesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/25322>
- Ibáñez, J. (2006a). El suelo y su importancia en la distribución de las plantas. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/04/09/17916>
- Ibáñez, J. (2006b). Niveles de Humedad del Suelo y Agua disponible. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/06/26/33002>
- Icochea, S. (2020, mayo 18). ¿Cómo realizar la construcción de zanjas para tuberías? IGC - Innovación en Geosintéticos y Construcción. <https://igc.com.pe/como-realizar-la-construccion-de-zanjas-para-tuberias/>
- INERHI. (1998). Plan integral de desarrollo de los recursos hídricos de la provincia de Loja.
- Intagri. (2015). Sistema de Riego por Goteo. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>
- Intagri. (2016). Sistema de Riego por Goteo | Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>

- Játiva, M., Rentería, J., Poma, M., & Sivisaca, J. (2019). “Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en la producción del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*)”. *Polo del Conocimiento*, 4(4), 318. <https://doi.org/10.23857/pc.v4i4.984>
- Jiménez, A. S., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana.
- Jiménez, S. (2017). Criterios de diseño hidráulico de una tubería ciega. <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/criterios-de-diseno-hidraulico-de-una.html>
- Jiménez, S. (2017). Requerimientos de riego en cultivos <https://es.slideshare.net/SergioJimenez49/requerimiento-de-riego-en-cultivos>
- Karmeli, D., Peri, G., & Todes, M. (1985). *Irrigation Systems: Design and Operation*. Oxford University Press. <https://books.google.com.ec/books?id=C-xxQgAACAAJ>
- Linares, R. (2012). DISEÑO HIDRAULICO DEL RIEGO. <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/872/Anejo%209.%20Dise%C3%B1o%20hidraulico%20del%20riego.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- Liotta, M., Carrión, M., Ciancaglini, R., & Olguin. (2015). Riego por goteo. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4528/INTA_EEASanJuan_Liotta_Riego_por_goteo.pdf?sequence=1
- Llique, R. (2017). Calibración hidráulica y programación de riego del sistema por aspersión de los jardines de la UNALM. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3280>
- López, J. (2023). Aireación: ¿Qué es y cuán importante es? <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/aireacion-que-es-y-cuan-importante-es/>

Martinez, F. J. M. (2014). Introducción al Riego.

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/67110/TOC_6152_01_01.pdf

Maza, H. (2020). Evaluación y mejoramiento técnico de la eficiencia de riego presurizado en el cultivo de café en el sector Potrerillos, cantón Gonzanamá [bachelorThesis, Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/22976>

McCarty, L., Hubbard, L. R., & Quisenberry, V. (2016). Applied Soil Physical Properties, Drainage, and Irrigation Strategies. Springer International Publishing.

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-24226-2>

Mendoza, E. (2013). Riego por goteo.

https://www.academia.edu/7433003/Riego_por_Goteo_2013

Montalvo, F. (2020). Diagnóstico y propuesta tecnológica para la automatización del sistema de riego existente en la florícola Lotus Flowers. Universidad técnica del norte.

Moratiel, R. (2017). Riego en cultivos: Fundamentos y manejo.

<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767268/riego-en-cultivos--fundamentos-y-manejo>

Moreno, J. F. (2023). Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café (Coffea arabica) en el barrio Guarango, parroquia Santa Teresita, cantón Espíndola, provincia de Loja [bachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/27484>

Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. 187.

Ojeda, A., McLeod, C., Águila, K., & Pino, M. (2019). (PDF) Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias -INIA

https://www.researchgate.net/publication/334067352_Bases_para_la_determinacion_de_las_necesidades_hidricas_del_cultivo_del_calafate_in_situ_para_su_adaptacion_al_manej_o_agronomico_Ministerio_de_Agricultura_Instituto_de_Investigaciones_Agropecuarias_-I

Pachés, M. (2019). El agua en el suelo: Fuerzas de retención [Universidad Politécnica de valència]. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%C3%A9s%20-%20El%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%C3%B3n.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%C3%A9s%20-%20El%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%C3%B3n.pdf?sequence=1)

PDOT Changaimina. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Changaimina—PDF Free Download. <https://docplayer.es/149026940-Plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-del-gobierno-autonomo-descentralizado-de-changaimina.html>

Picoita, D. A. (2021). Diseño de un sistema de riego por goteo en el cultivo de café (Coffea arábica L.) en el centro binacional de formación técnica Zapotepamba – Paltas [bachelorThesis, Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec//handle/123456789/24377>

Pilataxi, C. (2021). Boletín técnico módulo de información agroambiental y tecnificación 2021.

Pizarro, F. (1990). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): Goteo, microaspersión, exudación (2a ed. rev. y ampl.). Mundi-Prensa.

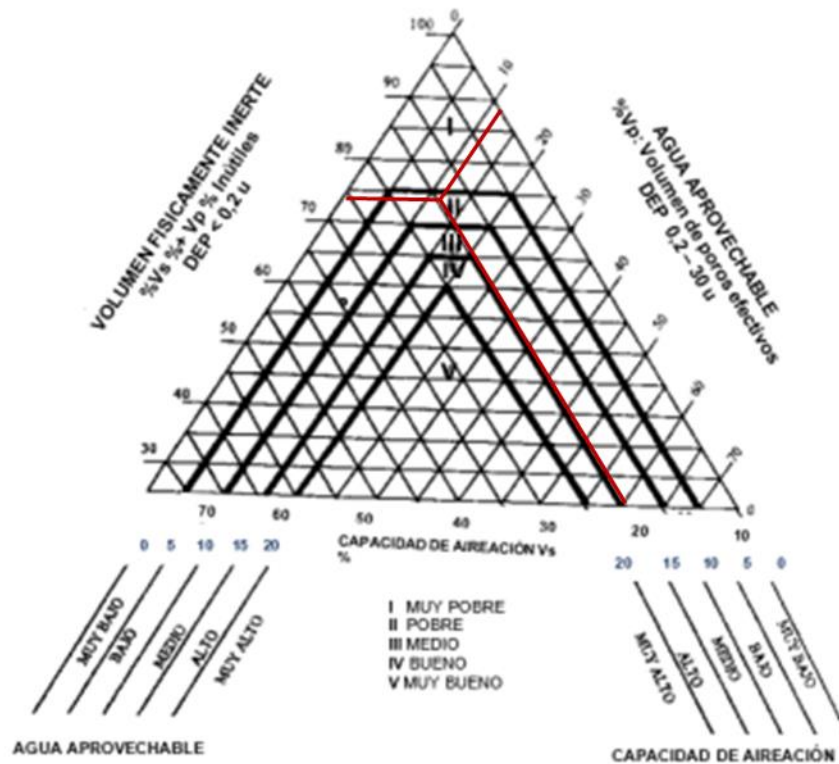
Planells, P., Ortega, J. F., Valiente, M., Montero, J., & Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1999). Criterios para el diseño de redes colectivas de riego. Ingeniería del agua, 6(1). <https://doi.org/10.4995/ia.1999.2773>

- Porras, Z. (2015). Evaluación del sistema de riego por goteo y exudación en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en el Inia – La Molina [Universidad Nacional Agraria de Molina].
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1841/F06-P6-T.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Porta, J., Lopez, M., & Poch, R. (2014). Edafología: Uso y protección de suelos. Ediciones Mundiprensa.
- Proain. (2020). Frecuencia y tiempos de riego para cultivos agrícolas. ProainShop.
<https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/frecuencia-y-tiempos-de-riego-para-los-cultivos-agricolas>
- Reinders, fb, Grové, B., & Benadé, N. (2012). Technical aspects and cost estimating procedures of surface and subsurface drip irrigation systems. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20524.pdf
- Robles, D. del C. (2021). Diseño de un sistema de riego por goteo para la producción forrajera de moringa (*Moringa oleífera*) y flor de botón de oro (*Tithonia Diversifolia Hemsl*) en la finca El Toldo, cantón Gonzanamá de la provincia de Loja. [bachelorThesis, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/24452>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., & Ponce de León, J. (2004). Propiedades Físicas del Suelo.
- Saltos, D. (2011). El agua de riego y su incidencia en la producción agrícola de un terreno en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua. 212.
- Saud, J. (2012). Diseño de un sistema de riego por goteo para cultivos en zonas con escasas de agua. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/USFQ_c63ce8d58a40b35fe24a780357d42343

- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Ácevedo, E. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf
- Sneh, M. (2006). El riego por goteo.
- Steele, A. H. (2015). Drip Irrigation Technology, Management and Efficiency, New York, U.S.A: NOVA.
- Studocu. (2015). Tio de valvulas utilizadas en sistemas de agua Potable. <https://www.studocu.com/ec/document/escuela-superior-politecnica-del-litoral/hidraulica/ensayo-no-1-tipo-de-valvulas-utilizadas-en-sistemas-de-agua-potable/42552326>
- Tamara, L., & Ducuara, J. (2016). Capacidad de campo y de punto de marchitez permanente. Universidad de Sucre, 10.
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2018). Fundamentos de la Ingeniería de Riego. <https://infoagronomo.net/fundamentos-ingenieria-de-riego-pdf/>
- Villazón Gómez, J. A., Noris Noris, P., Martín Gutiérrez, G., Villazón Gómez, J. A., Noris Noris, P., & Martín Gutiérrez, G. (2021). Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia (Arica)*, 39(2), 85–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000200085>
- Yepes, V. (2018, diciembre 7). Relleno de la zanja en la instalación de tuberías. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/12/07/relleno-de-la-zanja-en-la-instalacion-de-tuberias/>

11. Anexos

Anexo 1. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.



Volumen total de poros (VTP)

VTP = pF 0 (saturación = porosidad)

VTP = 36,80 %

Capacidad de aireación (CA)

CA = Saturación – CC

CA = (36,80 % – 22,11%)

CA = 14,70 %

Volumen total de sólidos (VTS)

VTS = 100 % – Saturación (macroporos + microporos)

$$VTS = 100 \% - VTP$$

$$VTS = (100 - 36,80) \%$$

VTS = 63,20 %, volumen ocupado por las partículas del suelo.

Volumen físicamente inerte (VFI)

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

$$VFI = [100 - (36,80 - 11,09)] \% \quad VFI = 74,30 \%$$

Anexo 2. Ecuaciones utilizadas para el diseño agronómico del sistema de riego por goteo.

Correcciones por efecto de localización (Kl)

Diámetro del follaje del café es 1.40 m.

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

$$A = \frac{3,1416 * (1,40 \text{ m})^2}{4(1,50 \text{ m} * 1,80 \text{ m})}$$

$$A = 0,57$$

Siendo así el porcentaje de área sombreada de 57 %.

Al valor del porcentaje de área sombreada se lo aplica en las siguientes fórmulas:

Aljibury	$Kl = 1,34 A$	$Kl = 0,76$
Decroix	$Kl = 0,1 + A$	$Kl = 0,67$
Hoare	$Kl = A + 0,5 (1-A)$	$Kl = 0,78$
Keller	$Kl = A + 0,15 (1-A)$	$Kl = 0,63$

El valor medio de la corrección por localización es $Kl = 0,72$, de acuerdo a los valores de Decroix y Aljibury.

Coefficiente por variación climática (Kv)

Dado que la ET_o empleada en el cálculo corresponde al valor promedio del periodo estudiado, por tanto, es necesario multiplicar con un coeficiente. Para ello se utilizó el criterio de Hernández Abreu que consiste en aplicar un coeficiente comprendido entre 1,15 y 1,20, en este caso se consideró un Kv : 1,20 porque en riego por goteo la aplicación de agua se efectúa de acuerdo a la cantidad que necesita la planta, por tal motivo es necesario incrementar las necesidades y de esta forma corregir los periodos de necesidad de riego.

Coefficiente por advección (Ka)

Se realizó de acuerdo al tamaño de la zona que se va a regar y al cultivo de café. El valor determinado es de $Ka = 1,15$ factor que permitió corregir el efecto de los cultivos aledaños, teniendo en cuenta que las parcelas colindantes no afectan el área de investigación.

Finalmente se tiene una ET_{rl} de:

$$ET_{rl} = Nb * Kl * Kv * Ka$$

$$ET_{rl} = 4,30 \text{ mm día}^{-1} * 0,72 * 1,2 * 1,15$$

$$ET_{rl} = 4,26 \text{ mm día}^{-1}$$

Necesidades netas de riego (Nn)

Probablemente en el mes de mayor demanda hídrica se registre una determinada cantidad de lluvia que da como resultado una precipitación efectiva, no obstante, para efectos de diseño no debe considerarse, dado que es imposible que ocurra este evento en intervalos de dos riegos, por tanto, $Pe = 0$; cabe recalcar que en el área de estudio no se identifica una capa freática o fuente de agua subterránea $Gw = 0$; de igual forma la variación de almacenamiento de agua Δw en el suelo no se tiene en cuenta porque los riegos localizados pretenden mantener el potencial hídrico del suelo en cero reponiendo el agua extraída. Siendo así $Nm = 4,26 \text{ mm día}^{-1}$

Necesidades totales de riego (Nt)

En riegos localizados, se toma en cuenta las pérdidas por percolación, mientras que las pérdidas por escorrentías no se consideraron en este diseño porque solo se producen en casos extremos.

Las pérdidas por percolación (K) se las consideró ya que el agua que se aplica en la superficie del suelo se infiltra hacia las capas más profundas. El cultivo de café tiene una demanda hídrica total de 5,3 mm día⁻¹.

Necesidades diarias por árbol y caudal ficticio continuo (Qc)

Para las N_{diarias} se consideró el marco de plantación del cultivo (1,50 m *1,80 m) y las necesidades totales (Nt), mediante la cual se obtuvo una necesidad diaria por árbol de 14,2 l/árbol/día.

Anexo 3. Parámetros de riego

Área mojada del emisor (Ame)

Primeramente, se calculó el diámetro húmedo de acuerdo a la textura del suelo que presenta la zona de estudio, pues para determinar el área mojada por emisor es complicado porque en las dimensiones del bulbo húmedo intervienen factores como la textura o volumen de riego.

$$Dm = 0,7 + 0,11 * q$$

$$Dm = 0,7 + 0,11 * 4,1 \frac{l}{h}$$

$$**Dm = 1,15 m**$$

Por tanto:

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

$$Ame = \frac{\pi * (1,15 m)^2}{4}$$

$$**Ame = 1,04m^2**$$

Número de emisores por plantas (Ne)

Para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo se requiere de un emisor por planta.

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

$$Ne = \frac{2,70 \text{ m}^2 * 33 \%}{100 * 1,04 \text{ m}^2}$$

$$Ne = 0,93 = 1 \frac{\text{emisor}}{\text{planta}}$$

Cálculo de la separación entre goteros (Se)

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

$$Se = 0,58 \text{ m} \left(2 - \frac{25 \%}{100} \right)$$

$$Se = 1 \text{ m}$$

Porcentaje de superficie mojada real

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

$$P = \frac{1 * 100 * 1,04 \text{ m}^2}{2,70 \text{ m}^2}$$

$$P = 39 \%$$

Dosis, frecuencia y tiempos de riego

Lámina neta (Ln)

$$Ln = \frac{(CC - PMP)}{100} * Prof * Da * Ur$$

$$Ln = \frac{(28,04 \% - 11,47 \%)}{100} * 42 \text{ cm} * 1,19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 0,5$$

$$Ln = 4,14 \text{ cm} = 41,4 \text{ mm}$$

En el riego por goteo es necesario corregir la lámina neta multiplicando por el porcentaje de suelo mojado, porque en este riego no se moja toda el área.

$$\text{Lámina neta corregida} = L_n * P\%$$

$$\text{Lámina neta corregida} = 41,4 \text{ mm} * 0,39$$

$$\text{Lámina neta corregida} = \mathbf{16,15 \text{ mm}}$$

Frecuencia de riego

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

$$Fr = \frac{16,1 \text{ mm}}{5,25 \frac{\text{mm}}{\text{día}}}$$

$$\mathbf{Fr = 3 \text{ días}}$$

Tiempo de riego

El tiempo necesario para recuperar el agua evapotranspirado en el cultivo

$$t = \frac{N_{diarias}}{n_e * qa}$$

$$t = \frac{14,2 \text{ l/árbol/día}}{1 * 4,1 \text{ l/h}}$$

$$\mathbf{t = 3,46 = 3,5 \text{ horas}}$$

Anexo 4. Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo

Lateral de riego

Pérdida de carga admisible

$$h_{max} = \frac{0.1 * p}{x}$$

$$h_{max} = \frac{0.1 * 10}{0.5}$$

$$h_{max} = 2$$

Caudal de la tubería lateral

$$Ql = Qe * Ngl$$

$$Ql = 4.1 \text{ l h}^{-1} * 90$$

$$Ql = 369 \text{ l h}^{-1} = 0.1025 \text{ l s}^{-1}$$

Pérdida de carga por fricción en la lateral de riego

$$J = 121 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 121 * 10^{10} \left(\frac{0.1025 \text{ l s}^{-1}}{150} \right)^{1.852} * (13.8 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0.046 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{2 * n} + \frac{\sqrt{\beta - 1}}{6 * n^2}$$

$$F = \frac{1}{1 + 1.8} + \frac{1}{2 * 90} + \frac{\sqrt{1.8 - 1}}{6 * 90^2}$$

$$F = 0.36$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0.046 \text{ m m}^{-1} * 45 * 0.36$$

$$hf = 0.76 \text{ m}$$

Velocidad permisible del flujo

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

$$V = \frac{0.0001025 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0.0001495 \text{ m}^3}$$

$$V = 0.69 \text{ m s}^{-1}$$

Presión a la entrada del lateral

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4} h l f - \frac{H_g}{2}$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 10 + \frac{3}{4} 0.76 - \frac{2}{2}$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 9.57 \text{ m}$$

Presión al final del lateral

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4} h l f + \frac{H_g}{2}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 10 - \frac{1}{4} 0.76 + \frac{2}{2}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 10.80 \text{ m}$$

Tubería secundaria

Caudal de la tubería secundaria

$$Q_s = Q_e * N_e \text{ total}$$

$$Q_s = 369 \text{ l h}^{-1} * 16$$

$$Q_s = 5904 \text{ l h}^{-1} = 1.64 \text{ l s}^{-1}$$

Pérdidas de carga por fricción en la tubería secundaria de riego

$$J = 121 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 121 * 10^{10} \left(\frac{1.64 \text{ l s}^{-1}}{150} \right)^{1.852} * (38.1 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0.056 \text{ m m}^{-1}$$

$$F = \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{2 * n} + \frac{\sqrt{\beta - 1}}{6 * n^2}$$

$$F = \frac{1}{1 + 1.8} + \frac{1}{2 * 16} + \frac{\sqrt{1.8 - 1}}{6 * 16^2}$$

$$F = 0.389$$

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0.056 \text{ m m}^{-1} * 29 * 0.389$$

$$hf = 0.64 \text{ m}$$

Velocidad permisible del flujo

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

$$V = \frac{0.00164 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0.001140 \text{ m}^2}$$

$$V = 1.44 \text{ m s}^{-1}$$

Presión a la entrada de la secundaria

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + hlf - Hg$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 9.57 + 0.64 - 4$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 6.21 \text{ m}$$

Tubería principal

Caudal de la tubería principal

$$Qp = Qs * Nl$$

$$Qs = 5904 \text{ l h}^{-1} * 1$$

$$Qs = 5904 \text{ l h}^{-1} = 1.64 \text{ l s}^{-1}$$

Pérdidas de carga por fricción en la tubería secundaria de riego

$$J = 121 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * D^{-4.87}$$

$$J = 121 * 10^{10} \left(\frac{1.64 \text{ l s}^{-1}}{150} \right)^{1.852} * (38.1 \text{ mm})^{-4.87}$$

$$J = 0.056 \text{ m m}^{-1}$$

$$hf = J * l$$

$$hf = 0.056 \text{ m m}^{-1} * 34$$

$$hf = 1.91 \text{ m}$$

Velocidad permisible del flujo

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

$$V = \frac{0.00164 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}}{0.001140 \text{ m}^2}$$

$$V = 1.44 \text{ m s}^{-1}$$

Anexo 5. Evaluación del coeficiente de uniformidad (CU)

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD					
Predio: Lanzaca					
Datos del terreno			Datos ordenados		
Línea	Gotero	Aforo Q (l h-1)	N° de Orden	Q (l h-1)	Q (l h-1) < 25%
1	1	4,25	1	4,35	
	2	4,26	2	4,33	
	3	4,29	3	4,32	
	4	4,29	4	4,29	
2	1	4,05	5	4,29	
	2	4,09	6	4,28	
	3	4,33	7	4,27	
	4	4,35	8	4,27	
3	1	4,26	9	4,26	
	2	4,32	10	4,26	
	3	4,04	11	4,25	
	4	4,27	12	4,25	
4	1	4,25	13	4,09	4,09
	2	4,27	14	4,07	4,07
	3	4,28	15	4,05	4,05
	4	4,07	16	4,04	4,04
			Promedio	4,23	4,06

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_m}$$

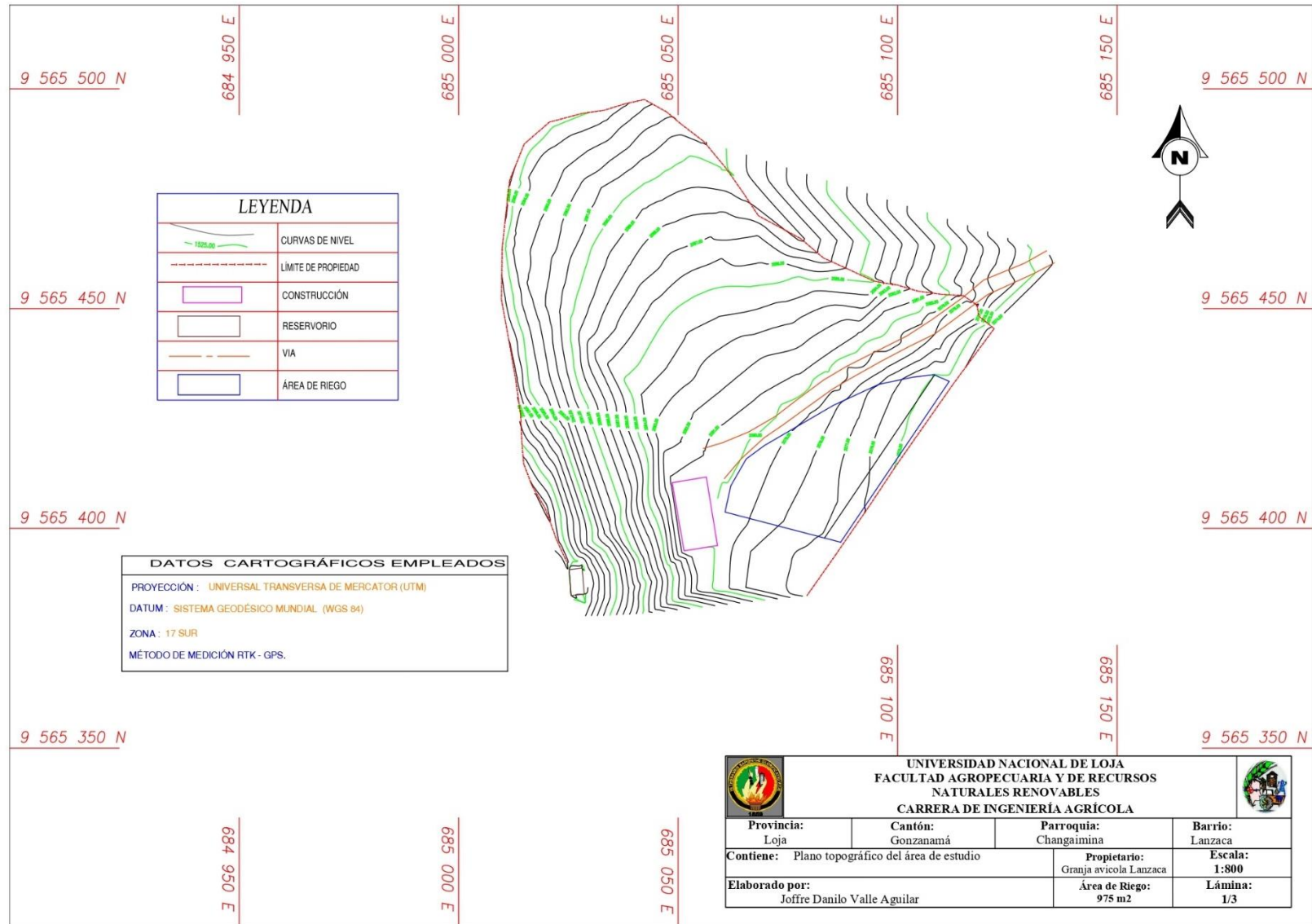
$$CU = \frac{4,06}{4,23} * 100$$

$$CU = 96,09 \%$$

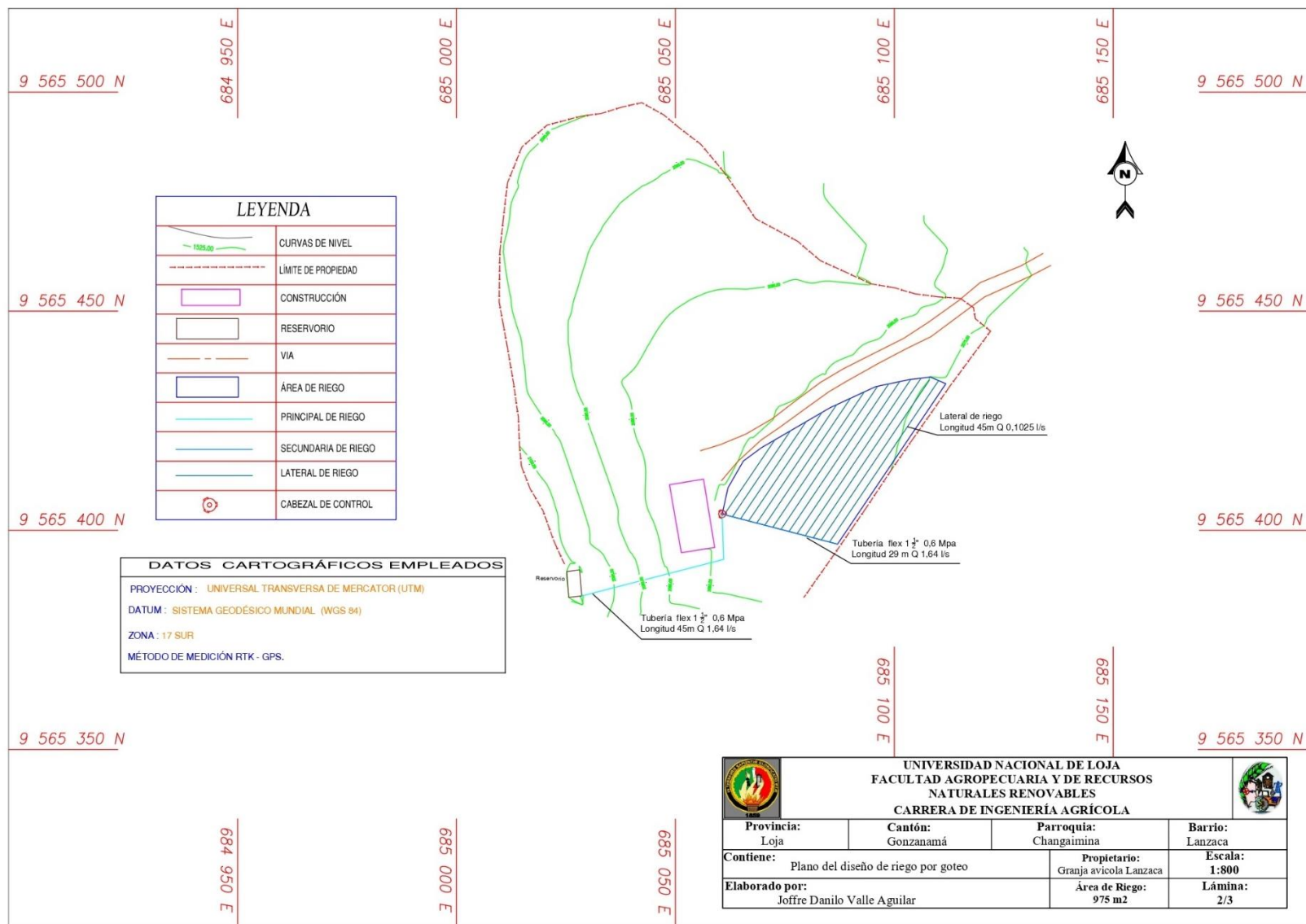
Anexo 6. Respaldo fotográfico.



Anexo 7. Plano topográfico de la zona de estudio.



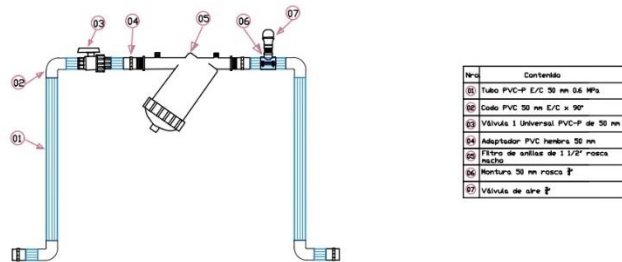
Anexo 8. Plano del diseño del sistema de riego por goteo.



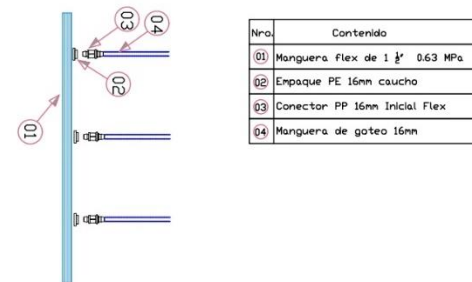
Anexo 9. Detalles constructivos del sistema de riego por goteo.

DETALLES CONSTRUCTIVOS

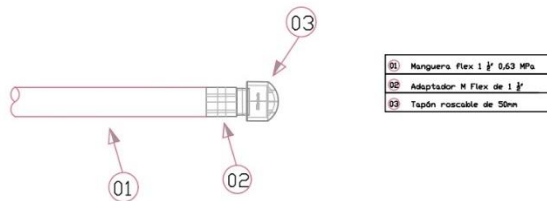
DETALLE 1: Cabezal de control



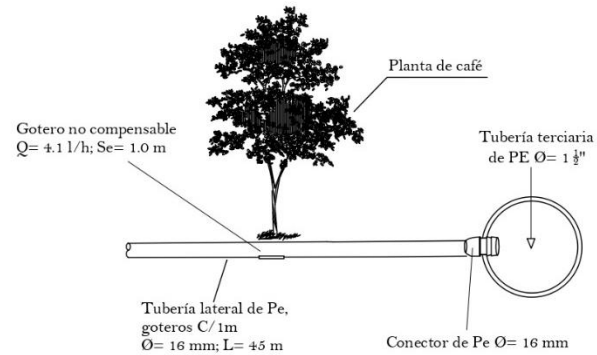
DETALLE 3: Salida de manguera de goteo



DETALLE 2: Final de conducción Secundaria



Nexo del conector de goteo a la tub. lateral



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA					
Provincia: Loja	Cantón: Gonzanamá	Parroquia: Changaimina	Barrio: Lanzaca		
Contiene: Plano de detalles constructivos		Propietario: Granja avícola Lanzaca	Escala: 1:300		
Elaborado por: Joffre Danilo Valle Aguilar		Área de Riego: 975 m ²	Lamina: 3/3		

Mgs. Mónica Jimbo Galarza

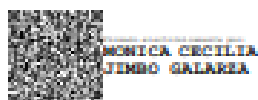
C E R T I F I C O:

Haber realizado la traducción de Español – Inglés del resumen del Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Agrícola titulado **“DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LA GRANJA AVÍCOLA LANZACA DEL CANTÓN GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA.”** de autoría de Joffre Danilo Valle Aguilar CI: 1105108490.

Se autoriza al interesado 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 11 días del mes de abril 2024.



Mgs. Mónica Jimbo Galarza

MAGÍSTER EN ENSEÑANZA DE INGLÉS COMO LENGUA EXTRANJERA

REGISTRO EN LA SENECYT N° 1021-2018-1999861