



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA
LA PRODUCCIÓN DE CACA O CCN-51 EN LA
PARROQUIA SIMÓN BOLÍVAR SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Isabel Bernal Aparicio

**LA LIBERTAD
2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA
LA PRODUCCIÓN DE CACAO CCN-51 EN LA
PARROQUIA SIMÓN BOLÍVAR SANTA ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Dayelhi Isabel Bernal Aparicio

Tutor: Ing. Arg. Ángel León Mejía. MSc.

**LA LIBERTAD
2024**

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **BERNAL APARICIO DAYELHI ISABEL** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuaria de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 22/diciembre/2023.



Firmado electrónicamente por:
VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
CARLOS ELOY
BALMASEDA ESPINOSA

Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, Ph. D.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
ANGEL RODOLFO LEON
MEJIA

Ing. Ángel León Mejía, Mgtr.
**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA

Ing. Washington Perero Vera Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a mi familia por su amor incondicional, su apoyo constante y su comprensión durante los momentos de dedicación intensa a este proyecto. A mis padres, a mis hermanos, y a mi cuñado por su paciencia y ánimo. Su apoyo ha sido fundamental en cada paso del camino.

Así mismo, quiero agradecer a mis amigos de la universidad, quienes han sido una fuente inagotable de motivación, colaboración y alegría. Sus debates, intercambios de ideas y momentos de distracción han sido esenciales para mantener un equilibrio en mi vida académica.

Agradezco especialmente a mis profesores y asesores, cuyas enseñanzas y orientación han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Su sabiduría y consejos han dejado una huella imborrable en mi formación académica y personal.

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y guía constante en mi camino académico. A mi querida mascota [Gata], quien iluminó mi vida con su compañía y amor incondicional. A ambos, agradezco por ser mi inspiración y fortaleza a lo largo de este viaje académico.

RESUMEN

El propósito del proyecto de titulación consistió en desarrollar un sistema de riego por goteo destinado al cultivo de cacao en la finca, situada en la parroquia Simón Bolívar, Cantón Santa Elena, perteneciente a la provincia Santa Elena. Se llevaron a cabo recolecciones de muestras, las cuales fueron enviadas al laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en la estación experimental del austro – laboratorio de manejo de suelo y aguas, para realizar análisis de suelo y agua, evaluando así las propiedades físicas y químicas de ambos elementos. Además, se aplicaron diversas fórmulas en la concepción del diseño agronómico, considerando el punto más crítico del cultivo.

Se obtuvieron datos climáticos correspondientes a un período de 5 años y se identificó que el tipo de suelo clasificado era arcilloso, con una capacidad de campo del $0.37\text{cm}^3/\text{cm}^3$, un punto de marchitez del $0.23\text{cm}^3/\text{cm}^3$ y una velocidad de infiltración de 12.00 mm/h . En la fase de diseño hidráulico, se tomó en cuenta la topografía de la finca, y se aseguró que la velocidad del agua en las tuberías no excediera los 2 m/s . Se calcularon las pérdidas de carga entre cada bloque de riego.

Es esencial destacar que el caudal disponible para el sistema de riego fue de 857 l/m . Se determinó que se necesitaría una bomba con una velocidad de 7500 rpm para irrigar los 2 sectores de riego en los que se divide la finca, abarcando un total de 7 hectáreas.

Palabras clave: diseño, agronómico, goteo, hidráulico, pérdidas de carga.

ABSTRACT

The purpose of the titling project was to develop a drip irrigation system for the cultivation of cocoa on the farm, located in the parish of Simon Bolivar, Canton Santa Elena, belonging to the province of Santa Elena. Samples were collected and sent to the soil laboratory of the Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), at the experimental station of the Austro - soil and water management laboratory, for soil and water analysis, thus evaluating the physical and chemical properties of both elements. In addition, several formulas were applied in the conception of the agronomic design, considering the most critical point of the crop.

Climatic data corresponding to a 5-year period were obtained and it was identified that the type of soil classified was clayey, with a field capacity of $0.37\text{cm}^3/\text{cm}^3$, a wilting point of $0.23\text{cm}^3/\text{cm}^3$ and an infiltration rate of 12.00 mm/h . In the hydraulic design phase, the topography of the farm was taken into account, and it was ensured that the water velocity in the pipes did not exceed 2 m/s . Head losses were calculated between each irrigation block.

It is essential to note that the available flow rate for the irrigation system was 857 l/m . It was determined that a pump with a speed of 7500 rpm would be needed to irrigate the 2 irrigation sectors into which the farm is divided, covering a total of 7 hectares.

Key words: design, agronomic, drip, hydraulic, head loss.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA LA PRODUCCIÓN DE CACAO CCN-51 EN LA PARROQUIA SIMÓN BOLÍVAR SANTA ELENA.**” y elaborado por **Dayelhi Isabel Bernal Aparicio**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado electrónicamente por:
DAYELHI ISABEL
BERNAL APARICIO

Isabel Bernal Aparicio

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico:	3
Objetivos	3
Objetivo General:.....	3
Objetivos Específicos:	3
Hipótesis:	3
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Estudios básicos sobre la relación agua- suelo -planta	4
1.1.1 Propiedades hídricas del suelo	4
1.2 Comentarios clave sobre la relación clima -planta	8
1.2.1 Evaporación.....	8
1.2.2 Transpiración.....	8
1.2.3 Evapotranspiración.....	8
1.3 Calidad del agua de riego	10
1.4 Topografía	15
1.4.1 Levantamiento topográfico	15
1.5 Riego	15
1.5.1 Tipos de riego.....	16
1.6 Riego por goteo	16
1.6.1 Ventajas y desventajas del riego por goteo	17
1.6.2 Componentes del riego por goteo.....	18
1.7 Diseño agronómico	21
1.7.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETo)	21
1.7.2 Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (Etc)	22
1.7.3 Efecto de localización	23
1.7.4 Necesidades netas (Nn)	25
1.7.5 Necesidades totales (Nt).....	25
1.7.6 Dosis, frecuencia, tiempo de riego y numero de emisores.....	27
1.8 Diseño hidráulico	30
1.8.1 Tolerancia de caudales	30
1.8.2 Tolerancia de presiones	31

1.8.3	Velocidades recomendadas del fluido.....	31
1.8.4	Diseño de dimensiones de tuberías principales, secundarias y laterales.....	32
1.8.5	Pérdida de carga de tuberías.....	33
1.8.6	Selección del equipo de bombeo.....	33
1.8.7	Cabezal del sistema de riego, filtros, fertirrigador.....	34
1.8.8	Selección del equipo de bombeo.....	35
1.9	Cultivo de cacao.....	36
1.9.1	Profundidad radicular.....	37
1.9.2	Riego.....	37
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....		1
2.1.	Caracterización del área.....	1
2.2.	Materiales.....	1
2.2.1.	Materiales de campo y oficina.....	1
2.3.	Métodos.....	40
2.3.1.	Obtención de la información meteorológica.....	40
2.3.2.	Características físicas y edáficas del suelo y agua en estudio.....	40
2.4.	Diseño agronómico.....	40
2.4.1.	Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET _o).....	41
2.4.2.	Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (E _c).....	41
2.4.3.	Cálculo del efecto de localización.....	41
2.4.4.	Cálculo de las necesidades netas (N _n).....	42
2.4.5.	Cálculo de las necesidades totales (N _t).....	42
2.5.	Prueba de campo del caudal, diámetro, profundidad del gotero.....	43
2.6.	Cálculo de número de emisores por planta, tiempo de riego y la separación entre emisores.....	43
2.7.	Lamina de riego.....	44
2.8.	Intervalo de riego.....	44
2.9.	Diseño hidráulico.....	45
2.9.1.	Determinación de las velocidades.....	45
2.9.2.	Dimensionamiento de tuberías principales, secundarias y líneas de riego.....	46
2.9.3.	Determinación de la tolerancia de caudales y presión.....	46
2.9.4.	Perdidas de cargas.....	47
2.9.5.	Cálculo de la potencia de la bomba.....	47

2.10. Representación del diseño en el plano.....	48
3. CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.1. Información esencial para el diseño de un sistema de riego por goteo.....	49
3.1.1. Resultados de la información meteorológica	49
3.1.2. Resultados de las características físicas y edáficas del suelo y agua en estudio. 49	
3.1.3. Cálculo de la evapotranspiración potencial (eto)	51
3.1.4. Kc del cultivo de cacao	51
3.1.5. Cálculo del ETc del cultivo	52
3.1.6. Prueba de campo para un gotero de 3 lph	52
3.1.7. Datos de la boquilla para el diseño de riego.....	52
3.2. Diseño agronómico	53
3.2.1. Cálculo del efecto de localización.....	53
3.2.2. Cálculo de las necesidades netas (Nn)	53
3.2.3. Cálculo de las necesidades totales (Nt).....	54
3.2.4. Cálculo de número de emisores por planta, tiempo de riego y la separación entre emisores.	54
3.2.5. Resumen de los cálculos del diseño agronómico	56
3.3. Diseño hidráulico	57
3.3.1. Datos del emisor.....	57
3.3.2. Trazado del diseño en el plano.....	58
3.3.3. Tolerancia de caudales	58
3.3.4. Déficit del caudal	59
3.3.5. Tolerancia de presiones	59
3.3.6. Velocidades recomendadas del fluido.....	59
3.3.7. Dimensión de tubería principal	60
3.3.8. Dimensión de tubería secundaria	60
3.3.9. Líneas de riego	61
3.3.10. Sistema de riego	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
Conclusiones.....	63
Recomendaciones.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clases texturales del suelo según su clasificación USDA (2014)	5
Tabla 2. Directrices para interpretación de la calidad del agua para riego según Muñoz (2014).....	13
Tabla 3. Error admisible.	14
Tabla 4. Necesidades de utilización de filtros según elementos presentes en el agua <i>de riego</i> Georgi (2011).	19
Tabla 5. Valores de CU recomendadas en riego localizado (Muñoz, 2014)	26
Tabla 6. Aproximación del diámetro mojado y espaciamiento con emisores de 4 litros/hora según el tipo de suelo para tiempos de riego de unas 4 h (Keller) Urrestarazu (2008).....	28
Tabla 7. Diámetro mojado por un emisor de 4 litros/hora (Keller) elaborada por Urrestarazu (2008).....	28
Tabla 8. Valores de los coeficientes de pérdida de carga para las ecuaciones de Hazen-Weisbach en tubería de PVC. (Boswell, 1990)	33
Tabla 9: Parámetros guías para la selección del equipo de bombeo (Urrestarazu, 2008) ..	34
Tabla 10. Efectos de diseño (Urrestarazu, 2008).....	36
Tabla 11. Valores de Kc del cacao según la FAO (2018).	38
Tabla 12. Cálculo del TDH.....	48
Tabla 13. Datos climatológicos de la zona, fuente (climwat of Cropwat)	49
Tabla 14. Datos de suelo, Fuente: (INIAP, estación experimental del austro).....	50
Tabla 15. Datos de agua, Fuente: (INIAP)	50
Tabla 16. Resultado de prueba de campo de volumen, diámetro y profundidad.....	52
Tabla 17: Datos de la boquilla (Netafin, 2019)	53
Tabla 18. Resumen - diseño agronómico	56
Tabla 19. Equivalencias del diámetro de tubería principal o primaria (Galdiano, 2016)...	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Triángulo de clase textural del suelo (Pellegrini,2019).	4
Figura 2 Estructura del suelo (STAFF, 1955)	6
Figura 3 Diagrama para la clasificación de las aguas de riego elaborada por Richards (1954)	12
Figura 4 Efecto de plantación elaborado por Mendoza (2014)	23
Figura 5 Factor de corrección del efecto de advección en función del tamaño del campo regado para tres diferentes ambientes agro culturales	24
Figura 6 Distancia entre goteros.....	30
Figura 7 Parroquia Simón Bolívar (Google Maps 2023)	1
Figura 8 Plano de la finca tomada como base para el diseño del sistema de riego	48
Figura 9 Referencia Cropwat.....	51
Figura 10 Modelo de gotero	57
Figura 11 Bloque del sistema de riego (AB1)	58
Figura 12 Bomba (Netafin, 2019).	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Figural 1A. Climwat Base meteorológica de Guayaquil – Simón Bolívar

Figura 2A. Cropwat Datos climáticos de referencia ETo

Figura 3A. Precipitación según Cropwat

Figura 4A. Toma de puntos topográficos para realización del mapa

Figura 5A. Plano topográfico en ArcGIS.

Figura 6A. Prueba de campo, caudal, diámetro y profundidad del gotero

Figura 7A. Informe del análisis del agua

Figura 8A. Informe análisis de suelo primera parte

Figura 9A. Segunda parte del informe de análisis de suelo

Figura 10A. Plano completo en AutoCAD.

INTRODUCCIÓN

El riego agrícola se remonta a la antigüedad al ser una necesidad humana para poder producir alimentos y de ahí su existencia. Con la Edad del Bronce comenzando alrededor del 3500 ac, se muestra que algunas de las primeras obras importantes de riego surgieron en Grecia, Mesopotamia y Egipto.

El cambio climático que hemos atravesado a través del tiempo está haciendo que los ciclos de sequía sean más frecuentes y más extensos, creando problemas para quienes necesitan más agua cada día para sus hogares, la industria de la agricultura tiene el mayor consumo comparativo entre los anteriores. Según la FAO, en 1993 la agricultura consumió alrededor del 70% de la extracción total de agua en el mundo. El 30% restante es para uso doméstico e industrial.

La población mundial en rápido crecimiento ha hecho que el uso eficiente del agua de riego sea importante, especialmente en los países más pobres, donde el mayor potencial para aumentar la producción de alimentos y los ingresos se encuentra en las zonas rurales ubicadas en áreas irrigadas. (FAO, 2012).

La eficacia en la gestión del riego de agua en Ecuador es notablemente deficiente, principalmente debido a la falta de mantenimiento en la infraestructura, el funcionamiento inadecuado del sistema y la escasa efectividad en la distribución del agua de riego en los cultivos. (FAO, 2011).

En contraste, el riego de los cultivos durante cualquier temporada, la naturaleza del agua utilizada, la frecuencia y el instante en que se aplica tienen un impacto directo en el desarrollo de las plantas, su floración, la calidad de los frutos y el rendimiento general.

En esta situación, el uso de la irrigación por goteo se presenta como una opción para la optimización del agua ya que tiene una eficiencia del 90%; Este es un método de riego muy utilizado en regiones muy áridas porque minimiza el uso de agua y fertilizantes. El agua se suministra lentamente a las raíces de varias plantas humedeciendo la superficie del suelo o mediante riego directo a las áreas afectadas por las raíces.

Según la gestión de la FAO (2012), En lo que respecta al uso del agua, en 93 países en desarrollo, la tasa de aumento en el consumo de agua está experimentando una disminución.

Para el año 2030, se proyecta que estos países podrán aumentar significativamente su producción agrícola, incrementando alrededor del 33 % en cultivos de regadío, pero con un aumento de apenas el 12 % en el consumo total de agua. Este fenómeno sugiere una mejora en la eficiencia del riego en las regiones áridas del mundo en desarrollo, y se espera que esta tendencia continúe debido a las restricciones de agua que motivarán a estas regiones a volverse más eficientes.

En Ecuador, como tierra con posibilidad de grandes producciones, la baja calidad de los productos agrícolas y los bajos rendimientos se deben a que las tecnologías de riego en el proceso de producción tienen mala utilización. (FAO, 2023).

En la península de Santa Elena, uno de los principales problemas que enfrentan La carencia de una infraestructura de riego apropiada en las fincas representa un desafío significativo para los agricultores de pequeña y mediana escala. sin riego se ven obligados a cultivar de acuerdo con el ciclo climático, por lo que la calidad del producto es mala, el rendimiento es bajo y solo pueden producir una cosecha al año. A su vez, no pueden planificar ni diversificar su producción.

Hoy, los agricultores son conscientes de la escasez de agua de la península y están listos para implementar tecnologías de riego eficientes como el riego por goteo; Este sistema minimiza las pérdidas por infiltración y, lo que es más importante, reduce la escorrentía superficial. Así que el agua utilizada es justo lo que las plantas necesitan para crecer y producir. (Fao, 2002)

El Proyecto de Riego por Goteo del cultivo de Cacao CCN-51, propuesto para los terrenos de cultivo de la parroquia Simón Bolívar en Santa Elena, sería un modelo para incentivar el uso de la tecnología de riego en la industria y optimizar la disponibilidad de agua y recursos humanos, mejorando así la productividad, la calidad del producto y por ende mayores ganancias que mejorarán el nivel de bienestar de los agricultores de pequeña y mediana escala.

Problema Científico:

¿Es posible que el diseño de riego localizado por goteo permita la aplicación adecuada de la lámina de riego y el requerimiento hídrico al cultivo de cacao CCN-51 en Simón Bolívar?

Objetivos

Objetivo General:

Diseñar el sistema de riego por goteo para la producción de cacao (*Teobroma cacao*) CCN-51 en las condiciones de clima y suelo de la parroquia Simón Bolívar, Santa Elena.

Objetivos Específicos:

1. Desarrollar los diseños agronómicos del sistema de riego por goteo para Cacao CCN-5, tomando en cuenta las condiciones agroecológicas de la localidad.
2. Realizar el diseño hidráulico para el diseño del sistema de riego por goteo en función del diseño agronómico y topografía.

Hipótesis:

El diseño de sistema de riego localizado por goteo permite la aplicación adecuada de la dosis de riego al cultivo de cacao CCN-51 en Simón Bolívar.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Estudios básicos sobre la relación agua- suelo -planta

La Cátedra de Fisiología Vegetal Facultad de Agronomía (2020) manifiesta que destaca la importancia del entendimiento de la relación entre el suelo, el agua y las plantas para la producción agrícola bajo sistemas de riego. Cada tipo de cultivo presenta demandas hídricas específicas, y cada suelo tiene propiedades que influyen de diversas maneras en el suministro de agua a las plantas. La cantidad de agua presente en el suelo en un momento dado es un valor altamente dinámico, siendo el resultado neto de la cantidad recibida por lluvia o riego, menos las pérdidas por evaporación, transpiración o infiltración profunda. La accesibilidad de esta agua para las plantas, a su vez, está condicionada por el sistema de raíces presente y por propiedades hidráulicas del suelo, tales como porosidad, conductividad hidráulica y capacidad de retención de agua.

1.1.1 Propiedades hídricas del suelo

1.1.1.1 Textura

La expresión porcentual de las fracciones granulométricas de arena, limo y arcilla se conoce como la textura de un suelo y es una característica física permanente. La clase textural se basa en la combinación de estas tres fracciones. Las propiedades dependientes de la textura que exhiben un comportamiento homogéneo (propiedades agronómicas homogéneas) se agrupan en clases texturales. Normalmente denota el grupo de partículas dominante (Pellegrini,2019).

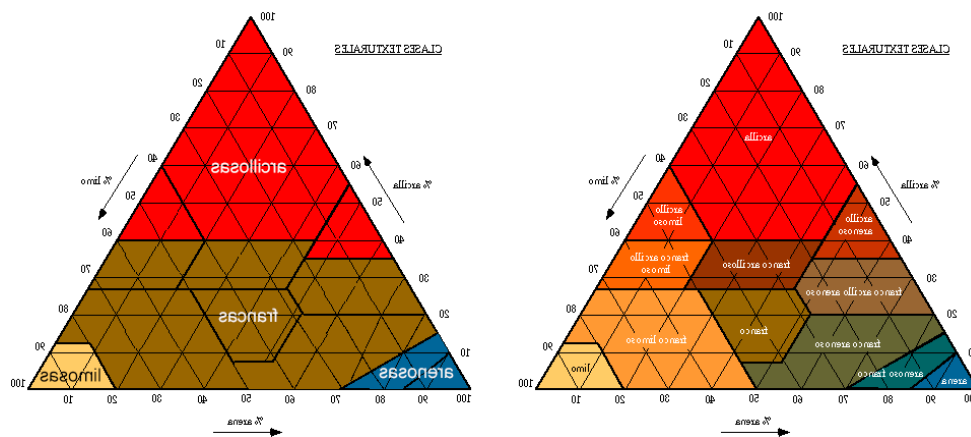


Figura 1 Triángulo de clase textural del suelo (Pellegrini,2019).

Tabla 1. Clases texturales del suelo según su clasificación USDA (2014)

Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	
Textura gruesa	86 - 100	0 - 14	0 - 10	Arenoso	
	70 - 86	0 - 30	0 - 15	Arenoso franco	
Textura moderadamente gruesa	50 - 70	0 - 50	0 - 20	Franco arenoso	
	23 - 52	28 - 50	07 - 27	Franco	
Textura media	20 - 50	74 - 88	0 - 27	Franco limoso	
	0 - 20	88 - 100	0 - 12	Limoso	
	20 - 45	15 - 52	27 - 40	Franco arcilloso	
Textura modernamente fina	45 - 80	0 - 28	20 - 35	Franco arenoso arcilloso	
	0 - 20	40 - 73	27 - 40	Franco limoso arcilloso	
	45 - 65	0 - 20	35 - 55	Arcilloso arenoso	
Textura fina	0 - 20	40 - 60	40 - 60	Arcilloso limoso	
	0 - 45	0 - 40	40 - 100	Arcilloso	

Fuente: USDA (2014)

1.1.1.2 Estructura del suelo

Según Pellegrini (2019) manifiesta que el suelo tiene una estructura definida por miles de años a lo largo de su ciclo. Esto hace referencia a la forma, el tamaño y la ubicación de las partículas sólidas con continuidad en la profundidad. Al igual que la textura del suelo, la estructura determina las propiedades naturales del suelo, como el drenaje, almacenamiento de agua, capacidad para retener nutrientes y la dureza de su superficie.

La estructura del suelo se divide en distintas clases; laminar, prismática, magajosa, granular, angular, subangular y columnar. La estructura se determina indirectamente por medio de las características naturales del suelo, como el movimiento del agua, la aireación, la porosidad y la densidad aparente (STAFF,1951)

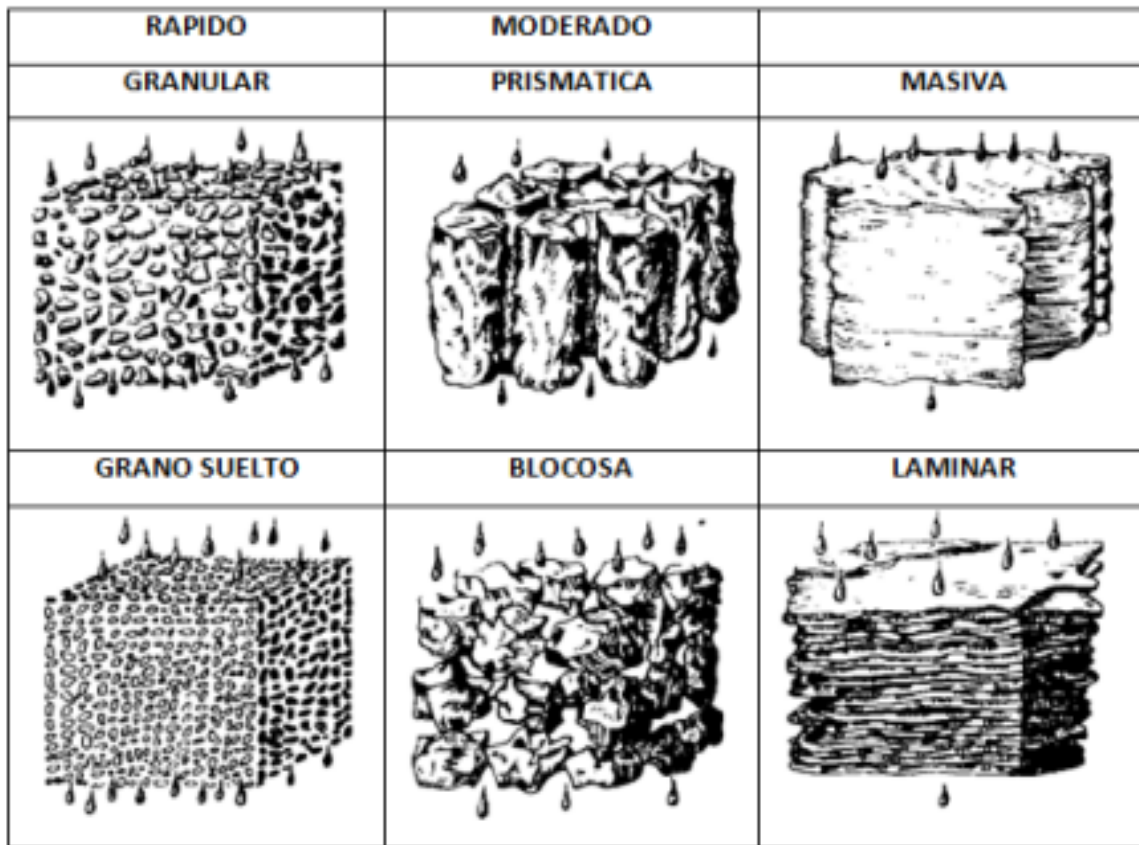


Figura 2 Estructura del suelo (STAFF, 1955)

1.1.1.3 Densidad aparente

La FAO (2019) señala que, La densidad de los suelos se encuentra vinculada a otras características del suelo; en este sentido, los suelos arenosos con baja porosidad presentan una densidad mayor (de 1,2 a 1,8 g/cm³) en comparación con los suelos arcillosos (de 1,0 a 1,6 g/cm³), que cuentan con un mayor volumen de espacio poroso. La presencia de materia orgánica tiende a disminuir la densidad del suelo debido a su baja densidad y a la estabilización de la estructura del suelo, lo que resulta en una mayor porosidad.

La compactación del suelo, ocasionada por el uso inadecuado de equipos agrícolas debido a diversos factores como el tráfico constante, maquinaria pesada o una gestión deficiente del suelo, puede incrementar la densidad de los horizontes superficiales hasta alcanzar valores de hasta 2 g/m³. La densidad del suelo se emplea como indicador de compactación en este contexto.

1.1.1.4 Infiltración

Según Úbeda Rivera & Dallatorre (2018) definen a la infiltración como la cantidad de agua que ingresa al perfil del suelo en un intervalo de tiempo determinado. Las características del suelo que afectan la infiltración incluyen la densidad aparente. Hay una distribución de los poros de acuerdo con el tamaño, la textura y la estabilidad de la unidad de suelo agregado o estructural. La penetración del agua en un suelo relativamente seco es inicialmente alta y luego tiende a disminuir gradualmente hasta un valor constante cercano al coeficiente de permeabilidad del suelo.

1.1.1.5 Capacidad de campo

La FAO (2012) Hace referencia a la capacidad de campo como la cantidad de agua relativamente constante que retiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. Este concepto se aplica específicamente a suelos bien estructurados con un drenaje rápido; en suelos pobremente estructurados, donde el drenaje es más lento, este proceso puede llevar varias semanas. La mejor manera de determinar la capacidad de campo es saturar el suelo en el campo y medir el contenido de agua después de un período de 48 horas de drenaje.

1.1.1.6 Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez, al igual que la capacidad de campo, no es un valor fijo, sino que varía según el tipo de suelo, la planta y las condiciones ambientales. Este punto representa el porcentaje de humedad en el suelo en el cual las plantas experimentan un marchitamiento permanente. A pesar de ello, el suelo aún retiene humedad, la cual se considera no disponible para las plantas (Corado, 2014).

1.1.1.7 Agua disponible

La FAO (2012) Se define el término "agua disponible" como la cantidad de agua disponible para el desarrollo de las plantas, ubicándose entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La cantidad máxima de agua que un suelo puede retener como agua disponible varía en función de la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la profundidad de las raíces y la estructura del suelo. Los suelos con alto contenido de materia orgánica y textura franca, que incluye arena muy fina y sedimentos, poseen la mayor capacidad de agua disponible. Los suelos arcillosos presentan valores intermedios, mientras

que los suelos con contenido de arena gruesa exhiben la capacidad de agua disponible más baja.

1.2 Comentarios clave sobre la relación clima -planta

1.2.1 Evaporación

Evaporación es una operación unitaria controlada por la transmisión de calor que tiene por objetivo concentrar disoluciones por ebullición. Dichas disoluciones se caracterizan por estar compuestas por un soluto no volátil y un disolvente volátil, siendo el agua el disolvente más común (González, 2016).

El mismo autor define a la evaporación como el proceso de transferir agua del suelo a la atmósfera después de un período de lluvia o riego. La cantidad de agua perdida, expresada como porcentaje de la cantidad de agua aplicada, depende de la cantidad y frecuencia de la aplicación de agua y de la parte expuesta de la superficie del suelo.

1.2.2 Transpiración

La transpiración hace referencia a la evaporación de agua desde el suelo a través del sistema vascular de la planta. La cantidad de agua que se transpira dependerá de diversos factores, como la demanda de evapotranspiración potencial, la fase de desarrollo del cultivo y la disponibilidad de agua en la zona donde se encuentran las raíces (Toledo, 2012).

1.2.3 Evapotranspiración

Fao (2014) enfatiza que la evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones: Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), de evaporización del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{c aj}). ET_o es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder de evaporación de la atmósfera. ET_c hace referencia a la evaporación y transpiración en situaciones ideales que se encuentran en áreas con una gestión excepcional y una provisión adecuada de agua, logrando así la producción máxima conforme a las condiciones climáticas.

1.2.3.1 Evapotranspiración potencial (ET_o)

Los únicos factores que afectan ET_o son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_o es un parámetro climático que puede ser calculado con datos meteorológicos. ET_o expresa la evaporación de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ET_o con parámetros climáticos. Este método se aproxima a la ET_o de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos (FAO, 2014).

1.2.3.2 Coeficiente del cultivo (K_c).

De acuerdo con Lara (2019), el coeficiente de cultivo (K_c) describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que avanzan desde la siembra hasta la recolección. En los cultivos anuales, se suelen identificar cuatro etapas o fases:

- Inicial: Desde la siembra hasta aproximadamente un 10% de cobertura del suelo.
- Desarrollo: Desde el 10% de cobertura hasta el período de crecimiento activo de la planta.
- Media: Se extiende desde la floración hasta la fructificación, generalmente representando el 70-80% de la máxima cobertura del cultivo.
- Maduración: Desde la madurez hasta la recolección.

1.2.3.3 Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar, conocida como ET, se refiere al proceso de evaporación y transpiración de cualquier cultivo que esté libre de enfermedades, bien fertilizado y que crezca en áreas extensas. Este cultivo se desarrolla en condiciones óptimas de suelo y agua, alcanzando su máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar (Cenicaña, 2015).

El cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) se realiza multiplicando la evapotranspiración potencial (ET_o) por el coeficiente del cultivo (K_c). En cuanto a la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_r), se sugiere utilizar el método de Penman-Monteith.

1.3 Calidad del agua de riego

La composición química del agua recibe el nombre de calidad del agua. Existe una serie de normas que regulan las concentraciones permisibles que debe poseer cada elemento o indicador de calidad según los diferentes usos (Miranda *et al*, 2022).

Conforme con la definición de Gómez (2015), la calidad del agua se determina mediante sus atributos físicos, químicos y biológicos, siendo los factores físicos especialmente relevantes en aguas destinadas al riego. Además, la calidad varía según el tipo de agua, la concentración de sales disueltas y su movilidad en el perfil del suelo, a medida que el agua se evapora o es absorbida por las plantas. La evaluación de la calidad del agua resulta crucial para investigar las condiciones de salinidad y el contenido de sodio intercambiable en los suelos de áreas de riego específicas.

La presencia elevada de sales en el agua de riego tiene el potencial de provocar la salinización del suelo en un lapso muy breve. Los criterios utilizados para evaluar el riesgo de salinidad se fundamentan en índices que indican las concentraciones de sales presentes en el agua de riego.

La salinidad inhibe el crecimiento y desarrollo de las plantas al disminuir la disponibilidad de agua para ser absorbida por las raíces, debido a la concentración de sales en la solución del suelo.

FAO (2012) clasifica las aguas según las normas de Riverside:

- Agua con baja salinidad (C1) es adecuada para su uso en cualquier tipo de cultivo y en todos los tipos de suelos.
- Agua con salinidad media (C2) puede emplearse en suelos variados, excepto aquellos con baja permeabilidad, y es apta para cultivos que presenten una tolerancia moderada a la salinidad.
- Agua con alta salinidad (C3) se utiliza en suelos con drenaje limitado, requiriendo una supervisión constante de los niveles de salinidad. Su aplicación está recomendada únicamente en cultivos que sean tolerantes a esta condición.
- Agua con muy alta salinidad (C4) puede utilizarse en situaciones normales, aunque de manera excepcional, como en terrenos altamente permeables y para cultivos

extremadamente tolerantes. En cualquier caso, se aconseja un riego excedentario para asegurar un lavado suficiente.

Can-Chulim (2014) Se señala que, cuando los suelos presentan niveles elevados de sodio intercambiable, se experimentan reducciones en la permeabilidad, alteraciones en la estructura porosa y efectos tóxicos del ion de sodio (Na^+), que es absorbido por las plantas susceptibles a este elemento.

Los resultados en suelos con elevados niveles de sodio intercambiable son fácilmente perceptibles, expresándose mediante la acumulación de agua y una reducción en la velocidad de absorción del agua de riego. La toxicidad asociada al ion sodio suele evidenciarse a través de alteraciones en el color de las hojas, que adquieren tonalidades cafés, y eventualmente, la pérdida de las mismas.

Según FAO (2012), las aguas de acuerdo al contenido de sodio se clasifican en:

- Agua con bajo contenido de sodio (S1) es adecuada para el riego en la mayoría de las condiciones.
- Agua con contenido medio de sodio (S2) podría representar un riesgo de toxicidad en ciertas situaciones, como en suelos de textura fina con una alta capacidad de cambio de bases.
- Agua con alto contenido de sodio (S3) puede generar niveles perjudiciales de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, y su uso requiere precauciones especiales, como un adecuado drenaje, un lavado abundante y la aplicación de materia orgánica.
- Agua con niveles muy altos de sodio (S4) no es apta para riego, a menos que presente bajos o medianos niveles de salinidad (C1 a C2) y se realice una adición de calcio o yeso al suelo.
- La clasificación de las aguas se lleva a cabo mediante la relación de adsorción de sodio o RAS, y esta categorización se fundamenta principalmente en el impacto que tiene el ion sodio absorbido en las condiciones físicas de los suelos

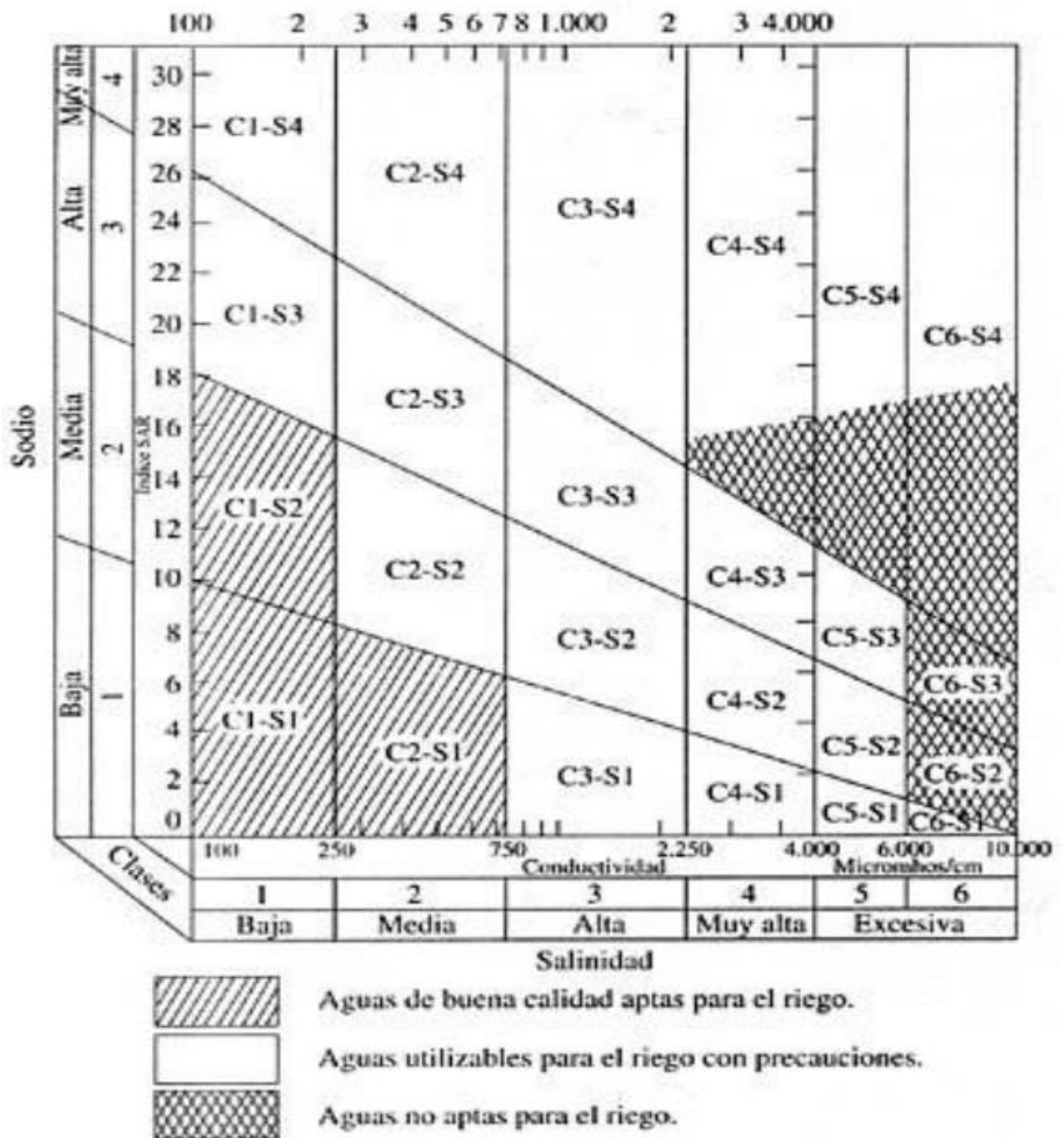


Figura 3 Diagrama para la clasificación de las aguas de riego elaborada por Richards (1954)

Muñoz (2014) menciona que las pautas destinadas a evaluar la calidad del agua utilizada en el riego se fundamentan en considerar el impacto a largo plazo que esta tiene en la agricultura, así como en las condiciones del suelo y la gestión de las explotaciones agrícolas. Estas directrices son prácticas y han demostrado su eficacia en la agricultura de regadío en general, especialmente en la evaluación de los componentes habituales presentes en fuentes de agua como aguas superficiales, aguas subterráneas, agua de drenaje y aguas residuales.

Tabla 2. Directrices para interpretación de la calidad del agua para riego según Muñoz (2014)

PROBLEMAS POTENCIALES DEL RIEGO	Unidades	Grado de restricción sobre el uso				
		Ninguno	Leve a moderada	Grave		
Salinidad (afecta a la disponibilidad de agua de los cultivos)	CEw	dS/m	<0,7	0,7 – 0,3	>3,0	
	SDT	mg/l	<450	450 - 2000	>2000	
Infiltración (afecta a la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Se evalúa utilizando ECw y SAR juntos)	SAR=0-3	CEw=	dS/m	≥0.7	0.7 – 0.2	<0.2
	SAR=3-6	CEw=	dS/m	≥1.2	1.2 – 0.3	<0.3
	SAR=6-12	CEw=	dS/m	≥1.9	1.9 – 0.5	<0.5
	SAR=12-20	CEw=	dS/m	≥2.9	2.9 – 1.3	<1.3
	SAR=20-40	CEw=	dS/m	≥5.0	5.0 – 2.9	>2.9
Toxicidad de iones específicos (afecta a los cultivos sensibles)	Sodio (Na)	Riego superficial	SAR	<3.0	3.0 – 9.0	>9.0
		Riego con aspersores	me/l	<3.0	>3.0	
	Cloro (Cl)	Riego superficial	me/l	<4.0	4.0 – 10	>10.0
		Riego con aspersores	me/l	<3.0	>3.0	
	Boro (Br)	me/l	<0.7	0.7 – 3.0	>3.0	
Otros efectos (afectarían a cultivos sensibles)	Nitrógeno (N total)	mg/l	<5.0	5.0 – 30.0	>30.0	
	Bicarbonato (aspersores elevados)	me/l	<1.5	1.5 – 8.5	>8.5	

La conductividad eléctrica del agua de riego, expresada en unidades del Sistema Internacional como deciSiemens por metro (dS/m), se representa como dS/m y es equivalente a 1 mmho/cm o 1 millimho/centímetros.

La concentración de sólidos disueltos totales (SDT) se mide en miligramos por litro (mg/l), también conocidos como partes por millón (ppm). La relación entre la conductividad eléctrica (CEw) y los valores de SDT tiene una precisión aproximada del 10%, y la conversión se realiza mediante la expresión $SDT = CE \cdot 640$ (mg/l).

Los miliequivalentes por litro (me/l) representan la concentración de sustancias en unidades del SI, donde 1 me/l es igual a 1/1 milimoles por litro ajustado para la carga del electrón.

La relación de adsorción de sodio (RAS o SAR) proporciona información sobre la cantidad de sodio en el agua de riego en comparación con otros cationes. Se calcula mediante la ecuación $SAR = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$

Urgellés (2007), Afirma que los análisis de agua pueden contener imprecisiones, pero argumentan que es posible identificar dichos errores mediante el uso de fórmulas. La tolerancia aceptable para el error en un equilibrio iónico se determina por:

$$\text{Error (\%)} = 200 \frac{\Sigma \text{ cationes} - \Sigma \text{ aniones}}{\Sigma \text{ cationes} + \Sigma \text{ aniones}}$$

Y se determina a partir del nivel de mineralización y la naturaleza del agua, como se describe a continuación:

Tabla 3. Error admisible.

CE (umhos/cm)	Error admisible (%)
50	30
200	10
500	8
≥2000	4

Fuente: (Urgellés, 2007), error admisible de agua

Estas técnicas se usan con el objetivo de detectar, corregir errores analíticos en el análisis de iones de una muestra de agua

El agua debe ser eléctrica, el agua debe verificarse a través de un análisis químico mostrando la suma de cationes y aniones.

1.4 Topografía

1.4.1 Levantamiento topográfico

FAO (2016) Afirma que se llevan a cabo levantamientos topográficos con el propósito de identificar la estructura del terreno y la ubicación en la superficie terrestre de elementos naturales o construcciones humanas. Estos levantamientos, específicamente en la zona de riego, deben comprender todos los rasgos del terreno que cruzan los límites de las propiedades, detallando nombres de propietarios, edificaciones presentes, vías, ríos, arroyos, entre otros.

Casanova (2002) Expone que, según su definición, la taquimetría es el método topográfico que identifica de manera simultánea las coordenadas Norte, Este y altitud de puntos en la superficie del terreno.

De acuerdo con la FAO (2016), Las líneas de contorno son representaciones imaginarias que conectan puntos con la misma altitud en relación con un plano de referencia, comúnmente el nivel medio del mar. Estas líneas reflejan la intersección de un plano horizontal con la topografía ondulada del terreno. Se utilizan para visualizar gráficamente las características del relieve de la superficie terrestre, y mediante este método, es posible identificar de manera fácil y rápida la altitud o elevación de cualquier punto en el terreno (Casanova, 2002).

1.5 Riego

Las plantas necesitan de riego constantemente, se puede definir el riego como el aporte artificial de agua a las plantas con el objetivo de proveer la humedad necesaria para su desarrollo y aumentar su producción, de forma complementaria al aporte de las precipitaciones (Cortijo, 2014)

La función específica del riego es suministrar el agua necesaria a las plantas, como también otros objetivos:

- El transporte de nutrientes desde el suelo a las diversas partes de la planta.
- La lixiviación del exceso de sales del suelo que a determinadas concentraciones puede ser perjudicial para las plantas. El riego hace que las sales se disuelvan en el agua y difundan a través del suelo, llegando a profundidades donde no las absorben las raíces y, por tanto, no perjudican a la planta.

- Un efecto térmico micro climático favorable. La humedad en la zona próxima a la planta actúa como termostato: reduce el riesgo de heladas en épocas frías y suaviza el calor en verano. Esto ocurre en el cultivo del arroz.

1.5.1 Tipos de riego

1.5.1.1 Riego localizado

El riego localizado encierra a los sistemas de riego que trabajan con pequeños caudales a baja presión y que suministran agua a las plantas humedeciendo únicamente una parte del suelo próxima a la zona radicular.

Cortijo (2014), asegura que, las características más importantes del riego localizado son las siguiente:

- Utiliza pequeños caudales a baja presión
- Mantiene un alto contenido de humedad en la zona radicular
- Para aplicar el agua en la proximidad de las plantas se utilizan gran número de pequeños puntos de emisión.

1.5.1.2 Tipos de riego localizado

1.5.1.2.1 Riego por goteo

El riego por goteo se utiliza caudales nunca superiores a los 16 l/h por emisor, aunque los caudales más frecuentes son los de dos y cuatro l/h. El agua se aplica gota a gota mediante dispositivos que mantiene el flujo continuo. El goteo puede ser de forma intermitente, continua o a pulsos.

1.6 Riego por goteo

El riego por goteo consiste en una serie de cintas o tubos conectadas entre sí con pequeños orificios que se localizan en la base de las plantas, donde se suministrara por gravitación el agua según la cantidad que necesiten los cultivos (Twenergy, 2019).

Según Cadavid (2020) define al sistema de riego por goteo como la práctica de suministrar agua filtrada al suelo en cantidades reducidas y de forma regular a través de una red de tuberías y dispositivos conocidos como "emisores", distribuidos a lo largo de la línea de conducción. Este método transporta el agua directamente desde la fuente hasta cada planta, eliminando por completo las pérdidas asociadas con la conducción y minimizando las derivadas de la evaporación y la percolación. El objetivo de este sistema es supervisar las condiciones de diseño, operación y gestión, así como controlar el patrón de distribución del

agua en el suelo para crear un entorno en la zona radicular del cultivo con propiedades físicas, químicas y biológicas que favorezcan rendimientos más altos.

1.6.1 Ventajas y desventajas del riego por goteo

1.6.1.1 Ventajas

Según Goyal (2015), el sistema de riego por goteo muestra los siguientes beneficios:

Uso eficiente del agua:

- Evita la mojadura del follaje
- Minimiza las pérdidas directas por evaporación
- Elimina el escurrimiento superficial
- Permite la aplicación de riego a una profundidad precisa

Reacción en la planta:

- incrementa el rendimiento por unidad de agua aplicada
- Favorece una producción más uniforme

El ambiente en la raíz:

- Mejora la aeración
- Aumenta la disponibilidad de nutrimentos
- Mantiene una condición constante de retención de agua a baja tensión el suelo

Combate las plagas y enfermedades:

- Mejora la eficiencia de las aplicaciones de plaguicida
- Reduce el desarrollo de insectos y enfermedades

Práctica y efectos agronómicos:

- Las actividades de riego no interfieren con las del cultivo, aspersión y cosecha
- Disminuye la necesidad de árboles culturales, al haber menos malezas, endurecimiento
- Facilita la aplicación de fertilizantes con el agua de riego
- Optimiza la eficiencia del trabajo en huertos frutales al mantener espacios entre las hileras secos y nivelados

Beneficios económicos:

- Costos bajos en comparación con sistemas como pisteros aéreos y otros permanentes.

- operación y mantenimiento generalmente son económicos
- los costos son más elevados cuando la distancia media es inferior a 3 metros
- adecuado para terrenos accidentados
- alta eficiencia de aplicación
- permite el uso de tuberías de menor diámetro
- requiere menos energía para la propulsión

1.6.1.2 Desventajas

Mejía (2012) Indica que este método exhibe las siguientes limitaciones:

- La inversión inicial es elevada, ya que se necesita al menos un emisor por planta, junto con sistemas de control y suministro complejos.
- Requiere un sistema de filtrado eficiente para prevenir obstrucciones en los goteros, lo que puede dar lugar a entregas irregulares de caudal.

1.6.2 Componentes del riego por goteo

1.6.2.1 Cabezal de control o cabezal de riego

Holzapfel (2000) plantea que la estructura principal del sistema consiste en una serie de dispositivos diseñados para suministrar al sistema hidráulico agua presurizada con la calidad adecuada, en el momento preciso y en la cantidad necesaria. El componente de control, por lo general, incluye medidores de flujo, válvulas de control, inyectores de productos químicos, filtros, manómetros, sensores especializados, controles automáticos o computadoras, y opcionalmente, equipo de bombeo. Usualmente, el componente de control se encuentra ubicado cerca de la fuente de agua y/o energía.

1.6.2.2 Sistema de filtrado

Paz (2015) menciona que el objetivo es lograr la purificación del agua, eliminando partículas extrañas. En el sistema se incluyen filtros de arena y grava, mallas, y sistemas basados en decantación, cilindros, con o sin automatización. Todos estos métodos pueden ser efectivos si son parte de un proyecto bien diseñado que asegure una obstrucción mínima, ya que la eficacia del sistema depende en gran medida de ello. El sistema de filtración debe tener la capacidad de transportar el flujo necesario y eliminar partículas finas cuyo tamaño es varias veces menor que el diámetro del elemento dentro del emisor. Por lo general, las partículas que se filtran deben tener un tamaño igual o mayor a un octavo del área de flujo del emisor (Holzapfel H, 2000).

La mayoría de las instalaciones disponen de dos tipos de filtros, de arena y de malla, diseñados con el propósito de evitar que los emisores se obstruyan debido a la presencia de materiales extraños. Se sugiere la instalación de desarenadores en las proximidades del pozo de captación para proteger la bomba y eliminar del flujo hacia el equipo las partículas de mayor tamaño. Las pérdidas de carga varían de 1 a 3 metros cuando los filtros están limpios, incrementándose a 5 a 7 metros cuando se encuentran sucios. Para determinar cuándo es necesario realizar la limpieza, es fundamental medir la presión antes y después del filtro. Según Georgi (2011), expone que la selección de los filtros en una instalación se define según la naturaleza y calidad de los sedimentos y sustancias orgánicas que se encuentran en el agua.

Tabla 4. Necesidades de utilización de filtros según elementos presentes en el agua *de riego* Georgi (2011).

Tipo de elemento	Hidrocución	Grava	Mallas y anillas
Arena	Si	No	Si
Lino y arcilla	No	Si	Si
Sustancias orgánicas	No	Si	Si

1.6.2.2.1 Unidad de fertilización

Según la perspectiva de Holzapfel (2000), los sistemas contemporáneos de riego bajo presión incluyen un módulo que facilita la introducción de fertilizantes y otros productos químicos al sistema mediante pequeñas bombas, tanques presurizados que funcionan a través de diferencias de presión, un Venturi o una válvula de variación de presión.

1.6.2.2.2 Bombas hidráulicas

Las bombas de agua son máquinas necesarias para bombear líquidos de un lugar a otro, sin importar el fluido y pueden ser de varias potencias. Se emplean, en el área agrícola para poder distribuir el riego a varias zonas donde se cultivan (Hidromec, 2018).

Para elegir una bomba, es necesario tener información sobre la presión total del sistema, el volumen de agua requerido y la potencia de la unidad. La presión total que el sistema pueda aplicar a la bomba está influenciada por los siguientes factores:

- La elevación máxima: Es la diferencia en la altura entre la fuente de agua y el punto de descarga ubicado a una elevación superior en la zona que se pretende regar.

- La pérdida por fricción: Se refiere a la presión necesaria en el punto de descarga más alejado. Es importante considerar que la capacidad de descarga de la bomba disminuye a medida que aumenta la presión operativa.

1.6.2.3 Tuberías de distribución

Según Georgi (2011), la infraestructura del sistema de riego por goteo se compone de una red de tuberías con diversos diámetros, reductores y accesorios. La disponibilidad de materiales como el PVC y otros derivados del petróleo ha facilitado la popularización de este sistema debido a beneficios como el transporte eficiente, la facilidad en el corte y ensamblaje, así como la durabilidad y resistencia a las variaciones de temperatura.

Paz (2015) explica que las tuberías se ramifican desde el cabezal de riego hasta llegar a los emisores o goteros. La línea principal transporta el agua desde el cabezal de control hacia la línea de distribución, que puede ser secundaria, auxiliar o lateral, dependiendo del diseño específico implementado (Holzapfel H, 2000).

1.6.2.4 Cabezales de campo

Paz (2015) sostiene que las válvulas, ubicadas en el campo, son fundamentales para proveer agua a diversas unidades de riego. Estas válvulas pueden ser de tipo simple, diseñadas para operación manual, o hidráulicas. En el caso de las hidráulicas, un diafragma activado por presión hidráulica controla tanto la presión como el flujo del caudal. Pueden ser operadas manualmente en el sitio de instalación o de forma remota mediante controles hidráulicos o eléctricos.

1.6.2.4.1 Accesorios

Los accesorios comprenden un conjunto de piezas empleadas para unir y ensamblar las tuberías, así como para construir los cabezales de campo. Se utilizan accesorios de PVC, como tes, codos, curvas, cuplas, mangos de reducción, entre otros. Para la conexión de válvulas, filtros, reguladores de presión, etc., se emplean piezas con rosca de polipropileno. En todos los casos, estos accesorios deben poseer características constructivas adecuadas para resistir las elevadas presiones del sistema (Paz, 2015).

1.6.2.5 Emisores

Holzapel (2000) indica que los goteros desempeñan la función fundamental de suministrar agua a las plantas cultivadas y existen en diversas clases y modalidades. Su objetivo general es regular el caudal de manera adecuada y contar con un orificio de tamaño apropiado para prevenir obstrucciones, que son la principal complicación en este tipo de sistema de riego.

Como lo afirma Holzapel (2000), los emisores son dispositivos que reducen la presión a cero, permitiendo así que el agua se aplique en forma de gotas sobre la superficie del suelo. El caudal proporcionado por los emisores está determinado por la presión en la línea, siendo común que en sistemas de riego por goteo entreguen entre 2 y 10 litros por hora.

1.7 Diseño agronómico

El diseño agronómico debe garantizar el suministro de las necesidades hídricas del cultivo en el período de máximas necesidades, con una adecuada eficiencia de aplicación, asegurando un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo (Seva, 2020).

1.7.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o)

Delgado (2019), plantea que la evapotranspiración potencial (ET_o) es el efecto de las pérdidas de humedad producto de la evaporación del suelo y la transpiración de la planta, existen distintos métodos para calcular la (ET_o) entre los más usados están: la tina de evaporación clase “A” y la ecuación de Penman y Monteith que se calcula a través del software CROPWAT.

En 1948, Penman combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y derivó una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de horas sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento. Este método fue desarrollado posteriormente por muchos investigadores y ampliado a las superficies cultivadas por medio de la introducción de factores de resistencia.

Ecuación de Fao Penman Monteith:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

- E_{To} = evapotranspiración de referencia (mm día-1)
- R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)
- R_a = radiación extraterrestre (mm día-1)
- G = flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)
- T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)
- e_s = presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a = presión real de vapor (kPa)
- $e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)
- γ = constante psicrométrica (kPa °C-1)

1.7.2 Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (Etc)

Aguilar (2021) manifiesta que la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}) se define como la demanda de evaporación de la atmósfera sobre las plantas que se desarrollan bajo condiciones adecuadas, con características ideales tanto de manejo como de ambiente y que alcanzan la producción potencial sobre condiciones climáticas dadas.

La evapotranspiración del cultivo E_{Tc} es calculada como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, E_{To} y el coeficiente del cultivo K_c :

$$E_{Tc} = K_c \cdot E_{To}$$

Donde:

- E_{Tc} = evapotranspiración del cultivo [mm d-1],
- K_c = coeficiente del cultivo [adimensional],
- E_{To} = evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d-1].

1.7.2.1 Factores que determinan el coeficiente del cultivo (K_c)

- Tipo de Cultivo
- Clima
- Evaporación en el suelo
- Etapas del crecimiento del cultivo

1.7.3 Efecto de localización

Se han propuesto numerosos procedimientos que corrigen la ETc por el “efecto de localización”.

Entre ellos hemos seleccionado como más prácticos los que se basan en la fracción de área sombreada por el cultivo, a la que denominamos A y se la define como la fracción de la superficie del suelo sombreada por la cubierta vegetal a medio día en el solsticio de verano, respecto a la superficie total, para propósitos prácticos, se puede alinear la zona sombreada con la proyección en el terreno del contorno de la cobertura vegetal (Mendoza 2014).

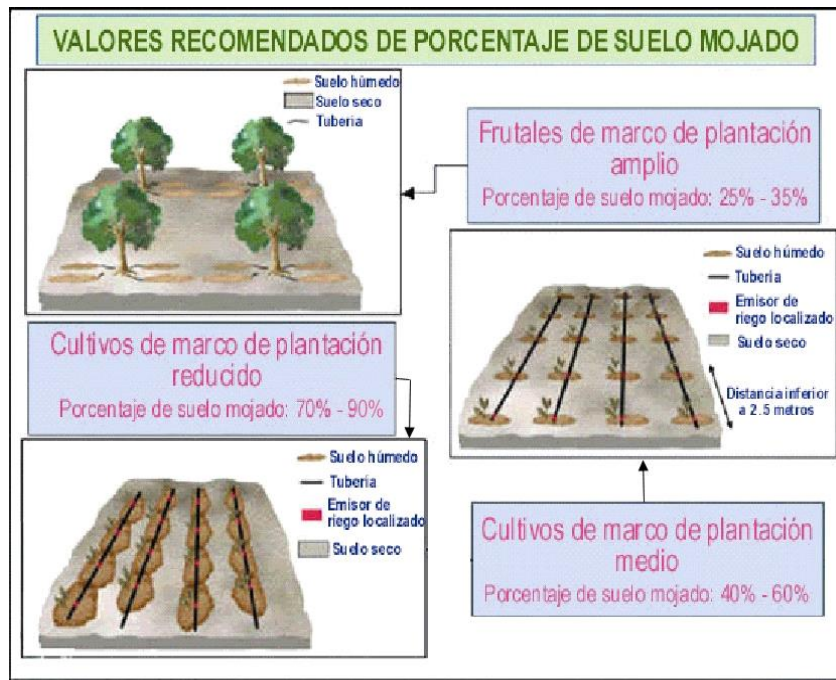


Figura 4 Efecto de plantación elaborado por Mendoza (2014)

Formula de efecto de localización:

$$Kl = A + 0.15 (1 - A)$$

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

Donde:

- Kl: efecto de localización
- D: diámetro de la copa (m)
- Sp: Marco de plantación (m²)
- A: Fracción de área sombreada

1.7.3.1 Correcciones por condiciones locales

Cuando la ETo utilizada en el cálculo equivale al valor medio del período estudiado, debe mayorarse multiplicándola por un coeficiente, pues de otra forma las necesidades calculadas serían también un valor medio, lo que quiere decir que aproximadamente la mitad de los años el valor calculado sería insuficiente. En RLAF el volumen de suelo mojado es reducido y por tanto los coeficientes son siempre elevados. Adoptamos el criterio de Hernández Abreu de aplicar siempre un coeficiente comprendido entre 1,15 y 1,20.

Comúnmente la planificación de un proyecto de riego se basa en los datos meteorológicos disponibles tomados antes del desarrollo del mismo.

La temperatura es más alta y la humedad relativa es más baja, lo que implica una sobreestimación de la evapotranspiración de los cultivos.

La figura siguiente publicada por la FAO (24), permite ajustar la evapotranspiración calculada de los datos iniciales, antes de la instalación del riego, según el tamaño del campo, desde áreas mínimas esparcidas efecto de la ropa tendida, hasta áreas significativas de 10 a 100 ha (efecto de oasis).

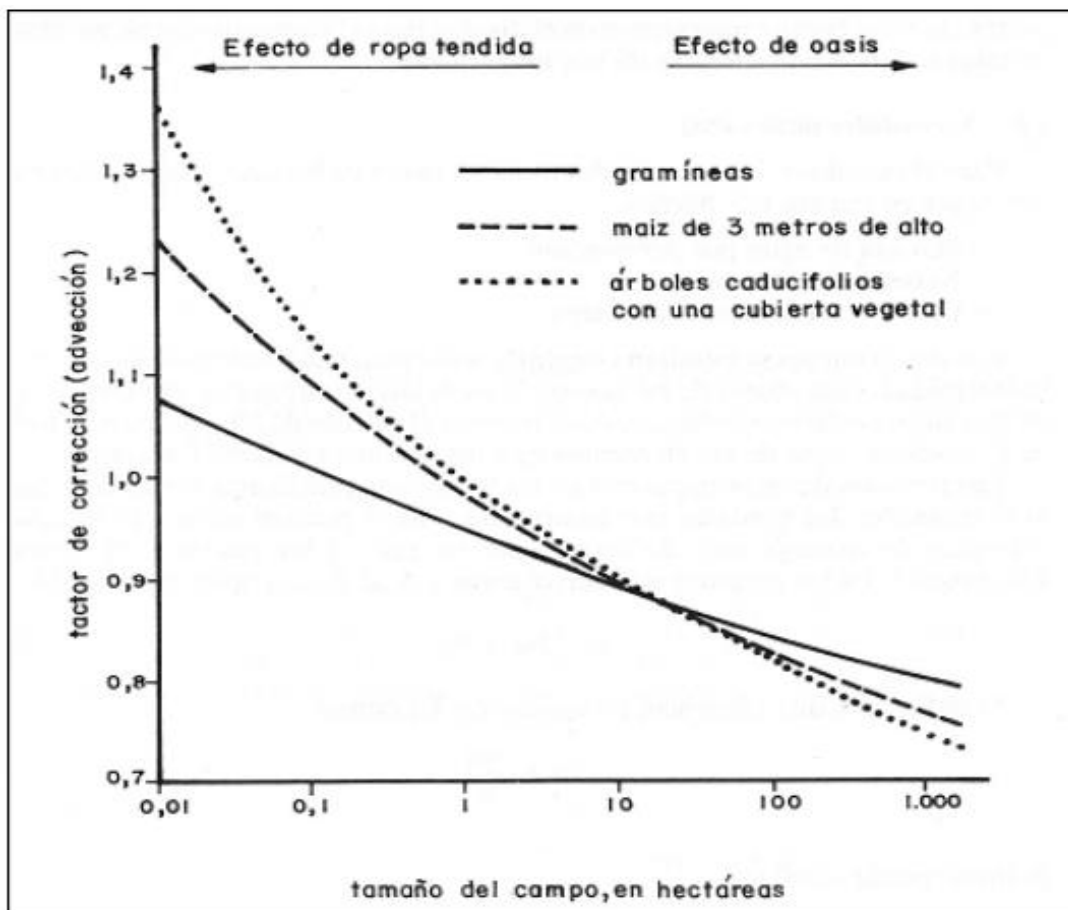


Figura 5 Factor de corrección del efecto de advección en función del tamaño del campo regado para tres diferentes ambientes agro culturales

1.7.4 Necesidades netas (Nn)

Muñoz (2014) asegura que la evaluación de las demandas netas de agua en sistemas de riego localizado se vuelve más crucial que en otros métodos de riego, ya que el suelo tiene un papel limitado como depósito o reserva de agua. Aunque se emplean los mismos métodos de evaluación que en otros sistemas, se aplican coeficientes correctores adicionales.

La cantidad de necesidades netas será menor en plantaciones jóvenes de árboles frutales y en espacios de plantación más amplios, mientras que en cultivos hortícolas con una alta densidad de plantas no se observará una diferencia significativa. En todos los casos, las necesidades netas se ajustan mediante coeficientes correctores específicos. Las necesidades netas de riego se pueden calcular según:

$$Nn = Etc. Kl. Kr. Ka$$

1.7.5 Necesidades totales (Nt)

Muñoz (2014) indica que los requerimientos totales superan a los netos, dado que es necesario suministrar cantidades adicionales para compensar las pérdidas ocasionadas por la percolación profunda, la salinidad y la falta de uniformidad en el riego.

$$Nt = \frac{Nn}{(1 - RL) \times CU}$$

- $K = 1 - Ea$
- Donde:
- Nt = Necesidades totales
- Nn = Necesidades netas
- RL = Requerimientos de lavado
- CU = Coeficiente de uniformidad

1.7.5.1 Requerimientos de lavado

Guerrero (2021) asegura que las necesidades de lavado R es asunto complicado. Además, puede ser conveniente no cargar al riego todas las necesidades de lavado, permitiendo que la lluvia sea parte de esa mejora. Su estudio detallado se puede ver en “Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos” (F. Pizarro, Ed. Agrícola, Madrid 1985). Un método más sencillo de cálculo, aunque menos correcto, consiste en calcular el LR aplicando la siguiente fórmula:

$$LR = \frac{CEi}{2CEe}$$

Donde:

- CEi: conductividad eléctrica del agua de riego.
- CEe: conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, valor que se impone como objetivo a conseguir con el lavado y que depende de los cultivos a implantar.

1.7.5.2 Coeficiente de uniformidad

Muñoz (2014) asegura que el coeficiente de uniformidad (CU) se utiliza para evaluar las instalaciones en funcionamiento y para el diseño de nuevas instalaciones. En el diseño, el CU es una condición que se impone y que viene determinada por factores económicos (Tabla 8).

Tabla 5. Valores de CU recomendadas en riego localizado (Muñoz, 2014)

Emisor	Emisores por planta (i)	Topografía y pendiente	CU
Goteros espaciados más de 1m	Mas de 3	Uniforme (1<2%)	0.90 - 0.95
		Uniforme (1>2%) ondulada	u 0.85 - 0.90
	Menos de 3	Uniforme (1<2%)	0.85 - 0.90
		Uniforme (1>2%) ondulada	u 0.80 - 0.90
Goteros espaciados menos de 1 m, mangueras y cintas de exudación		Uniforme (1<2%)	0.80 - 0.90
		Uniforme (1>2%) ondulada	u 0.70 - 0.85
Difusores y microaspersores		Uniforme (1<2%)	0.90 - 0.95
		Uniforme (1>2%) ondulada	u 0.85 - 0.90

1.7.6 Dosis, frecuencia, tiempo de riego y número de emisores.

(Georgi 2011) menciona que, el riego por goteo es una técnica que consiste en colocar líneas regantes paralelamente a las hileras de los árboles, empleando goteros autocompensantes con gastos de 4 a 8 litros por hora. En huertas jóvenes se puede colocar una sola línea de riego por hilera, sin embargo, en huertas con árboles adultos se requieren de dos líneas de riego por hilera de cultivo, debido a que la demanda hídrica es mayor.

1.7.6.1 Número de emisores por planta.

Georgi (2011) señala que el número de emisores por planta (n) viene dando por la siguiente expresión:

$$n = \frac{\text{superficie mojada por planta}}{\text{superficie mojada por emisor}} = \frac{\text{superficie ocupada por planta} \times P}{100 \times \text{superficie mojada por emisor}}$$

El mismo autor indica que el número de emisores por planta está dado por la siguiente expresión:

$$e > \frac{S_p \times PAR}{100 \times A_e}$$

Donde:

- S_p = Marco de plantación.
- PAR = Porcentaje de superficie mojada.
- A_e = Diámetro de bulbo húmedo.

1.7.6.2 Dosis, intervalo entre riegos y duración del riego

FAO (2014) indica que la cantidad de agua administrada en cada riego o dosis de riego será:

$$dt = n \times q \times t$$

$$dt = Nt \times I$$

Donde:

- n = Número de emisores
- q = Caudal de cada emisor, en litros/hora
- t = Tiempo de duración del riego, en horas
- Nt = Necesidades totales, en litros por día
- I = Intervalo entre riegos, en días

Tabla 6. Aproximación del diámetro mojado y espaciamiento con emisores de 4 litros/hora según el tipo de suelo para tiempos de riego de unas 4 h (Keller) Urrestarazu (2008)

Textura del suelo	Diámetro mojado (m)	Espaciamiento entre emisores
Emisores de 4 litros/hora		
- Fina	- 0.45	- 90
- Media	- 0.40	- 90
- Gruesa	- 0.35	- 90

Tabla 7. Diámetro mojado por un emisor de 4 litros/hora (Keller) elaborada por Urrestarazu (2008)

Profundidad de raíces y textura del suelo	Grado de estratificación del suelo		
	Homogéneo	Estratificado	Estratificado
	Diámetro mojado (m)		
Profundidad = 1.20 - 2m	- 0.90/ 1.10	- 1.20/ 180	- 1.50/ 2.30
- Ligera	- 1.40/ 1.55	- 1.65/ 2.55	- 2.10/ 3.30
- Media	- 1.50/ 2	- 2.10/ 2.30	- 2.40/ 2.80
- Pesada			

De ambas ecuaciones se deduce la siguiente:

$$n \times q \times t = Nt \times I$$

Una ecuación con dos incógnitas, intervalo y tiempo, donde una de ellas debe ser determinada.

En suelos de textura arenosa, donde los bulbos son estrechos y profundos, por un tiempo muy corto (una o dos veces al día, tiempo corto y alto número de transmisores).

En suelo arcilloso, tiende a períodos más largos (tres o cuatro días a la semana), horas de funcionamiento más largas transmisores anchos y menos. Para suelos con textura de humus, se suelen regar una vez al día.

El tiempo de riego vendrá dado por la expresión:

$$t = \frac{Nt \times I}{n \times q}$$

Otra fórmula empleada para obtener el tiempo de riego del cultivo se detalla en la siguiente fórmula:

$$t = \frac{d \times A}{q}$$

Donde:

- t = tiempo de riego
- d = lámina de agua (necesidades netas)
- A = área de influencia del emisor
- q = caudal del gotero

1.7.6.3 Disposición de los emisores

Toledo (2012) indica Cuando se distribuyen las tuberías que llevan los emisores en el terreno, es esencial considerar varios aspectos:

- Asegurar que cada planta reciba el número necesario de emisores según el diseño agronómico.
- Evitar complicaciones en las labores de cultivo.
- Realizar la inversión mínima.

En cuanto a la colocación de los goteros a lo largo de la tubería que lleva los goteros, se busca crear una zona húmeda en línea continua donde las plantas desarrollen sus sistemas radiculares. Este enfoque simplifica las tareas agrícolas, pero presenta la desventaja de que puede provocar que las plantas más altas se caigan. Es particularmente adecuado para cultivos en línea.

La superposición, o solape, se define como el porcentaje de la distancia cubierta por dos áreas de riego consecutivas en relación con el radio de la zona de riego.

$$S = \frac{a}{r} \times 100$$

- S = Solape expresado en tanto por 100
- a = distancia recubierta por dos bulbos consecutivos.
- r = Radio del bulbo.

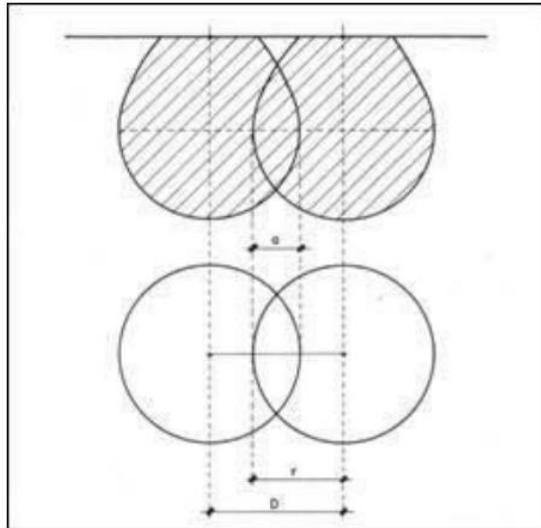


Figura 6 Distancia entre goteros

La distancia D entre goteros consecutivos debe ser: $DD = (2 - SS 100)$

1.7.6.4 Sector de riego

Georgi (2011), propone la siguiente ecuación para el cálculo del sector de riego (SR):

$$SR = \frac{\text{caudal disponible}}{\text{caudal que requiere cada ha}}$$

1.8 Diseño hidráulico

1.8.1 Tolerancia de caudales

Para el cálculo del caudal mínimo del gotero (q_{ns}), nos basaremos en la siguiente fórmula:

$$C_{ns} = \frac{C_u \cdot Q_a}{1 - 1.27 \cdot C_v \cdot e^{-1/2}}$$

Donde:

- Q_{ns} : tolerancia de caudales
- C.U: coeficiente de uniformidad
- C.V: (valor dado por fabricante del emisor)
- e: número de emisores
- Q_a : caudal del emisor

1.8.2 Tolerancia de presiones

Urrestarazu (2008) describe a la tolerancia a presiones como el rango en donde deben estar las presiones con el objetivo de lograr una buena uniformidad de caudal, esto se obtiene mediante tres métodos:

- Porcentaje de variación a la presión nominal
- Variación de caudales en función de la uniformidad de riego deseada
- Variación de presiones teniendo en cuenta x, CV y CU

1.8.3 Velocidades recomendadas del fluido

Según Urrestarazu (2008), Como regla general, se recomienda no exceder la velocidad de 3 m/s. Para ramales que llevan emisores, laterales y en general, para conducciones con múltiples salidas, se aconseja una velocidad de aproximadamente 1 m/s. En otras tuberías de riego, se puede mantener una velocidad de alrededor de 1,5-2 m/s.

En las tuberías de impulsión, se debe evitar superar los 2 m/s, siendo recomendable mantenerse en un rango de 0,8 a 1,5 m/s, ya que esto corresponde al costo mínimo. La velocidad mínima se sitúa alrededor de 0,5 m/s; si el agua transporta partículas en suspensión, no se debe reducir a menos de 0,6 m/s. Boswell (1990) explica que la velocidad media de flujo en una tubería puede calcularse mediante la ecuación $Q=VA$, cambiando unidades y resolviendo para V.

$$V = 1273 \frac{Q}{D^2}$$

Donde:

- V = Velocidad media (m/s)
- Q = Caudal (l/s)
- D = Diámetro interior (mm)

Según Arlette (2012) los distintos regímenes de flujo y la asignación de valores numéricos a cada uno fueron inicialmente presentados por Osborne Reynolds en 1883. Reynolds observó que la naturaleza del flujo que experimenta un líquido al pasar por una tubería está influenciada por la velocidad del líquido, el diámetro de la tubería y algunas propiedades físicas del fluido.

Por consiguiente, el número de Reynolds es un parámetro adimensional que vincula las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del conducto por el cual fluye, y se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

Donde:

- D = Diámetro del ducto
- v = Velocidad promedio del líquido
- ρ = Densidad del líquido
- μ = Viscosidad del líquido

Normalmente, cuando el número de Reynolds es inferior a 2,100, se identifica que el flujo es laminar. En el rango comprendido entre 2,100 y 4,000, se clasifica como flujo de transición, mientras que para valores superiores a 4,000, se categoriza como flujo turbulento (Pardo, 2011).

1.8.4 Diseño de dimensiones de tuberías principales, secundarias y laterales

El riego por goteo se adapta a prácticamente todos los tipos de suelo y topografías, y la mayoría de cultivos pueden ser regados por este método (árboles frutales, hortalizas, flores y cultivos en hilera como algodón, maíz dulce, etc.) (Corado, 2014).

1.8.4.1 Tuberías principales

El riego por goteo se adapta a prácticamente todos los tipos de suelo y topografías, y la mayoría de cultivos pueden ser regados por este método (árboles frutales, hortalizas, flores y cultivos en hilera como algodón, maíz dulce, etc.) (Corado, 2014).

1.8.4.2 Tuberías secundarias

Son las que llevan el agua a las tuberías laterales. El material utilizado es PVC o más comúnmente polietileno de alta o mediana densidad. El PVC debe enterrarse y el polietileno puede colocarse sobre la superficie (Corado, 2014).

1.8.4.3 Tuberías laterales

Son las líneas a las cuales están conectados los emisores, normalmente son de polietileno de alta o mediana densidad (Corado, 2014).

1.8.5 Pérdida de carga de tuberías

Es recomendable formular las ecuaciones de pérdida de carga de manera general para facilitar su aplicación en análisis algebraico y en la elaboración de programas informáticos. Tanto la ecuación de Hazen-Williams como la de Darcy-Weisbach pueden expresarse de forma general mediante la siguiente ecuación (Boswell, 1990).

$$H_f = K \times D^{-n} \times Q^m \times L$$

Donde:

- H_f = Pérdida de carga (mca)
- Q = Caudal (l/s)
- L = Longitud de la tubería (m)
- D = Diámetro interior
- K , n , y m = Coeficiente de pérdidas de carga.

En la **Tabla 8** se proporcionan los valores de los coeficientes de pérdida de carga para las ecuaciones de Hazen-Weisbach aplicadas a tuberías de PVC.

Tabla 8. Valores de los coeficientes de pérdida de carga para las ecuaciones de Hazen-Weisbach en tubería de PVC. (Boswell, 1990)

EC. PÉRDIDAS DE CARGA	DE No REYNOLDS ($\times 1\ 000$)	COEFICIENTES		
		k	n	m
Hazen-Williams	40 - 1 000	$1,1361 \times 10^6$	4,871	1,852
Darcy-Weisbach				
Hagen-Poiseuille	0 - 2	$4,20 \times 10^3$	4.000	1.000
Blasius	2 - 100	7.87×10^5	4.750	1.750
Watters-Keller	100 - 1 000	9.59×10^3	4.828	1.828

1.8.6 Selección del equipo de bombeo

Según Urrestarazu (2008), La presión requerida en los emisores de sistemas de riego localizado para un funcionamiento óptimo generalmente se sitúa alrededor de 1 kg/cm² (o entre 0,5 y 3 kg/cm² en el caso de emisores autocompensantes). La presión necesaria en la salida del cabezal de riego debe abarcar la demanda de presión de los emisores y las pérdidas

de carga generadas durante el flujo del agua a través de las conducciones, que incluyen tuberías y piezas especiales.

Para determinar la presión necesaria al inicio de la instalación, es necesario tener en cuenta las pérdidas causadas en el propio cabezal de riego debido a los componentes que lo conforman, como filtros, válvulas, contadores, entre otros. Los fabricantes de estos elementos deben suministrar los datos correspondientes. En caso de no contar con esta información, los valores presentados en la Tabla 9 pueden ser útiles para propósitos de diseño.

Tabla 9: Parámetros guías para la selección del equipo de bombeo (Urrestarazu, 2008)

Elemento del cabezal	Pérdida de carga (m)
Hidrociclón	3-5
Filtro de arena	3-5
Filtro de malla	1-3
Filtro anillas	1-3
Tanque de fertilización	1-4
Inyector hidráulico	4-5
Inyector venturi	5-20
Regulador de presión	4-6
Válvula	1-3

La presión requerida del conjunto de bombeo, también conocida como altura manométrica total o altura total de elevación, se puede calcular utilizando la siguiente fórmula.:

$$H_m = H_o + h_r \text{ impulsión} \pm \Delta Z$$

Donde:

- H_m = Altura manométrica total
- H_o = Altura de presión a la entrada del cabezal
- h_r impulsión = Pérdida de carga de la conducción desde la bomba hasta el cabezal
- ΔZ = Diferencia de cota entre el nivel del agua y el cabezal

1.8.7 Cabezal del sistema de riego, filtros, fertirrigador

Llamamos cabezal de riego al conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, medir y suministrar el agua redistribución.

Quizhpe (2010) manifiesta que el sistema de filtrado es uno de los componentes principales del cabezal, está compuesto por distintos tipos de filtros con lo que se pretende eliminar las

partículas y elementos que lleva el agua en suspensión y que pueden ocasionar obstrucciones en cualquier parte de la red de riego, principalmente en los emisores. Otro elemento vital importancia es el equipo de fertirrigación que añade fertilizantes, micro elementos, fitosanitarios al agua de riego.

1.8.7.1 Sistema de impulsión

Sólo es necesario su instalación en el caso de que el agua no llegue a la finca con suficiente presión. Para ello se emplean bombas de riego que suelen ser centrífugas, normalmente accionadas por motores eléctricos, o por motores de combustión (gasolina o Diesel) cuando no se dispone de electricidad (Quizhpe, 2010).

1.8.7.2 Sistema de fertilización:

Mediante este sistema se incorporan y distribuyen a través del agua de riego los abonos como productos fitosanitarios y otros tipos de productos a portar el cultivo (Quizhpe, 2010).

1.8.7.3 Sistema de filtrado:

El mismo autor menciona que la obturación de los emisores es uno de los problemas más importantes de los sistemas de riego localizado. Puede producirse por partículas o minerales, partículas orgánicas y sales precipitadas que provienen de los fertilizantes añadidos, o los que estén presentes en el agua de riego. El equipo de filtrado fundamental para evitar posibles obstrucciones en el pequeño diámetro del conducto del gotero

Filtro de malla: Retiene todo tipo de sólidos en suspensión. Las impurezas se retienen en la parte superior de la malla que está perforada de pequeños orificios de pequeño tamaño

Filtro de anillas: Este filtro posee la misma función que el filtro malla a diferencia que las impurezas en este filtro quedan entre unas ranuradas que se encuentran agrupadas y ajustadas.

Filtro de arena: Es utilizado como elemento para filtración en un sistema de riego de fertirrigación, este tipo de filtro es utilizado donde hay contenido de material en suspensión sobre agua.

1.8.8 Selección del equipo de bombeo

Según URRESTARAZU (2008), la presión requerida para el correcto funcionamiento de los emisores en sistemas de riego localizado debe situarse alrededor de 1 kg/cm² (o entre 0,5 y 3 kg/cm² en el caso de emisores autocompensantes). De este modo, la presión al salir del cabezal de riego deberá abarcar tanto la necesaria para los emisores como las pérdidas de

carga generadas durante el paso del agua por las conducciones, que incluyen tuberías y piezas especiales. Para calcular la presión necesaria al inicio de la instalación, es esencial considerar las pérdidas ocasionadas por el propio cabezal de riego, originadas por sus componentes como filtros, válvulas, contadores, entre otros. Los fabricantes de estos elementos deben proporcionar los datos correspondientes, y en caso de no contar con esta información, los valores presentados en la **Tabla 10** pueden ser útiles para propósitos de diseño.

Tabla 10. Efectos de diseño (Urrestarazu, 2008)

Elemento del cabezal	Pérdida de carga (m)
Hidrociclón	3-5
Filtro de arena	3-5
Filtro de malla	1-3
Filtro anillas	1-3
Tanque de fertilización	1-4
Inyector hidráulico	4-5
Inyector venturi	5-20
Regulador de presión	4-6
Válvula	1-3

La presión requerida en el conjunto de bombeo, conocida también como altura manométrica total o altura total de elevación, se puede calcular mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$H_m = H_o + h_r \text{ impulsión} \pm \Delta Z$$

Donde:

- H_m = Altura manométrica total
- H_o = Altura de presión a la entrada del cabezal
- h_r impulsión = Pérdida de carga de la conducción desde la bomba hasta el cabezal
- ΔZ = Diferencia de cota entre el nivel del agua y el cabezal

1.9 Cultivo de cacao

El cultivo del cacao en Ecuador es fuente de ingreso para muchos hogares de distintas ciudades del país. Se considera al sector cacaotero de gran importancia ya que el rol que desempeña el agricultor como el comerciante es esencial para el desarrollo socioeconómico, no sólo del Cantón Milagro sino también de Ecuador. (Romero, 2016)

Según Sampson (2016), las necesidades de agua en la producción de cacao es uno de los temas técnicos menos investigados a nivel mundial. Sin embargo, dado el boom cacaotero

que vive Centroamérica y frente a un clima futuro errático para el agro (más caliente y con menos lluvia), resulta relevante explorar lo que se sabe del tema hasta hoy y las implicaciones prácticas que eventualmente tendrá en los planes nacionales de fomento cacaotero.

La necesidad de agua de la planta de cacao va del orden 1,500 a 2,500 mm. Repartidos en todo el ahajó para sectores cálidos; y de 1,200 a 1,500 en áreas más húmedas. La cifra al mes de agua es de 100mm en los meses más secos, componente a tener en cuenta en huertas que se encuentran en riego (Gavilánez, 2018).

Por otro lado (INiAP, 2012) comenta que el cacao requiere para su idóneo rendimiento una importante cuantía de agua, se cree que la planta necesita entre 1800 a 2500 mm de lluvia repartida a lo largo de todo el año.

1.9.1 Profundidad radicular

La raíz principal es pivotante y puede desarrollarse típicamente en un rango de 120 a 150 cm, llegando a alcanzar hasta 2 m en suelos sueltos. Dispone de numerosas raíces secundarias que se extienden lateralmente, siendo la mayoría de ellas (entre el 85% y el 90%) ubicadas en los primeros 25 cm de profundidad del suelo alrededor del árbol, aproximadamente en la superficie proyectada de su propia sombra. En condiciones óptimas de cultivo, las raicillas entran en contacto con la capa de mantillo que naturalmente cubre el suelo de un cacaotal (Mejía, 2014).

1.9.2 Riego

Pocas investigaciones han valorado las exigencias de agua de la planta de cacao en el campo. Hasta la fecha se notifica que una plata de cacao en época provechosa (≥ 5 años) requiere de 4-6 mm de agua/día. Tomando un valor promedio de 5 mm/día, para que una plata se desarrolle y elabore sin restricciones de agua, por lo menos un lugar tiene que obtener (Sampson, 2016).

En la época seca se recomienda efectuar un riego diario por las mañanas. Utilice 150 litros de agua para regar las bolsas requeridas para plantar una hectárea de cacao (INIAP, 2015). Las necesidades hídricas de un cultivo dependen de los aportes hídricos (precipitación efectiva y/o riego) y las pérdidas por evapotranspiración. La evapotranspiración de un cultivo corresponde a la suma de la salida de agua del sistema (el cultivo) en forma de vapor desde el suelo por “evaporación” y desde las plantas por transpiración. (Nathalia, 2018).

A continuación, la (FAO.org, 2018) presenta en la siguiente tabla el coeficiente de cultivo de cacao en sus cuatro etapas:

Tabla 11. Valores de Kc del cacao según la FAO (2018).

Cultivo	Kc			
	Inicial	Media	Final	Altura del cultivo
Cacao	1.00	1.05	1.05	3.00

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización del área

El presente estudio se realizó en la parroquia Simón Bolívar, Cantón Santa Elena, el cual cuenta con 5 hectáreas y se ubica en un punto con las siguientes coordenadas geográficas: Altitud msnm. Área (Ha.), latitud 02° 17.9' S; longitud oeste 78° 7.2'.

La zona tiene una temperatura promedio anual de 25.9 °C, 282 Km/día de precipitación y una humedad relativa del 75 %.

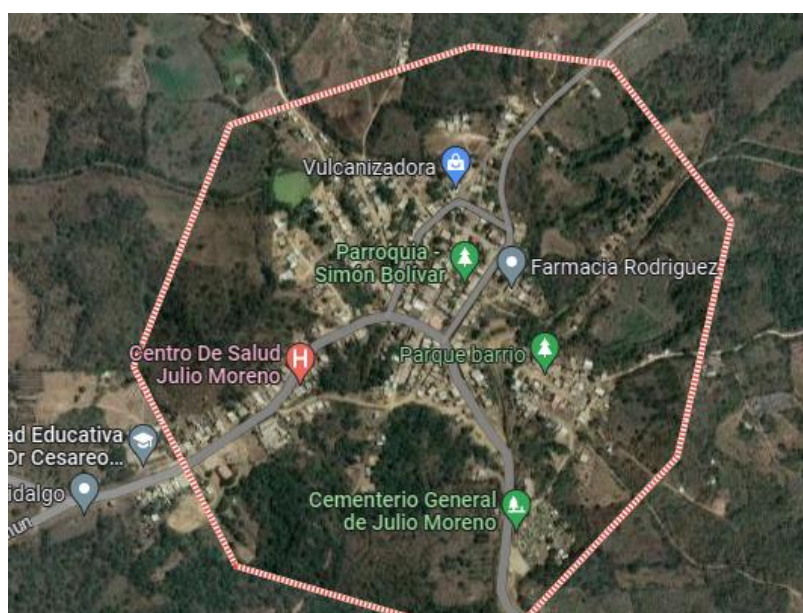


Figura 7 Parroquia Simón Bolívar (Google Maps 2023)

2.2. Materiales

2.2.1. Materiales de campo y oficina

Para la ejecución del diseño del sistema de riego, junto con las muestras de agua, suelo y topografía del terreno, se emplearon los siguientes materiales.

- Machete
- Estacas
- Cinta métrica
- Teodolito
- Mira vertical
- GPS
- Tablero
- Lápiz
- Cámara fotográfica
- Software AutoCAD
- Software Climwat 2.0
- Software Fao Cropwat
- Calculadora
- Computadora
- Catálogo de materiales de riego
- Hojas

2.3. Métodos

2.3.1. Obtención de la información meteorológica

Se realizó el diseño de riego con los datos climáticos anuales de la zona en donde se encuentra ubicada la finca, se recopiló información de la estación meteorológica guayaquil – simón bolívar, correspondiente a los últimos 5 años.

2.3.2. Características físicas y edáficas del suelo y agua en estudio.

2.3.2.1. Análisis de suelo

Realizar un análisis de suelo es un proceso esencial para comprender la salud y la composición de un suelo en particular, para realizar este análisis se utilizaron las herramientas de muestreos, recolectando un total de 11 muestras en todo el sector, para posteriormente unificar todas las muestras y enviarla a analizar en el laboratorio de suelos del instituto nacional de investigaciones agropecuarias (INIAP), el cual recibió las muestras una vez recolectadas. En la estación experimental del austro – laboratorio de manejo de suelo y aguas.

2.3.2.2. Análisis de agua

También se tuvo en cuenta la calidad del agua de riego porque afecta directamente a los cultivos y tiene tendencia a cambiar las características del suelo donde se aplica. La justificación de los estudios realizados. De acuerdo con los protocolos establecidos por el INIAP, se tomaron muestras de agua para realizar un análisis químico actualizado, que luego se envió al laboratorio antes mencionado para obtener los resultados finales que sirvieron para evaluar la calidad del agua.

2.4. Diseño agronómico

Se creó un proyecto de tecnología agrícola basado en los factores más importantes. El diseño debía tener en cuenta los requerimientos de agua y las condiciones estacionales del cultivo de cacao, así como las interrelaciones entre agua, suelo y clima para el desarrollo del proyecto.

2.4.1. Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o)

Para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o), se utilizaron los datos climáticos mensuales obtenidos de la estación meteorológica más cercana al lugar del estudio. La ecuación empleada fue la fórmula matemática de FAO Penman-Monteith, que se encuentra detallada en la publicación No. 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO:

$$ET_o = c ((W * R_n + (1 - W) * F(u) * (e_a - e_d))$$

Se empleó el programa Cropwat 8.0 siguiendo las directrices establecidas en el manual de la FAO. Para ello, se ingresaron manualmente los datos climáticos promediados correspondientes a los últimos 5 años de la estación meteorológica Guayaquil – Simón Bolívar. Estos datos permitieron obtener los valores de ET_o.

Los valores resultantes de la evapotranspiración de referencia se utilizaron posteriormente en el diseño agronómico, eligiendo el valor de ET_o más elevado como referencia

2.4.2. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo comprende dos aspectos: la evaporación del agua presente en el suelo hacia la atmósfera y la transpiración de la planta. Utilizamos el programa Cropwat 8.0 para calcular la cantidad resultante de este proceso.

Para estimar las necesidades de agua del cultivo de cacao en esta etapa, se consideró la evapotranspiración de referencia, usando el coeficiente del cultivo (K_c). Elegimos el valor más alto de K_c ya que el cultivo requiere más agua en esta fase y nuestro objetivo es satisfacer sus necesidades.

La ecuación utilizada para el cálculo fue: ET_c = K_c * ET_o.

2.4.3. Cálculo del efecto de localización

El efecto de ubicación se refiere a la superficie que está cubierta por la sombra proyectada en el suelo debido a la disposición de las plantas en filas. En este escenario, las plantas se encuentran plantadas en una fila, lo que genera una sombra sobre una superficie del suelo de aproximadamente 5000 m². Por lo tanto, se requiere calcular el factor de corrección K_l.

Para hacer lo antes mencionado, se utilizan las siguientes formulas.

$$K_l = A + 0.15(1-A) \qquad A = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot S_p}$$

Fuente: (Leitón, 1985)

2.4.4. Cálculo de las *necesidades netas* (N_n)

Para determinar las necesidades netas, se tienen en cuenta la evaporación potencial del cultivo, el efecto de localización, variación climática y la variación por advención

$$N_n = ET_c \cdot K_l \cdot K_r \cdot K_a$$

Para determinar los valores de variación climática se emplearán en el análisis estadístico consisten en los registros diarios de la cantidad de lluvia medida en milímetros (mm) como precipitación, junto con las temperaturas máximas (T_{max}) y las temperaturas mínimas (T_{min}) expresadas en grados centígrados ($^{\circ}C$). Por otro lado la variación por advención se toma en cuenta a base de la (figura 5) que posibilita la adaptación de la evapotranspiración estimada a partir de los datos iniciales, antes de la implementación del sistema de riego, en función del tamaño del terreno.

2.4.5. Cálculo de las *necesidades totales* (N_t)

Si se permite que los requerimientos de agua de los cultivos se cubran con el agua almacenada, la humedad del suelo disminuirá y es posible que el potencial hídrico se aleje de los valores óptimos. Para calcular las necesidades totales a partir de las necesidades netas, se deben considerar tres factores:

- Pérdida de agua por percolación
- Necesidades de lavado
- Falta de uniformidad del riego.

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - RL) \times CU}$$

El cálculo de los requisitos de lavado se basa en la salinidad del agua de riego y la tolerancia de los cultivos a esta salinidad. La tolerancia se refiere a la cantidad de sales presentes en el suelo que supera un cierto umbral, más allá del cual el cultivo experimenta disminuciones en su desarrollo y producción en comparación con condiciones de suelo no salino.

Este cálculo se obtiene bajo la siguiente fórmula:

$$LR = \frac{CE_i}{2CE_e}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

Una vez obtenidos los valores antes mencionados, se realizan los cálculos de las necesidades diarias por árbol y del caudal ficticio continuo, siendo utilizada las siguientes formulas:

- Necesidades diarias por árbol (NDP) = $N_t \times \text{marco de plantación}$.
- Caudal ficticio continuo (Cd) = $N_t \times 10000 / 24 \times 3600$

2.5. Prueba de campo del caudal, diámetro, profundidad del gotero

Cuando hablamos de sistemas de riego, uno de los aspectos cruciales que no debemos subestimar es el flujo de agua disponible. Para tener un entendimiento más completo de este tema, es esencial comenzar con la definición de flujo: "En el contexto de la dinámica de fluidos, el flujo se refiere a la cantidad de sustancia que atraviesa una sección de área A en una unidad de tiempo".

Cuando aplicamos esta definición al ámbito del riego, se traduce en la cantidad de agua que una fuente hídrica puede proporcionar de manera continua y suficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos.

En esta prueba, la modalidad que se usó, para medir el caudal, fue utilizando un método empírico; Esto implica tomar un recipiente cuya capacidad sea conocida, y medir el tiempo en segundos que se necesita para llenarlo por completo. La fórmula a aplicar es la siguiente: caudal = $60 \times \text{Litros del recipiente} / \text{Segundos empleados}$, lo que nos dará el resultado en litros por minuto.

Luego de haber realizado la prueba del caudal, se midió el radio de la superficie mojada y la profundidad en cm, por un lapsus de 8 horas seguidas.

2.6. Cálculo de número de emisores por planta, tiempo de riego y la separación entre emisores.

2.6.1.1. Número de emisores por planta.

Para realizar el cálculo del número de emisores por planta, primero se debe descifrar el par, el cual es el porcentaje de la superficie mojada, mismo que se expresa de la siguiente formula

$$PAR = \frac{100 \cdot e \cdot Ae}{Sp}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

Dentro de estos valores, se tiene que averiguar el área mojada por emisor (ae), la cual se haya multiplicado π por el radio al cuadrado, mismo que se encuentra señalado en la **Tabla 6**. Una vez obtenidos estos datos, se resuelve la siguiente ecuación.

$$e > \frac{Sp \times PAR}{100 \times Ae}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.6.1.2. Tiempo de riego

Se calculó la duración del riego asignada a cada subdivisión de la propiedad a través de la relación entre las necesidades totales del cultivo (N_t), dividida entre el número de emisores por planta (e) y el caudal medio por emisor (q_a), como se presenta a continuación:

$$T = \frac{N_t}{e \cdot q_a}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.6.1.3. Separación entre emisores

Un espaciado adecuado entre los emisores es esencial para evitar la subirrigación (falta de agua en algunas áreas) o la sobrirrigación (exceso de agua en otras áreas) en el cultivo, para ello descriptamos la siguiente formula.

$$S_e = r \left(\frac{e}{1} - \frac{1}{100} \right)$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.7. Lamina de riego

Se estableció la lámina de riego considerando varios parámetros del suelo en la ubicación de la investigación, como la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y la densidad aparente (D_a). Estos datos fueron recopilados luego de la obtención de muestras para el laboratorio, donde se analizaron y se obtuvieron los resultados. Utilizamos estos datos para calcular el nivel de agotamiento permisible (NAP) y, posteriormente, determinar la profundidad radicular (Pr) del cultivo de cacao.

$$HA = (CC - PMP) \times D_a \times Pr \qquad L_r = NAP \times HA$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.8. Intervalo de riego

El intervalo de riego se define como el período de descanso que ocurre entre dos sesiones de riego de manera continua. Este intervalo se determina teniendo en cuenta el tipo de cultivo, las características del suelo en la finca y las condiciones climáticas de la ubicación donde se desarrolla el proyecto. En este contexto, se considera la lámina de riego (L_r) en relación con la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

$$Fr=Lr/ETc$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.9. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico se formuló considerando diversos parámetros, incluyendo el caudal disponible para garantizar el óptimo rendimiento del sistema y las pérdidas de carga presentes. Este proceso facilitó la selección e identificación de los diámetros de las tuberías en cada sector de la finca, siguiendo los métodos hidráulicos previamente establecidos en diversos sistemas de riego.

2.9.1. Determinación de las velocidades

Se calculó la velocidad del flujo de agua en el interior de las tuberías que integran la red de distribución del sistema de riego, siguiendo la normativa que establece un límite máximo de 2 m/s, recomendando un rango óptimo de 0.8 a 1.5 m/s. La velocidad se verificó utilizando la fórmula que tiene en cuenta el caudal (Q) y el diámetro interno (D) de la tubería seleccionada por el diseñador.

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

Donde:

- V: velocidad del fluido
- Q: caudal del agua
- A: área de la sección transversal de la tubería

Además, se determinó el número de Reynolds, un factor que vincula las propiedades físicas del fluido que fluye dentro de las tuberías. Se reconoce que este número es adimensional, lo que significa que carece de unidades de medida. Está directamente vinculado con la velocidad del líquido en las tuberías (v), la longitud del conducto (L), la densidad del líquido (ρ) y, por último, la viscosidad del agua (μ).

$$Re = \frac{v \cdot L \cdot \rho}{\mu}$$

Está establecido que cuando el flujo del fluido es menor a 2,100, se considera de carácter laminar. Sin embargo, si se encuentra en el rango de 2,100 a 4,000, se denomina como transicional, y aquellos con valores superiores a 4,000 se clasifican como turbulentos.

2.9.2. Dimensionamiento de tuberías principales, secundarias y líneas de riego

En la planificación hidráulica, se realiza la configuración de la red de tuberías con el propósito de lograr una distribución uniforme del agua de riego a lo largo de cada uno de los ramales presentes en cada sector de riego. Además, el diseño está estrechamente vinculado a factores como las pérdidas de carga, la fricción, las variaciones de altura y la velocidad de transporte del agua de riego.

Los diámetros de las tuberías se ajustan con el objetivo de minimizar los costos para el agricultor.

En el diseño de las tuberías, se consideran diversos parámetros, como el caudal disponible del sistema, la ubicación de los puntos de entrada y salida de las tuberías, las condiciones específicas del lugar donde se instala el sistema, así como los diámetros internos y externos de las tuberías principales y secundarias (Galdiano, 2016).

2.9.3. Determinación de la tolerancia de caudales y presión

2.9.3.1. Caudal

Se determinó la tolerancia de caudales, considerando el coeficiente de uniformidad (CU), el flujo del aspersor (Qa), el coeficiente de variación (Cv) proporcionado en la ficha técnica del emisor seleccionado y, por último, el número de aspersores (e).

$$Cns = \frac{Cu \cdot Qa}{1 - 1.27 \cdot Cv \cdot e^{-1/2}}$$

La evaluación de la tolerancia de caudales se basó en varios factores. Cuando el coeficiente de uniformidad es alto, los costos administrativos durante la instalación del sistema tienden a ser más elevados. Se busca minimizar las alteraciones en el caudal ajustando las presiones hasta lograr uniformidad. Por esta razón, se sostiene que, a distancias mayores, el diámetro de las tuberías utilizadas en el sistema debe ser menor.

2.9.3.2. Tolerancia de presiones

La cantidad de pérdida de presión permitida en el sistema de riego, que incluye tanto las tuberías principales como las laterales, depende del número de diámetros de conductos utilizados en la instalación y de la disparidad entre la presión máxima y mínima observada en los emisores con el caudal más alto y más bajo, respectivamente (Latorre, 2011).

$$Hn = Ha = \left(\frac{Qns}{Qa} \right)^{1/x}$$

Donde:

- Hn: tolerancia de presiones
- Ha: presión nominal del emisor
- X: exponente de descarga del emisor
- Qns: tolerancia de caudales
- Qa: caudal del emisor

2.9.4. Pérdidas de cargas

2.9.4.1. Pérdidas por fricción

El flujo a través de la tubería principal, secundaria, laterales y accesorios (codos, conectores, etc.) experimenta mayores pérdidas de carga a medida que avanza. Un diseño deficiente puede resultar en pérdidas considerables, y para calcular estas pérdidas se empleó la fórmula de Darcy-Weisbach. Esta fórmula se basa en el caudal, el factor de fricción (f), la longitud de la tubería de riego (l), el diámetro interno de la tubería (D), la velocidad de circulación (v) y, finalmente, la gravedad (g).

$$hf = Q * f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

2.9.4.2. Desniveles

Se consideró la diferencia de altitud presente en cada área del terreno a través de las curvas de nivel. La presencia de pendientes tiende a influir en la velocidad del flujo de agua, pudiendo aumentarla o disminuirla. Por lo tanto, la disposición de las tuberías puede ser a favor o en contra de estas pendientes.

2.9.5. Cálculo de la potencia de la bomba

En el cálculo de la bomba se consideraron diversos factores, como el caudal que entra al sistema (Q), la suma total de las pérdidas de carga dentro de todos los sectores de riego (H), y finalmente, este resultado se dividió por la eficiencia asignada a las bombas de los sistemas de riego (Ep).

$$N = Q.H/Ep$$

Se tomaron en cuenta las siguientes pérdidas de carga al calcular la potencia de la bomba:

Tabla 12. Cálculo del TDH

Carga H
Presión del emisor
Perdida de carga de laterales
Perdida de carga en secundaria
Perdida de carga en principal
Perdida de carga en válvulas y accesorios
Perdida de carga en succión
Desnivel de reservorio eje de bomba

2.10. Representación del diseño en el plano

Se examinó el plano topográfico de la finca donde se llevó a cabo la planificación del sistema de riego utilizando la herramienta gráfica AutoCAD. Se presentaron las siguientes consideraciones:

- Configuración topográfica del terreno.
- Disposición del cabezal, red de riego y los emisores, desde el pozo hasta los diferentes sectores.
- Medidas y trazado de cada una de las tuberías principales y secundarias.

A continuación, en la Figura 8 se ilustra el estado actual de la finca donde se desarrolló el diseño hidráulico para el cultivo de cacao:

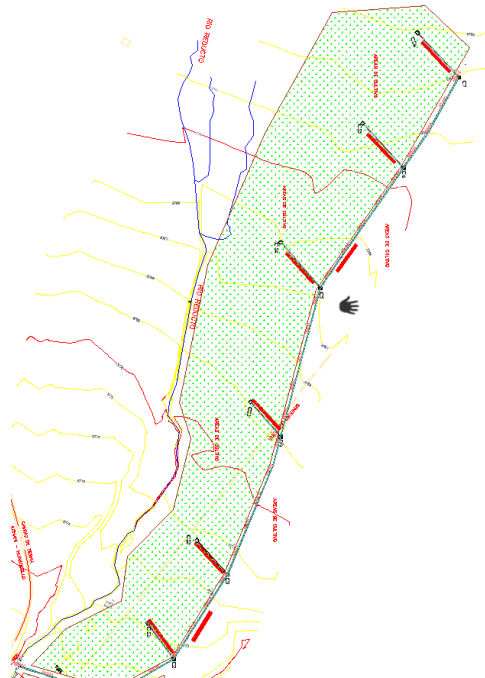


Figura 8 Plano de la finca tomada como base para el diseño del sistema de riego

3. CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Información esencial para el diseño de un sistema de riego por goteo

3.1.1. Resultados de la información meteorológica

La información de la estación meteorológica guayaquil – simón bolívar, correspondiente a los últimos 5 años se muestran a continuación:

Tabla 13. Datos climatológicos de la zona, fuente (climwat of Cropwat)

Mes	Min t	Max t	Humedad	Lluvias	Sol	Rad.	ETo
	°C	°C	%	Km/día	Horas	Mj/m ² /día	Mm/día
Enero	22.4	30.9	75	242	3.8	15.1	4.06
Febrero	22.8	30.7	80	207	4.3	16.3	3.91
Marzo	23.0	31.3	80	225	4.8	17.1	4.16
Abril	22.9	31.3	77	233	5.1	16.8	4.24
Mayo	22.1	30.8	76	233	5.4	16.2	4.13
Junio	21.1	29.2	77	259	4.3	14.1	3.66
Julio	20.3	28.6	76	302	4.4	14.5	3.73
Agosto	19.9	29.4	75	346	4.8	15.9	4.30
Septiembre	20.2	30.0	74	337	5.4	17.6	4.67
Octubre	20.7	29.8	73	354	4.4	16.3	4.61
Noviembre	21.1	30.2	71	328	4.2	15.7	4.60
Diciembre	22.0	31.0	69	311	4.7	16.2	4.80
Prom.	21.5	30.3	75	282	4.7	16.0	4.25

3.1.2. Resultados de las características físicas y edáficas del suelo y agua en estudio.

3.1.2.1. Análisis de suelo

La información del suelo que se muestra a continuación se deriva de los resultados de las muestras que fueron analizadas en la estación experimental del austro, laboratorio de manejo de suelo y aguas, la cual está vinculada a las propiedades de la finca en la que se llevó a cabo la investigación.

Tabla 14. Datos de suelo, Fuente: (INIAP, estación experimental del austro)

Parámetros	Valor	Unidad de medida	de Interpretación
Textura (arena – limo - arcilla)	26 – 33- 41	%	Arcilloso
Capacidad de campo (cc)	0.37	%	Normal
PH	6.7	%	Parcialmente neutro
Mo (materia orgánica)	2.40	%	Bajo
Punto de marchitez permanente (pmp).	0.23	%	Normal (sin restricción)
Densidad aparente	1.23	G/cm ³	
Velocidad de infiltración	12.00	Mm/h	Normal
Ce	0.85	Ds/m	Normal (sin restricción)

3.1.2.2. Análisis de agua

De acuerdo con los protocolos establecidos por el INIAP, se tomó una muestra de agua para realizar un análisis químico actualizado, que luego se envió al laboratorio antes mencionado para obtener los resultados finales que sirvieron para evaluar la calidad del agua, mismos que se muestran a continuación.

Tabla 15. Datos de agua, Fuente: (INIAP)

Parámetros	Valor	Unidad de medida	de Interpretación
CE	0.23	mS/cm	Normal (N)
T (Turbidez)	65	FAU	Normal
RAS	0.57	(meq/l)	Normal
pH	5.8	mg/l	Severa restricción en el uso
HCO ₃			
SO ₄			
Ca	12.3		
Mg	4.2		Normal
Na	9.2		
K	0.7		
Cl	21.3		
Fe	1.36		Puede causar restricciones

3.1.3. Cálculo de la evapotranspiración potencial (eto)

Se recopiló datos de la estación meteorológica de la finca durante los doce meses, desde enero hasta diciembre. Estos datos se utilizaron para calcular la evapotranspiración de referencia (eto) mensual y el promedio anual del cultivo de cacao mediante el software Cropwat, que emplea la ecuación matemática de la FAO penman-monteith.

$$Eto = c ((w * rn + (1 - w) * f(u) * (ea - ed))$$

A continuación, se muestran los resultados ingresados en el programa Cropwat 8.0.

Climate/ETo	Country	Location 54		Station	GUAYAQUIL-SIMON-BOLI			
	Altitude	9	m.	Latitude	2.15	°S	Longitude	79.88
	Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
		°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
Rain	January	22.4	30.9	75	242	3.8	15.1	4.06
	February	22.8	30.7	80	207	4.3	16.3	3.91
	March	23.0	31.3	80	225	4.8	17.1	4.16
Crop	April	22.9	31.3	77	233	5.1	16.8	4.24
	May	22.1	30.8	76	233	5.4	16.2	4.13
	June	21.1	29.2	77	259	4.3	14.1	3.66
	July	20.3	28.6	76	302	4.4	14.5	3.79
Soil	August	19.9	29.4	75	346	4.8	15.9	4.30
	September	20.2	30.0	74	337	5.4	17.6	4.67
	October	20.7	29.8	73	354	4.4	16.3	4.61
CWR	November	21.1	30.2	71	328	4.2	15.7	4.60
	December	22.0	31.0	69	311	4.7	16.2	4.80
	Average	21.5	30.3	75	282	4.7	16.0	4.25

Figura 9 Referencia Cropwat

Para planificar el diseño agronómico, se tomó en cuenta el mes de mayor demanda de evapotranspiración de referencia, que fue marzo con 4.80 mm por día, junto con un promedio anual de 4.25 mm por día.

3.1.4. Kc del cultivo de cacao

El cultivo de cacao, de acuerdo con la FAO en 2018, tiene un coeficiente de cultivo (Kc) de 1 en la etapa inicial, 1.05 en la etapa media y 1.05 en la etapa final. Para el diseño agronómico, se consideró el valor máximo del Kc, que es 1.05, ya que representa la etapa en la que el cultivo necesita la mayor cantidad de agua y debe satisfacer esas necesidades.

3.1.5. Cálculo del ETc del cultivo

Una vez determinadas las necesidades de agua del cultivo de cacao y tomando el valor de evapotranspiración potencial (ETo) y usando el coeficiente del cultivo (Kc). La ecuación utilizada para el cálculo fue:

$$ETc = Kc * ETo$$

$$ETc = 1.05 * 4.80$$

$$ETc = 5.04$$

3.1.6. Prueba de campo para un gotero de 3 lph

La tabla 20 exhibe los momentos en los cuales se llevó a cabo la evaluación de campo el aumento del volumen, radio y la profundidad del bulbo húmedo para un gotero de 3 lph.

Tabla 16. Resultado de prueba de campo de volumen, diámetro y profundidad.

Horas	Volumen (m3)	Aumento del volumen (m3)	Radio (m)	Aumento del radio (cm)	Profundidad (m)	Aumento de la profundidad (cm)
1	3	-	0.40	-	0.15	-
2	6	3	0.46	6	0.32	17
3	9	3	0.50	4	0.47	15
4	12	3	0.59	9	0.65	18
5	15	3	0.67	8	0.73	8
6	18	3	0.75	8	0.87	14
7	21	3	0.82	7	0.98	11
8	24	3	0.90	8	1.15	17

3.1.7. Datos de la boquilla para el diseño de riego

A continuación, se detallan las especificaciones de la boquilla que se empleó en la creación del diseño agronómico, así como para calcular los tiempos de riego, la cantidad de agua distribuida por hectárea y el alcance del diámetro.

Tabla 17: Datos de la boquilla (*Netafin, 2019*)

DRIPNET PCTM	
Presión de boquilla (Bar)	3.5
Caudal	3.00
Diámetro	0.70 m

3.2. Diseño agronómico

A continuación, se describen en detalle todos los elementos considerados al desarrollar un plan agronómico para el cultivo de cacao en el sistema de riego por goteo.

3.2.1. Cálculo del *efecto de localización*

El resultado del cálculo del efecto de la localización en un sistema de riego por goteo es 0.817, teniendo en cuenta que la fracción de área sombreada nos dio un valor de 0.78 = A

$$Kl = A + 0.15 (1 - A)$$

$$Kl = 0.78 + 0.15 (1 - 0.78) = 0.817$$

$$A = \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}{Sp} = \frac{\frac{3.1416 \times 3^2}{4}}{3 \times 3} = 0.78$$

3.2.2. Cálculo de las *necesidades netas (Nn)*

Teniendo en cuenta que los resultados de la evaporación potencial del cultivo (ETc), el efecto de localización (Kl), variación climática (Kr) y la variación por advención (Ka) son:

$$Nn = ETc \cdot Kl \cdot Kr \cdot Ka \quad \text{=====} \quad Nn = 5.04 \times 0.817 \times 1.20 \times 0.94$$

El resultado de las necesidades netas es de 3.95 mm/día.

Según el análisis realizado de las necesidades netas de agua para el cultivo de cacao en la región, estas ascienden a 3.95 mm, considerando las condiciones climáticas y el tipo de suelo. Estos valores están por arriba de la precipitación media anual en la región, lo

que sugiere que el cultivo podría no satisfacer sus necesidades de agua mediante la lluvia, requiriendo un riego adicional.

3.2.3. Cálculo de las necesidades totales (Nt)

El cálculo del requerimiento de lavado, dio como resultado un valor de 0.01, lo que indica que se requiere lavar el suelo con una cantidad de agua que es el 1% de la cantidad de agua aplicada al suelo. Con este valor obtenido el cálculo de necesidades totales para cada planta de cacao asciende a 4.43 mm/día.

Una vez obtenidos los valores antes mencionados, se realizan los cálculos de las necesidades diarias por árbol y del caudal ficticio continuo, las cuales dieron como resultado

- Necesidades diarias por árbol (NDP) = 39.83 litros.
- Caudal ficticio continuo (Cd) = 0.51 l/s/ha

3.2.4. Cálculo de número de emisores por planta, tiempo de riego y la separación entre emisores.

3.2.4.1. Número de emisores por planta.

Para el efecto se considera un porcentaje de superficie mojada (PAR) de 50%. Al sustituir estos valores en el cálculo, se obtiene que el número de emisores por planta asciende a 1.99, aproximadamente igual a 2.

3.2.4.2. Tiempo de riego

Se calculó la duración del riego asignada a cada subdivisión de la propiedad lo que dio como resultado del tiempo de riego para el cultivo de cacao es de 6 horas y 64 minutos, lo que equivale a un total de 7 horas y 4 minutos, dejando el resultado en 7 horas.

3.2.4.1. Separación entre emisores

Un espaciado adecuado entre los emisores es esencial para prevenir tanto la subirrigación (escasez de agua en ciertas zonas) como la sobrirrigación (exceso de agua en otras zonas) en el cultivo. El resultado de la separación entre emisores se establece en 0.68 metros, lo

que contribuye a una distribución equilibrada del riego y evita desequilibrios en la disponibilidad de agua en el área de cultivo.

3.2.4.4. Intervalo de riego

El intervalo de riego representa el lapso de tiempo durante el cual se realiza un turno de riego, evitando situaciones de estrés hídrico en los cultivos. Se adoptó un intervalo de 7 días, basado en la lámina de riego aplicada y la evapotranspiración máxima del cultivo. Según (Chonillo, 2019) este intervalo corresponde al tiempo entre dos riegos sucesivos, para este estudio se eligió un valor de 1 días para garantizar el suministro adecuado de agua al cultivo.

3.2.4.5. Caudal por hectárea

Se determinó el caudal por hectárea al conocer el flujo del emisor seleccionado por el diseñador, que en este caso es el modelo DRIPNET PC TM. Se calculó en función de la distancia entre cada uno de los emisores y aspersores. (Chonillo, 2019) señala que, para controlar el agua aplicada en la superficie del suelo, se debe considerar la relación entre el caudal y el tiempo de los aspersores. En este contexto, la relación resultó en un valor de 4.08 litros por segundo, indicando la cantidad de agua aplicada sobre la superficie del terreno.

$$Q_{ha} = \frac{10000 \times 0.000833 \text{ l/s}}{0.68 \times 3} = 4.1 \text{ l/s}$$

3.2.4.6. Área del Sector de Riego:

Se dividió el área del sector de riego por la cantidad de agua disponible en el sistema, este enfoque requiere conocer la ubicación de la fuente de agua para el riego de una superficie específica. Después de establecer el caudal proporcionado o disponible por hectárea, se determinó el área irrigada en cada turno, resultando en un total de 3.5 hectáreas por sector.

3.2.4.7. Número de Sectores de Riego:

La finca tiene una extensión total de 7 hectáreas. Se dividió esta extensión en sectores de riego de 3.5 hectáreas cada uno, obteniendo un total de 2 sectores.

3.2.4.8. Área del Bloque:

Los sectores de riego se subdividieron considerando el área total de la finca y el número de sectores previamente calculados. Se determinó una dimensión de 1.75 hectárea por bloque o unidad básica de riego, resultando en un total de 2 bloques por cada sector de riego.

3.2.4.9. Caudal del Bloque:

Para obtener el caudal del bloque se multiplica el caudal por hectárea por el área del bloque de 7.12 l/s

$$Q_b = 4.1 \frac{l}{s} \times 1.75 = 7.12 \text{ l/s}$$

3.2.4.10. Caudal del Sector de Riego:

El caudal del sector de riego se determinó utilizando el caudal del bloque y se multiplicó por el número de bloques por sector obteniendo 14.24 l/s.

$$Q_{sr} = 7.12 \times 2 = 14.24 \text{ l/s}$$

3.2.5. Resumen de los cálculos del diseño agronómico

A continuación, se presenta el diseño agronómico meticulosamente elaborado, que incluye un resumen detallado de los cálculos esenciales para garantizar el correcto desempeño del sistema de riego. Este diseño asegura el suministro preciso de la cantidad necesaria de agua, satisfaciendo de manera óptima los requisitos específicos en cada una de las fases vegetativas del cultivo.

Tabla 18. Resumen - diseño agronómico

Diseño agronómico – Riego por goteo		
Descripción	Cantidad	Unidades
Evapotranspiración potencial (ET _o)	4.80	mm
Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	5.04	mm
Efecto de localización (K _l)	0.817	-
Necesidades netas (N _n)	3.95	mm/día

Necesidades totales (Nt)	4.43	mm/día
Emisor por planta	2	-
Tiempo de riego (t)	7	Horas
Separación entre emisores (Se)	0.70	cm
Intervalo de riego (Ir)	1	días
Distancia entre línea (L)	3	m
Caudal por ha (Qha)	4.1	l/s
Numero de sectores (# Sr)	2	-
Área del sector (Asr)	3.5	Ha
Numero de bloques por sector (# Bsr)	2	-
Área del bloque (Ab)	1.75	Ha
Caudal del bloque (Qb)	7.12	l/s
Caudal del sector (Qsr)	14.24	l/s

3.3. Diseño hidráulico

En la fase inicial del diseño hidráulico para el sistema de riego por goteo, se priorizó la planificación detallada de la distribución de las líneas de goteo en cada bloque. Este enfoque incluyó la consideración meticulosa de diversos aspectos para mantener y mejorar la eficiencia del sistema, llegando a la conclusión de que se ocuparan las cintas de riego casa 3 metros de distancia entre líneas.

3.3.1. Datos del emisor

Además, de acuerdo con la información proporcionada por el catálogo de productos de (Netafin, 2019), el gotero que mejor se adaptó a los requisitos del diseño agronómico fue identificado como el modelo DRIPNET PCTM. Este gotero integral compacto auto compensado con mecanismo de autolimpieza continua opera a una presión de trabajo de 3.5 bares y un caudal de 3 litros por hora.



Figura 10 Modelo de gotero

3.3.2. Trazado del diseño en el plano

En el diseño del sistema de riego por goteo para el cultivo de cacao, se optimizó la eficiencia adaptando las formas y dimensiones de cada bloque a las curvas de nivel del terreno como se muestra a continuación (figura 11).

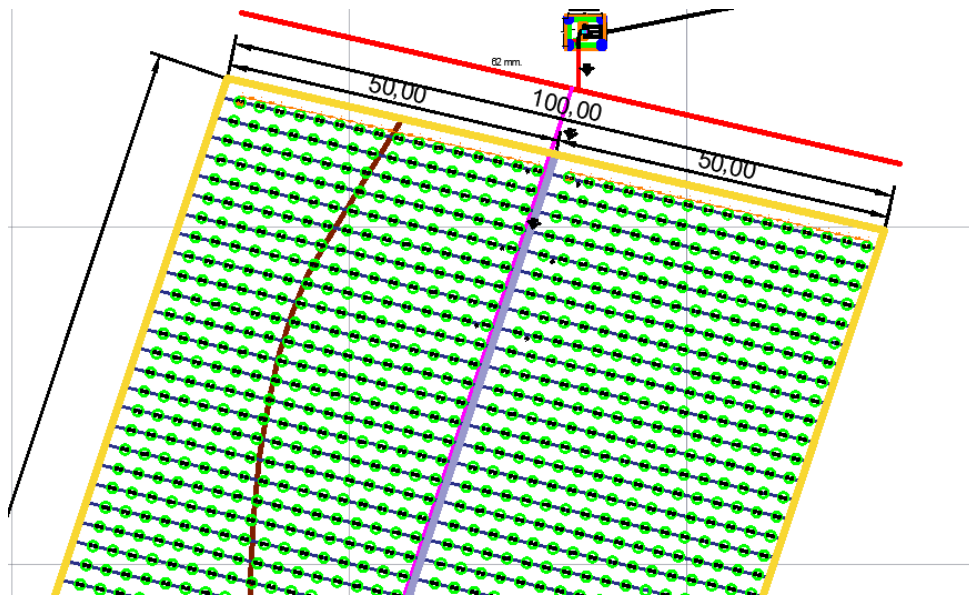


Figura 11 Bloque del sistema de riego (AB1)

- Línea principal
- Línea secundaria
- Líneas laterales o terciarias
- * Aspersores
- Arboles

en la Figura 11 se observa la separación del bloque AB1 y su disposición en el campo. La finca tiene una extensión total de 7 ha, la cual se dividió en 2 sectores, cada uno tiene 2 fraccionamientos con un área de 1.75 ha cada uno, es decir el terreno tiene una extensión total de 4 bloques.

3.3.3. Tolerancia de caudales

Para determinar la tolerancia de los caudales, se aplicó la ecuación mencionada anteriormente, resultando en un valor de 0.54.

Además, se siguió la normativa establecida, la cual dicta que la diferencia máxima de caudal entre los aspersores en un mismo lateral debe ser inferior al 10% del caudal nominal del emisor seleccionado, como se evidencia a continuación:

$$0.54 * 0.10 = 0.054$$

3.3.4. Déficit del caudal

El "déficit de caudal" en riego ocurre cuando la cantidad de agua suministrada a un sistema de riego no satisface las necesidades de las plantas. Esto puede deberse a varios factores, como planificación inadecuada, obstrucciones o escasez de agua. Gestionar este déficit implica ajustar la eficiencia del sistema y la programación de riego para asegurar un suministro adecuado de agua a las plantas, el resultado obtenido de este cálculo es de 30.21m, la fórmula utilizada es la siguiente.

$$\text{déficit del caudal} = \text{Caudal Necesario} - \text{Caudal Suministrado}$$

3.3.5. Tolerancia de presiones

- Tolerancia de Presiones (T): 1.4 kg/cm²
- Presión Máxima: 17 kg/cm²

Estos valores representan las tolerancias de presión para el sistema de riego por goteo. La tolerancia de presión es la variación permitida en la presión del agua dentro del sistema sin afectar su rendimiento. En este caso, el sistema puede operar dentro de un rango de 1.4 kg/cm² a 17 kg/cm², asegurando que la presión se mantenga dentro de estos límites para un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de riego por goteo.

3.3.6. Velocidades recomendadas del fluido

Para el riego por goteo, las velocidades recomendadas del fluido generalmente se refieren a la velocidad del agua a medida que fluye a través de las tuberías del sistema. Para calcular la velocidad del fluido en riego por goteo, se utilizó la siguiente formula.

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

Donde:

- V: velocidad del fluido
- Q: caudal del agua
- A: área de la sección transversal de la tubería

Es importante ajustar la velocidad del fluido según las necesidades específicas de tu sistema de riego por goteo, considerando factores como el tipo de emisores, la longitud

de las líneas laterales y la topografía del terreno. Consultar las recomendaciones del fabricante y tener en cuenta las condiciones locales también es fundamental para optimizar la eficiencia del riego por goteo.

3.3.7. *Dimensión de tubería principal*

El diámetro resultante para la tubería principal en el sistema de riego por goteo es de 62 mm, considerando la **Tabla 19** mostrada a continuación, el valor final es de 2 pulgadas.

Tabla 19. Equivalencias del diámetro de tubería principal o primaria (*Galdiano, 2016*).

Equivalencias	
mm	Pulgadas
20	1/8
25	1/6
32	1/4
40	1
50	1/2
63	2
75	2/1
90	3

Este valor indica el tamaño o grosor de la tubería utilizada como conducto principal para transportar el agua desde la fuente hasta las líneas de goteo, asegurando un adecuado flujo y suministro de agua para el sistema de riego.

3.3.8. *Dimensión de tubería secundaria*

Para determinar los diámetros de las tuberías laterales, se procedió inicialmente a examinar los cambios de elevación presentes en la topografía de la finca destinada a la instalación del sistema de riego. Se dispusieron las líneas de riego en el plano, manteniendo una separación de 3 metros entre ellas y una distancia de 70 centímetros entre los emisores, según lo especificado en el diseño agronómico.

El diámetro obtenido para la tubería secundaria en el sistema de riego por goteo es de 150 mm. Lo cual según la **Tabla 19** equivale a 1/2 pulgadas. Este valor representa el tamaño de la tubería que distribuye el agua desde la tubería principal hacia las líneas de goteo individuales. La elección de un diámetro específico para la tubería secundaria es crucial para garantizar una distribución eficiente del agua a lo largo del sistema de riego por goteo.

3.3.9. Líneas de riego

En el sistema de riego por goteo, las líneas están dispuestas con un espaciado de 3 metros entre ellas. En una extensión de 1,75 hectáreas, se ha establecido un total de 58 líneas por bloque y 232 líneas de riego en el área. Este diseño busca optimizar la distribución del agua y la cobertura del área cultivada, asegurando una aplicación eficiente y uniforme del riego en toda la superficie.

3.3.9.1. Bomba a utilizar

Se ha seleccionado el modelo LPG 1a - 1,6 Hp con una velocidad de 7500 rpm para la bomba a utilizar. Este modelo específico de bomba proporciona una potencia de 1,6 caballos de fuerza y opera a una velocidad de 7500 revoluciones por minuto (rpm). La elección de esta bomba se basa en consideraciones de rendimiento y capacidad para satisfacer los requisitos específicos del sistema de riego.



Figura 12 Bomba (Netafin, 2019).

3.3.9.2. Cabezal del sistema de riego

El cabezal del sistema de riego por goteo se especifica en 35 metros, con una sucesión de 3 metros y un caudal de 3 litros por segundo. Estos valores indican la altura a la que la bomba debe elevar el agua para garantizar un flujo eficiente a lo largo del sistema de riego por goteo. La sucesión de 3 metros se refiere a la distancia horizontal entre las líneas de goteo, mientras que el caudal de 3 litros por hora representa la cantidad de agua suministrada por el sistema en cada unidad de tiempo.

3.3.10. Sistema de riego

En el sistema de riego, se han dispuesto un total de 33 goteros por línea, dando un total de 7656 goteros para el área total de la finca. Esta configuración determina la cantidad

específica de emisores de agua en cada línea del sistema de riego, contribuyendo a la distribución controlada y uniforme del agua a lo largo de la superficie cultivada.

3.3.10.1. Sistema de filtrado

La capacidad del sistema de filtrado para el riego por goteo es de 105,468 litros por hora (L/h). Esta cifra indica la cantidad de agua que el sistema de filtración puede procesar y purificar en una hora, asegurando una adecuada calidad del agua utilizada en el sistema de riego por goteo. La eficacia del filtrado es esencial para prevenir obstrucciones y garantizar el óptimo funcionamiento de los emisores de agua en el sistema de riego.

3.3.10.1.1. Pérdida de carga

La pérdida de carga en el sistema de riego por goteo se establece en 2 metros de columna de agua (m.c.a). Este valor indica la reducción en la presión del agua a medida que fluye a través del sistema de riego por goteo. La pérdida de carga es una consideración importante para garantizar un flujo adecuado y una distribución uniforme del agua a lo largo de las líneas de goteo en el sistema.

3.3.10.1.2. Electroválvula

La electroválvula presenta una resistencia de 1,15 metros de altura de columna de agua (hf). Esta medida indica la presión adicional que la electroválvula introduce al sistema de riego. Es esencial tener en cuenta esta altura de columna de agua para asegurar una presión adecuada y un flujo eficiente del agua a través del sistema de riego.

3.3.12.2. Sistema de impulsión

El sistema de impulsión tiene una capacidad de generar una altura de columna de agua (m.c.a) de 103,206 metros. Este valor representa la fuerza que el sistema puede proporcionar para impulsar el agua a través del sistema de riego.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El diseño agronómico del cultivo de cacao ha sido desarrollado teniendo en cuenta las condiciones climáticas específicas de la ubicación de la finca, así como los datos de suelo y agua obtenidos a través de análisis realizados por el laboratorio INIAP.

Se han determinado las distancias para las líneas de riego y aspersores, así como el caudal que se ha distribuido en cada bloque del sistema. Es relevante destacar que la finca se ha dividido en dos sectores de riego, cada uno con dos bloques, cada bloque con una dimensión de 1.5 hectáreas. Además, se ha establecido un tiempo de riego de 7 horas para cada sector.

Ha sido llevada a cabo la planificación hidráulica del sistema de riego por goteo, comenzando con la selección del emisor, que ha emitido un caudal de 3 litros por hora y ha operado a una presión de 3.5 bares. En consecuencia, se ha calculado el diámetro adecuado para las tuberías en las líneas primarias, secundarias y laterales, considerando varios parámetros. Se ha asegurado de que las velocidades en cada tramo no hayan superado los límites establecidos, manteniéndose por debajo de 2 m/s. Además, se ha garantizado que las variaciones de presión hayan sido superiores a la presión de entrada y dentro de la tolerancia establecida.

Recomendaciones

- Seleccionar el gotero más adecuado para cumplir con los requisitos del sistema de riego, considerando los parámetros detallados en cada manual proporcionado por la empresa comercial.
- Ubicar las líneas de riego lateralmente a lo largo de las pendientes presentes en el terreno de la finca al llevar a cabo el diseño hidráulico. De esta manera, se reducirán al mínimo las pérdidas de carga en el sistema de riego.
- Considerar los criterios predefinidos al desarrollar el diseño hidráulico, asegurándose de que las velocidades del sistema no superen los 2 m/s. Siempre verificar que tanto la presión de entrada como la tolerancia de presiones sean inferiores a las variaciones de presión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Macas, H., (2021). *Incidencia del intervalo de riego en sistema de irrigación subfoliar, aplicando fertirriego y fertilización edáfica en la producción de banano. Machala, Ecuador*. Trabajo de titulación,: UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias.

Arlette, M., 2012. "Mecánica de fluidos: viscosidad y turbulencia". Instituto Tecnológico. Costa Rica

Cadavid, V. C., 2020. Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Marie Poussepin, Bogotá : Universidad Católica De Colombia.

Can-Chulim, Á., Héctor, O., Edgar, S., Elia, C., (2014). "Calidad del agua para riego en la Sierra Norte de Puebla México", Puebla- México, Artículo técnico de la Universidad Autónoma de Nayarit.

Flor, C., Cátedra de Fisiología Vegetal Facultad de Agronomía. (2020) *Las plantas y el agua*. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/users/batista/EE/papers/agua.pdf> Consultado: 13 de octubre de 2023.

Casanova, L. (2002) *Topografía plana*. Disponible en: <https://es.slideshare.net/davidchacnaarraya/libro-de-topografa-plana-leonardo-casanova>. Consultado: 24 de julio de 2023.

Cenicaña, A. (2015) *Evapotranspiración del cultivo*. Disponible en: <https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/> Consultado: 13 de mayo de 2023

Chonillo, J. (2019). *Diseño de un sistema de riego por aspersion en el cultivo de banano para la finca "El Garrido" ubicada en Calichana, cantón Pasaje, provincia del Oro*. Disponible en : <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6363/1/UPSE-TIA-2021-0079.pdf> Consultado: 24 Noviembre de 2023.

Corado, M. (2014). *Evaluación de cuatro láminas de riego por goteo sobre el rendimiento en el cultivo de plátano; moyuta, jutiapa, sede regional de jutiapa: universidad rafael landívar*. Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/03/Corado-Maximino.pdf>. Consultado: 15 de agosto de 2023.

Cortijo, M.J., 2014. "Capítulo 1. Agronomía del riego" *Introducción al riego*. Primera edición. Valencia espana: universidad politecnica de valencia, pp 7-95.

Delgado, Amaya, M. A. (2019) *Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia fdr, en el cultivo de banano, Machala*. Ecuador. Tesis. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala.

FAO. (2019) *Propiedades Biológicas, Portal de suelos de la FAO*. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>. Consultado: 08 de octubre de 2023.

FAO. (2002) *Mejora de la aricultura de regadío, Agua y Cultivos*. Disponible en: <https://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s10.htm> Consultado: 08 Junio 2023.

FAO. (2016) *Levantamientos Topográficos, Planimetría*. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s07.htm. Consultado: 22 de septiembre de 2023.

FAO. (2018) *Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar*. Disponible: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>. Consultado : 29 junio 2022.

FAO. (2023) *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Ecuador en una mirada, FAO en Ecuador, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Disponible en: <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/> Consultado: 13 de agosto de 2023.

FAO. (2012) *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura, La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i1688s/i1688s.pdf>. Consultado: 04 de octubre de 2023.

FAO. (2012) *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*, s.l.: F shaxson, R barber.

FAO, 2014. *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/fr/c/6180fe75-f5b0-5702-a5f8-fd7de914d2c1/>. Consultado en: 15 de marzo de 2023.

Galdiano, M., 2016. *Instalador/ mantenedor de riego por goteo*. Editorial ICB. Segunda edición. ProQuest Ebook Central.

Gavilánez, Freddy & Chica, S. (2018). "Método del cenirómetro como alternativa de programación de riego por aspersion en cacao", Congreso Nacional de Riegos. Valladolid, España, pp 45-50.

- Georgi Pardo, R. (2011) *Diseño de módulo tipo de riego por goteo para cultivos hortícolas en san vicente de loja, cantón santa elena*. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Gómez, J., Bernal, R., Rodríguez, M. (2015) "Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala", *Revista Académica de la Universidad Autónoma de Yucatán*, Mexico, pp. 39-50.
- González, M. V., 2016. *Introducción a la evaporación: teoría y operación en planta piloto*, Primera edición., Las Palmas de Gran Canaria.: Servicio de Publicaciones y Difusión Científica.
- Goyal, M. (2015) *Elementos de agroclimatología*, UNISARC Colombia. Disponible en: http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/agroclimatologia.pdf. Consultado: 11 de mayo de 2023.
- Guerrero, León, C. E. (2021) *Caracterización De Sistemas De Riego Por Mini Aspersión Y Aspersión Convencional En Cultivo De Cacao (Theobroma Cacao) Sector Limoncito, Guayas., Guayaquil – Ecuador*. Tesis Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria Del Ecuador.
- Hidromec. (2018) Como funciona una bomba de agua. Disponible en: <https://hidromecingenieros.com/que-es-una-bomba-de-agua/>. Consultado: 09 de agosto de 2023.
- Holzappel, E. (2000) *Riego por goteo y microjet*, Chillan. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/28569>. Consultado 10 de agosto de 2023.
- INIAP. (2012) *establecimiento y manejo de una plantación de cacao*. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/27635183/establecimiento-y-manejo-de-una-plantacion-de-cacao>. Consultado: 16 de julio de 2023.
- INIAP. (2015) *Manejo técnico del cultivo de cacao en Manabí*. Manual no. 75 Manabí. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4875>. Consultado: 22 de agosto de 2023.
- INTAGRI. (2016) Riego por goteo para el cultivo de cítricos. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/frutales/riego-por-goteo-para-el-cultivo-de-citricos>. Consultado: 04 de septiembre de 2023.
- Lara, P. (2019) *Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) del pimiento (Capsicum annum L.) en función a la evapotranspiración real en comparación con el Kc teórico*. Tesis. Facultad de ciencias agrarias. Universidad técnica estatal de Quevedo del Ecuador.

- Latorre, J., 2011. Aplicación de tecnología de filtración en múltiples etapas con sistemas de riego localizado de alta frecuencia. Programa Editorial Universidad del Valle. Primera edición impresa. 2011. ProQuest Ebook Central.
- Lizarazo, R. B., 2000. *Riegos y drenajes* Primera edición., Bogotá, Colombia.: Ediciones Universidad Santo Tomas.
- Mejía Gualpa, F. O. (2014) *diseño de un proyecto de riego por goteo y microaspersión para el cultivo de cacao en el congoma, Santo Domingo de los Tsáchilas*. Tesis. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Mejia, P. (2012) *Implementacion de un control de riego para un cultivo protegido de tomate en el cantón salcedo*. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4562>. Consultado 30 de abril de 2023.
- Miranda, L. (2022) *Calidad química del suelo y aguas de riego en suelo de tipo Fersialítico Pardo Rojizo Típico*. La Habana : Editorial Universitaria. Disponible en: <https://elibro.net/ereader/unsbiblio/218746>. Consultado: 01 de enero de 2023.
- Nathalia, R., (2018) *Requerimiento hídrico de especies forestales tropicales : caso del cacao, Colombia*. Disponible en: <http://www.dinamica-de-sistemas.com/revista/1218a.htm>. Consultado: 16 de febrero de 2023.
- Netafin. (2019) *Catalogo de productos/ soluciones inteligentes de riego*. Disponibles en: <https://www.netafim.com/es-pe/bynder/5987B652-B3CF-41A4-845334C47869F03F-general-product-cataloge---spa.pdf>. Consultado: 6 de Diciembre 2023.
- Paz, M., (2015) Sistema de riego por goteo. Manual de capacitación 3. Disponible en: <http://www.prosap.gov.ar/Docs/3-%20Sistema%20de%20riego%20por%20goteo.pdf>. Consultado: 22 de marzo de 2023.
- Pellegrini, A., (2019) *TEMA 3: "Textura Y Color Del Suelo"*. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf. Consultado: 13 de mayo del 2023
- Quizhpe, D., (2010) *Instalación de un cabezal de riego para un sistema establecido que comprende un invernadero, umbráculo y patio de aclimatación, ubicados en el campus Juan lunardi, paute, de la facultad de ciencias agropecuarias y ambientales*. Tesis. Universidad Tecnica Salesiana. Cuenca - Ecuador.
- Riego, M. (2020) "*Curso Virtual: Diseño Agronómico e Hidráulico en el Sistema de Riego Tecnificado*". Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima - Perú.

Rojas Medina, R. (2007) *Contabilidad de costos. En: U. N. d. Colombia, ed. Sistemas de costos : un proceso para su implementación.* Manizalez, Colombia: Atribución-NoComercial 4.0 Internacional, pp. 9.

Romero, E., Fernández, R., Macías, J., Zuñiga, K. (2016) "Producción y comercialización del cacao y su incidencia en el desarrollo socioeconómico del cantón Milagro" *Revista UNEMI*, Vol. 9 - N° 17, pp. 56 - 64.

Sampson, L. (2016) *Balance de agua y requerimientos de riego en cacao.* Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/306079740_Balance_de_agua_y_requerimientos_de_riego_en_cacao. Consultado: 29 junio 2023.

Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2011) *Plan Nacional De Riego Y Drenaje: Ministerio De Agricultura, Ganadería Y Pesca.* Disponible en: <https://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>. Consultado: 15 de marzo de 2023.

STAFF. (1951) *SOIL SURVEY Manual* , Estados Unidos: unaited states departament of agriculture.

Tapia C. (2009) *Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado.* Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Toledo, J. (2012) *Diseño de un sistema de riego por goteo para cultivos en zonas con escasas de agua.* Quito. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/383179572/DISENO-DE-UN-SISTEMA-DE-RIEGO-POR-GOTEO-PARA-CULTIVOS-EN-ZONAS-CON-ESCASES-DE-AGUA-pdf>. Consultado: 11 de febrero de 2023.

Twenergy. (2019) *¿Qué es el riego por goteo?.* Disponible en: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/como-ahorrar-agua/que-es-el-riego-por-goteo-1708/>. Consultado: 13 de Octubre 2023

Úbeda, J. & Dallatorre, D., 2018. La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura.

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático, Volumen I, pp. 7.

Urgellés, R. (2007) *Evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa, Holguín, Cuba:* Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Urrestarazu, A., (2008) *Hidráulica y riego. Riego por goteo.* Disponible en: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-yriegos/temario/Tema>. Consultado: 26 julio 2023.

USDA., U. S. D. O. A., 2004. USDA. Disponible en:
<http://www.miliarium.com/prontuario/Tablas/Suelos/ClasesTexturales.htm> Consultado:
13 de Octubre 2023.

ANEXOS

Figural 1A. Climwat Base meteorológica de Guayaquil – Simón Bolívar

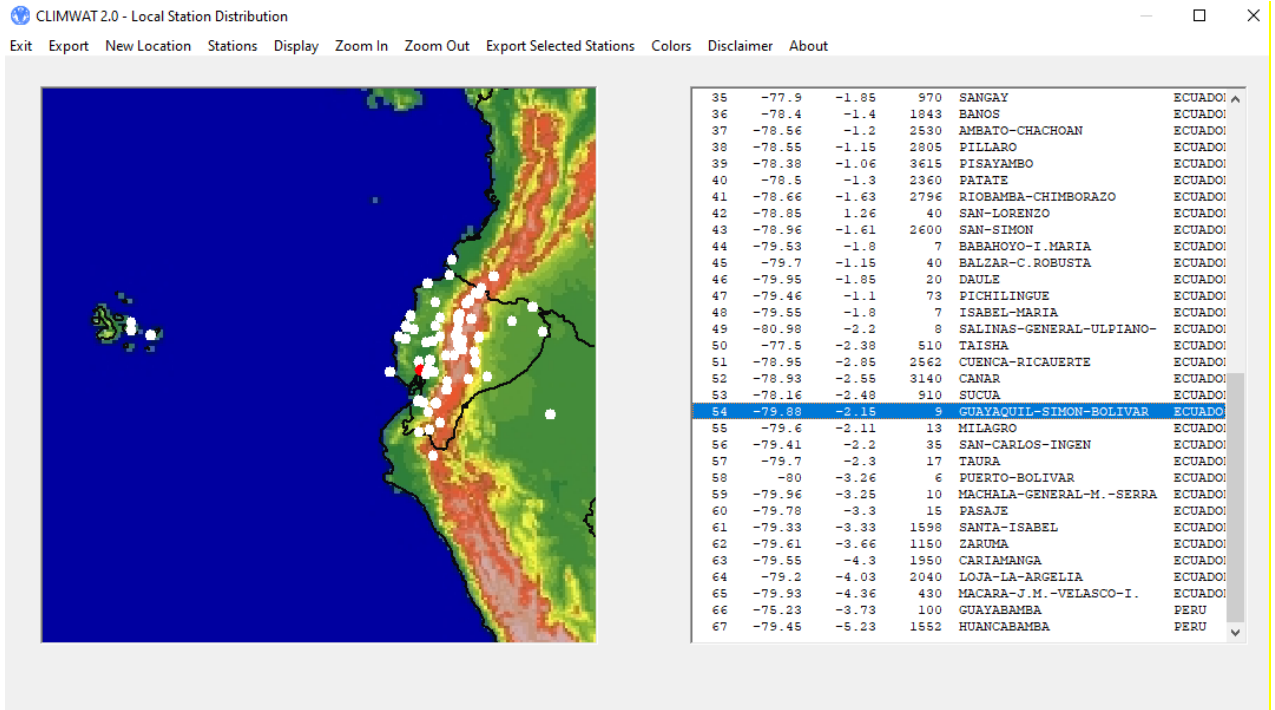


Figura 2A. Cropwat Datos climáticos de referencia ETo

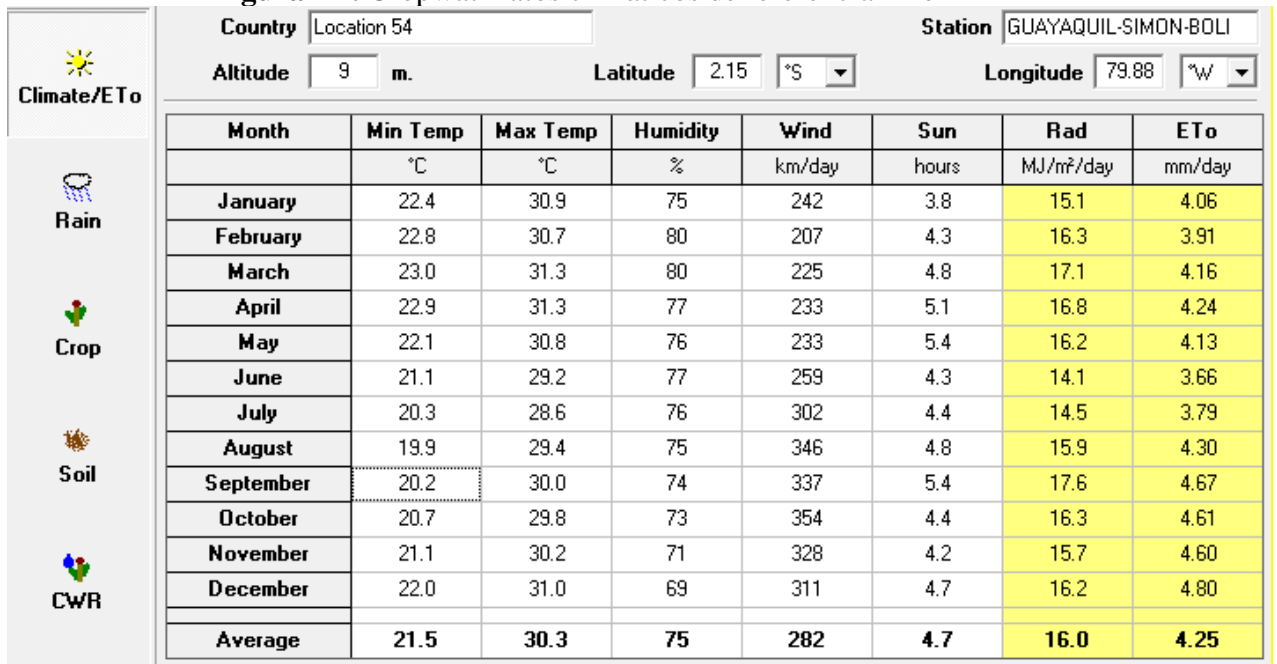


Figura 3A. Precipitación según cropwat

Station	GUAYAQUIL-SIMON-BOL	Eff. rain method	USDA S.C. Method
		Rain	Eff rain
		mm	mm
January	232.0	145.9	
February	234.0	146.4	
March	276.0	152.6	
April	157.0	117.6	
May	65.0	58.2	
June	38.0	35.7	
July	0.0	0.0	
August	1.0	1.0	
September	2.0	2.0	
October	2.0	2.0	
November	7.0	6.9	
December	33.0	31.3	
Total	1047.0	699.5	

Figura 4A. Toma de puntos topográficos para realización del mapa



Figura 5A. Plano topográfico en ArcGIS.

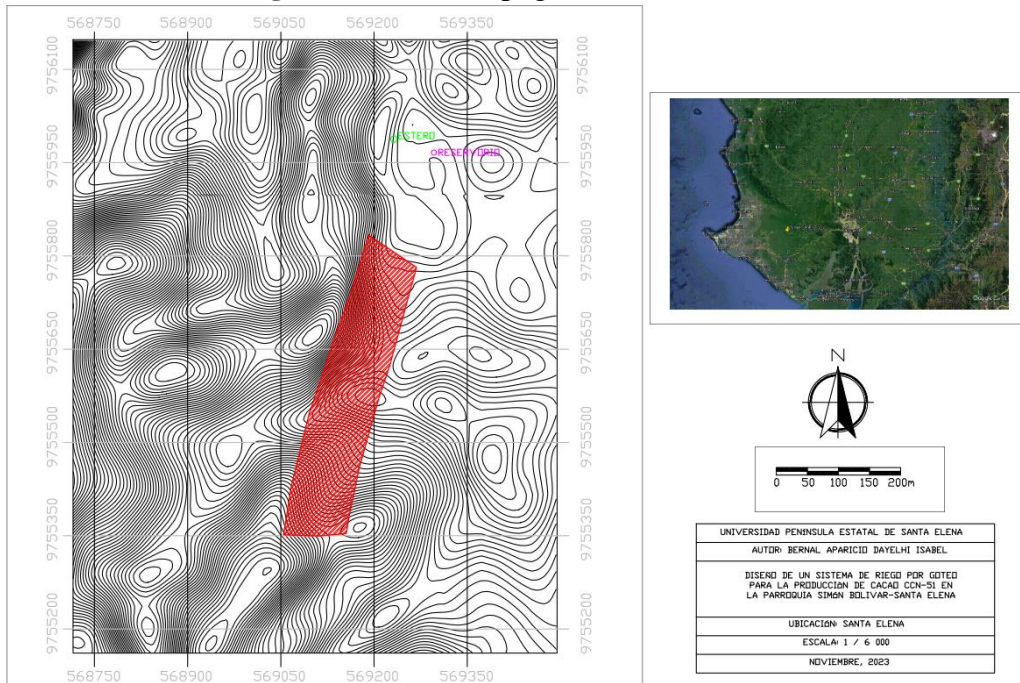


Figura 6A. Prueba de campo, caudal, diámetro y profundidad del gotero



Figura 7A. Informe del análisis del agua

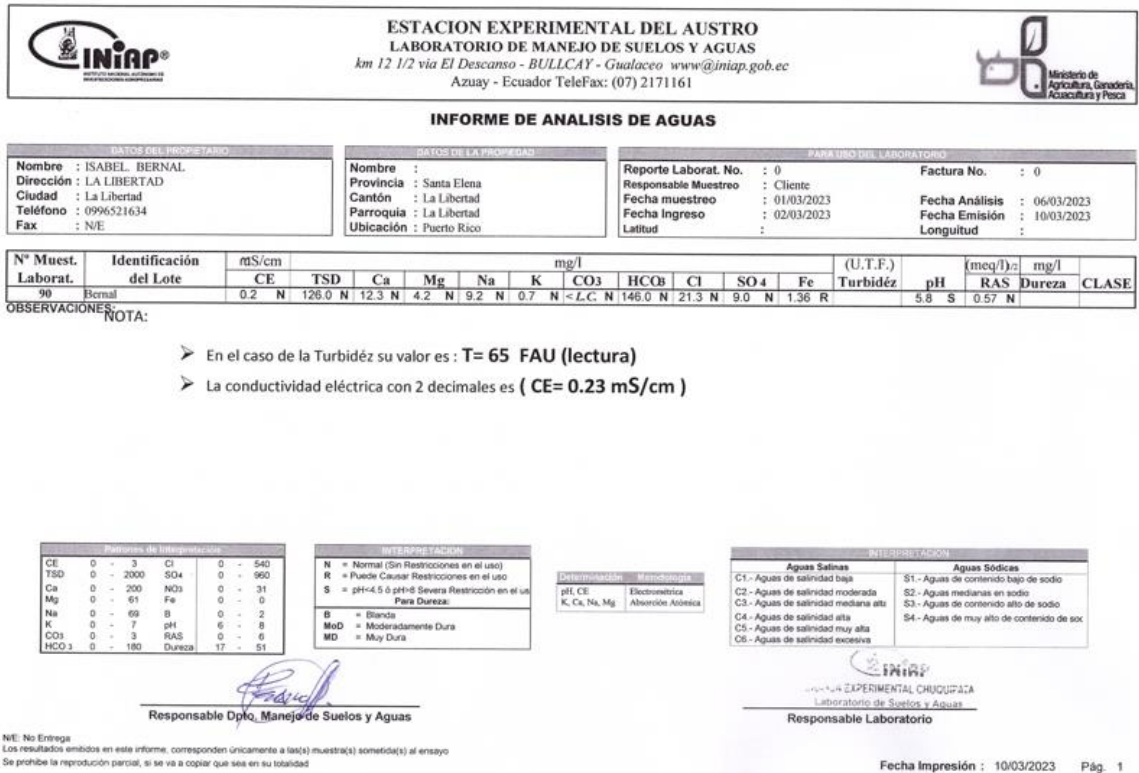


Figura 8A. Informe análisis de suelo primera parte

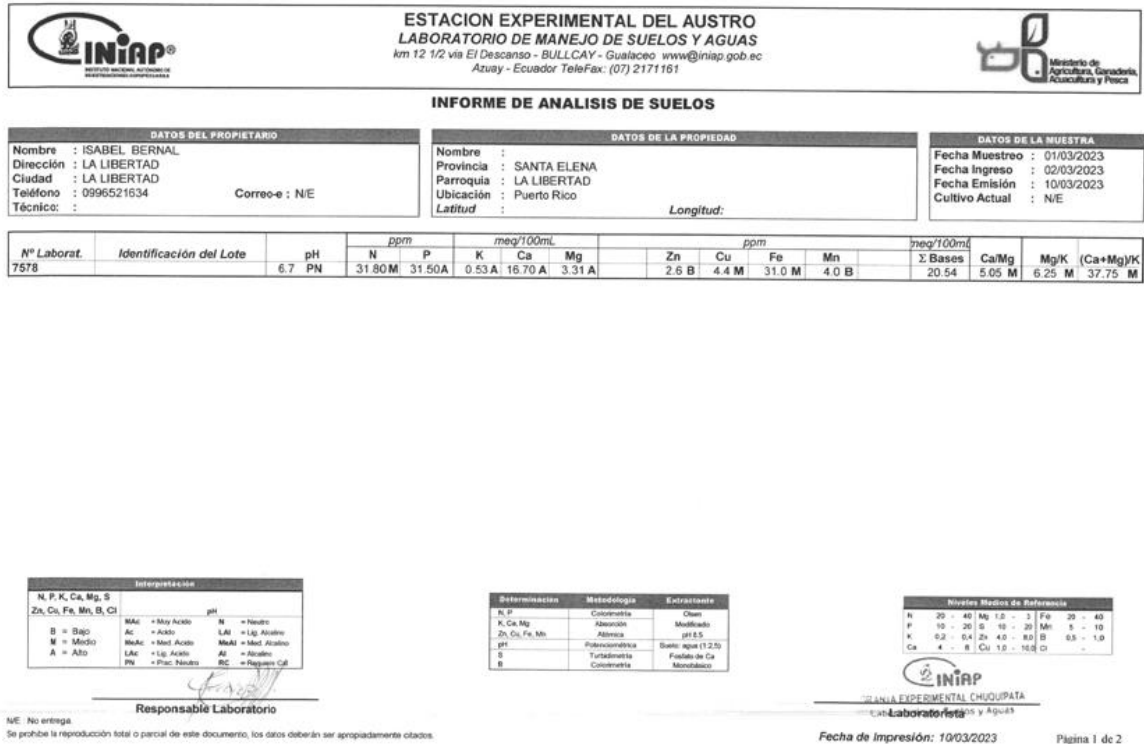




Figura 9A. Segunda parte del informe de análisis de suelo



ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTR0
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 km 12 1/2 via El Descanso - BULLCAY - Guano www@iniap.gob.ec
 Azuay - Ecuador Telef: (07) 2171161




INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				DATOS DE LA MUESTRA			
Nombre : ISABEL BERNAL				Nombre :				Fecha Muestreo : 01/03/2023			
Dirección : LA LIBERTAD				Provincia : SANTA ELENA				Fecha Ingreso : 02/03/2023			
Ciudad : LA LIBERTAD				Parroquia : LA LIBERTAD				Fecha Emisión : 10/03/2023			
Teléfono : 0996521634 Correo-e : N/E				Ubicación : Puerto Rico				Cultivo Actual : N/E			
Técnico :				Latitud :				Longitud :			

N° Laborat.	Identificación	Textura (%)			Clase Textural	cm ³ /cm ³					mg/100mL			dS/m	pH	C.E.	M.O.	M.S.	H.
		Arena	Limo	Arcilla		C.C.	Sat.	P.M.	A.D.	C.H.	D.A.	Al+H	Al						
7578		26	33	41	Arcilloso	0.37	0.52	0.23	0.14	0.22	1.23				0.85	NS	2.40	B	

Abreviaturas			Abreviaturas			Abreviaturas			Determinaciones			Métodos			Estratificación			Tabla de Referencia		
Al = Aluminio	NE = No Salino	B = Bajo	C.C.	Relación de Campo	Sat.	Saturación	M.O.	Materia Orgánica	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li	Li
LT = Ligeros, Toxico	LS = Lig. Salino	M = Medio	P.M.	Punto de Marchitez	P.M.	Punto de Marchitez	D.A.	Densidad Aparente	CE	Entrada de agua saturada	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua
T = Toxico	S = Salino	A = Alto	A.D.	Almid. Descomible	A.D.	Almid. Descomible	Ni	Nitrogeno Total	Na	Saturación Volumétrica	No Salina	No Salina	No Salina	No Salina	No Salina	No Salina	No Salina	No Salina	No Salina	No Salina
	MS = Muy Salino		C.H.	Conductividad Hidráulica	C.H.	Conductividad Hidráulica	RI	Relación Carbono Nitrogeno												
			H.	Humedad	H.	Humedad	M.E.	Materia Seca												


Responsable Laboratorio

NE: No Entrega
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.

Fecha de Impresión: 10/03/2023 Página 2 de 2

Figura 10A. Plano completo en AutoCAD.

