



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN
EN CULTIVO DE BANANO PARA LA “FINCA EL
GARRIDO” UBICADA EN CALICHANA, CANTÓN
PASAJE, PROVINCIA DEL ORO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Joselyn Banchón Chonillo.

La Libertad, 2021



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN
EN CULTIVO DE BANANO PARA LA “FINCA EL
GARRIDO” UBICADA EN CALICHANA, CANTÓN
PASAJE, PROVINCIA DEL ORO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Joselyn Banchon Chonillo.

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

La Libertad, 2021

TRIBUNAL DE GRADO



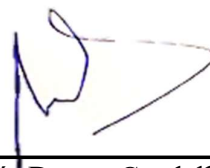
Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D
**DIRECTORA DE CARRERA
DE AGROPECUARIA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



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



Ing. Ángel León Mejía M.Sc.
**PROFESOR TUTOR/A
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Andrés Drouet Candell M.Sc.
**PROFESOR GUÍA DE LA UIC
SECRETARIO**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia a Dios mi Padre celestial por prestarme vida, fuerzas e inspiración además de brindarme fortaleza en el camino recorrido hacia mi objetivo, logrando culminar mi vida estudiantil en la Universidad Estatal Península de Santa Elena cumpliendo de esta forma una meta personal.

A mis padres, Richard y María, por ser los principales promotores de sueños y luchas, ofreciéndome herramientas para alcanzarlas como amor, disciplina y confianza además de múltiples valores y principios inculcados en los primeros años de la infancia, mismos que empleo en todos los aspectos de vida.

Así mismo agradezco a mi esposo por estar presente, acompañarme, comprenderme y hacerme saber con acciones y palabras cuan orgulloso se siente al verme escalar un peldaño más en la vida, fue un apoyo crucial en las etapas donde sentía que no podía más, espero y aspiro algún día ser su fuerza para avanzar juntos en el camino de la vida.

A todos los docentes que conforman la academia educativa de la Facultad Ciencias Agrarias de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria por su contribución y formación académica en las cada una de las aulas durante los diversos niveles previamente cursados, buscando siempre formar profesionales competentes y comprometidos en todos los aspectos de vida.

A mi tutor, Ing. Ángel León Mejía, por ser un factor importante en la elaboración del trabajo de titulación, quien supo guiarme con paciencia en todo momento brindándome recomendaciones, consejos y directrices durante la ejecución y presentación de la misma.

Joselyn Banchón Chonillo

DEDICATORIA

A mi hijo Jaidan Figueroa porque es mi motor del día a día para seguir adelante y superarme a mí misma, por regalarme una sonrisa y un caluroso abrazo impulsándome a culminar esta etapa de vida, deseo que aprenda con el ejemplo que todo lo que realmente vale la pena demanda de sacrificio y esfuerzo.

Con mucho cariño a mis padres, suegros y esposo por contribuir con su granito de arena para que cumpla mi sueño académico, debido a que de una u otra forma se encuentran sujetos a mi vida diaria y han participado en múltiples tareas o eventos suscitado durante los estudios universitarios.

Finalmente quiero dedicarle esta tesis a todos mis amigos que lucharon junto a mí, por el soporte que nos brindamos mutuamente en los momentos difíciles y estresantes que se presentaron durante los distintos semestres. De forma incondicional a mi amigo y futuro colega Jonathan Padilla, por demostrarme su apoyo emocional y académico, se convirtió en un ejemplo de superación y admiración al enseñarme que aun estando lejos de los seres que amamos se puede seguir adelante.

Joselyn Banchón Chonillo

RESUMEN

El objetivo en el trabajo de titulación fue diseñar un sistema de riego por aspersión para el cultivo de banano, en la finca “El Garrido”, ubicada en la parroquia Buenavista, sector Calichana, cantón Pasaje, perteneciente a la provincia del Oro. En donde se recolectaron muestras, las cuales se enviaron a la Estación Experimental Santa Catalina perteneciente a Iniap para obtener los resultados de los análisis de suelo y agua, se determinaron las propiedades físicas y químicas de cada uno de ellos. Además, se emplearon varias fórmulas para la elaboración del diseño agronómico, tomando el punto más crítico del cultivo. Datos climáticos de la zona referente a 20 años, el tipo de suelo en el cual se clasifica corresponde a suelo Franco con una capacidad de campo de 29%, punto de marchitez de 14.8% y una velocidad de infiltración de 15.7 mm/h. Para el cálculo del diseño hidráulico se tomó en cuenta la topografía que posee la finca por otra parte, que la velocidad con que circula el agua en el interior de las tuberías no supere los 2 m/s, se determinaron las pérdidas de cargas que se producen entre cada bloque de riego. Cabe recalcar que el caudal disponible para el sistema de riego es de 37.85 l/s, alcanzando un valor de la altura manométrica total (TDH) de 7.049 bares, necesitando una bomba con un motor de 41013 watts para regar los 6 sectores de riego, en los que se encuentra dividida la finca, alcanzando un total de 18 ha.

Palabras claves: agronómico, aspersión, hidráulico, pérdidas de cargas.

ABSTRACT

The objective of the qualification work was to design a sprinkler irrigation system for banana cultivation on the "El Garrido" farm, located in the Buenavista parish, Calichana sector, Pasaje canton, in the province of El Oro. Samples were collected and sent to the Santa Catalina Experimental Station belonging to Iniap to obtain the results of the soil and water analyses, and the physical and chemical properties of each were determined. In addition, several formulas were used to elaborate the agronomic design, taking the most critical point of the crop. Climatic data of the area referring to 20 years, the type of soil in which it is classified corresponds to loam soil with a field capacity of 29%, a wilting point of 14.8% and an infiltration rate of 15.7 mm/h. For the calculation of the hydraulic design, the topography of the farm was taken into account, on the other hand, the speed at which the water circulates inside the pipes does not exceed 2 m/s, and the load losses that occur between each irrigation block were determined. It should be noted that the available flow for the irrigation system is 37.85 l/s, reaching a total manometric height (TDH) value of 7.049 bars, requiring a pump with a motor of 41013 watts to irrigate the 6 irrigation sectors into which the farm is divided, reaching a total of 18 ha.

Keywords: agronomic, aspersion, hydraulic, head losses.

"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".

Joselyn Banchón

Joselyn Banchón Chonillo

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico:.....	2
Objetivo general:	2
Objetivos específicos:.....	2
Hipótesis:.....	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Origen y distribución del banano	3
1.2 Clasificación taxonómica	3
1.3 Morfología	4
1.3.1 Sistema radical.....	4
1.3.2 Hojas yseudotallo.....	4
1.3.3 Rizomas e hijos.....	4
1.4 Condiciones climáticas.....	4
1.5 Condiciones edáficas.....	5
1.6 Relación agua-suelo-planta	6
1.6.1 Evapotranspiración	6
1.6.2 Evapotranspiración potencial.....	7
1.6.3 Evapotranspiración máxima	7
1.6.4 Evapotranspiración real o actúa	7
1.6.5 Métodos de cálculo de la evapotranspiración	8
1.6.6 Suelo	10
1.6.6.1 Textura.....	10
1.6.6.2 Influencia textural sobre las características y cualidades del suelo	10
1.6.6.3 Estructura.....	11
1.6.6.4 Densidad	12
1.6.6.5 Porosidad	12
1.6.6.6 pH	12
1.6.7 Estados del agua en el suelo	13
1.6.7.1 Saturación	13
1.6.7.2 Capacidad de campo	13
1.6.7.3 Punto de marchitez permanente	13
1.6.6.4 Agua útil	14
1.6.8 Nivel de agotamiento permisible	14
1.6.9 Velocidad de infiltración del suelo	14
1.7 Calidad de agua	15
1.7.1 Determinantes de la calidad de agua.....	15
1.7.1.1 Concentración de sólidos en suspensión.....	16
1.7.1.2 Concentración total de sales	16
1.7.1.3 Concentración relativa de Sodio en relación con otros cationes.....	16
1.7.1.3.1 Relación de adsorción de Sodio o RAS	16

1.7.1.4	Dureza del agua	17
1.8	Riego por aspersión.....	17
1.8.1	Clasificación	18
1.8.2	Ventajas y desventajas	18
1.8.3	Diseño de riego	19
1.8.4	Componentes	19
1.8.5	Mantenimiento y reposición del sistema.....	20
1.9	Diseño agronómico de riego por aspersión	20
1.9.1	Evapotranspiración del cultivo	21
1.9.2	Necesidades reales	21
1.9.3	Determinación de la frecuencia de riego	22
1.9.3.1	Dosis máxima de riego.....	22
1.9.3.2	Número de riegos al mes.....	22
1.9.3.3	Tiempos de riego.....	22
1.10	Diseño hidráulico de riego por aspersión	23
1.10.1	Cálculo de pérdidas de cargas.....	23
1.10.2	Calculo tubería principal.....	23
1.10.3	Cálculo de tuberías secundarias	24
1.10.4	Distribución de líneas de riego.....	24
1.10.5	Frecuencias de riego	24

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....25

2.1	Localización del trabajo	25
2.2	Materiales.....	25
2.3	Factores de estudio.....	26
2.3.1	Características climáticas.....	26
2.3.2	Tipo de suelo	27
2.3.3	Calidad del agua	27
2.3.4	Diseño agronómico.....	28
2.3.4.1	Cálculo de la evapotranspiración ETo	28
2.3.4.2	Cálculo de la evapotranspiración del cultivo	29
2.3.4.3	Cálculo de la infiltración de suelo	29
2.3.4.4	Lámina de riego	31
2.3.4.5	Intervalo de riego.....	32
2.3.4.6	Selección del tipo de aspersor.....	32
2.3.4.7	Distancia entre aspersores.....	32
2.3.5	Distancia entre línea	32
2.3.5.1	Área y bloques por sector	33
2.3.5.2	Caudal del bloque y sector de riego.....	33
2.3.5.3	Pluviometría del aspersor	34
2.3.5.4	Tiempo del sector de riego.....	34
2.3.6	Diseño hidráulico.....	34
2.3.7	Determinación de las velocidades.....	34
2.3.7.1	Dimensionamiento de tuberías principales y secundarias.....	35
2.3.7.2	Determinación de la tolerancia de caudales y presión	36
2.3.7.3	Caudal.....	36
2.3.7.4	Presión	36

2.3.7.5	Variación de presiones.....	37
2.3.7.6	Pérdidas de cargas.....	37
2.3.7.7	Pérdidas por fricción.....	37
2.3.7.8	Desniveles.....	38
2.3.7.9	Cálculo de potencia de la bomba.....	38
2.3.8	Trazado de diseño en plano	39
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		40
3.1	Recopilación de información básica.....	40
3.1.1	Adquisición del plano topográfico.....	40
3.1.2	Datos de clima y suelo de la zona.....	40
3.1.2.1	Datos climáticos	40
3.1.2.2	Datos de suelo.....	41
3.1.3	Cálculo de la evapotranspiración de referencia	42
3.1.4	Kc del cultivo de banano	43
3.1.5	Cálculo del ETc del cultivo	43
3.1.6	Infiltración del suelo	45
3.1.7	Datos de la boquilla para el diseño se riego.....	48
3.2	Diseño agronómico	49
3.2.1.1	Lámina de riego	49
3.2.1.2	Intervalo de riego.....	49
3.2.1.3	Ajuste de la lámina de riego	49
3.2.1.4	Distancia entre aspersores.....	49
3.2.1.5	Distancia entre líneas.....	50
3.2.1.6	Caudal por hectárea	50
3.2.1.7	Área del sector de riego	50
3.2.1.8	Número de sectores de riego.....	51
3.2.1.9	Área del sector de riego	51
3.2.2	Área del bloque.....	51
3.2.3	Caudal del bloque	51
3.2.5	Pluviometría del emisor.....	52
3.2.6	Tiempo del sector de riego.....	52
3.2.7	Resumen de cálculos - diseño agronómico	52
3.3	Diseño Hidráulico	53
3.3.1	Datos del emisor	54
3.3.2	Trazado del diseño en el plano	54
3.3.3	Tolerancia de caudales.....	55
3.3.4	Tolerancia de presiones	56
3.3.5	Determinación de los diámetros de los laterales	56
3.3.6	Determinación de los diámetros de las líneas secundarias.....	60
3.3.6.1	Determinación de las presiones del sistema.....	62
3.3.6.2	Resumen de los bloques.....	65
3.3.7	Determinación de los diámetros de las líneas principales y succión.....	66
3.3.8	Determinación de las válvulas	66
3.3.9	Determinación del filtro.....	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		72

Conclusiones	72
Recomendaciones	72

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas de producción de banano	3
Tabla 2. Valores de referencia para análisis de suelo del cultivo de banano.....	6
Tabla 3. Fórmulas para el cálculo de evapotranspiración.....	9
Tabla 4. Influencia de la textura sobre algunas propiedades de los suelos.....	11
Tabla 5. Propiedades hídricas de los suelos.	14
Tabla 6. Velocidad de infiltración según el tipo de suelo.....	15
Tabla 7. Grados de dureza	17
Tabla 8. Insumos para el diseño de riego	25
Tabla 9. Datos climáticos de la zona	26
Tabla 10. Datos de suelo.....	27
Tabla 11. Análisis de agua.....	28
Tabla 12. Formato para la prueba de infiltración en campo	30
Tabla 13. Valores de M para hallar pérdidas de carga	37
Tabla 14. Cálculo del TDH.....	38
Tabla 15. Parámetros preliminares para diseño de riego.....	40
Tabla 16. Datos climáticos de la zona	41
Tabla 17. Datos de suelo.....	42
Tabla 18. Infiltración instantánea	46
Tabla 19. Cálculo de la infiltración básica	48
Tabla 20. Datos de la boquilla	48
Tabla 21. Diseño agronómico para la finca “El Garrido”	53
Tabla 22. Caudal de las líneas laterales	56
Tabla 23. Cálculo de diámetros y cálculo de las velocidades en lateral.....	57
Tabla 24. Cálculo de las pérdidas de cargas	57
Tabla 25. Resumen de los laterales	59
Tabla 26. Cálculo del caudal del sistema.....	60
Tabla 27. Determinación de los diámetros y velocidad de la línea secundaria	61
Tabla 28. Número de Reynolds.	62
Tabla 29. Cálculo de presiones.....	63
Tabla 30. Variación de presiones	64
Tabla 31. Resumen de los Bloques.....	65
Tabla 32. Resumen de la tubería principal	66

Tabla 33. Determinación de las válvulas	67
Tabla 34. Válvula serie 75	67
Tabla 35. Resumen de caudal y pérdidas por rozamiento por bloques	68
Tabla 36. Pérdidas de cargas menores	69
Tabla 37. Pérdidas totales del sistema	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la finca “El Garrido”	25
Figura 2. Medición de la velocidad de infiltración en campo.	30
Figura 3. Plano de la finca “El Garrido”	39
Figura 4. Cálculo de la ETo Mediante Cropwat.....	43
Figura 5. Obtención del ETc del cultivo mediante Cropwat.....	44
Figura 6. Infiltración instantánea.....	47
Figura 7. Espacio entre aspersores en campo.....	54
Figura 8. Modelo de aspersor	54
Figura 9. Bloque del sistema de riego (A1).....	55
Figura 10. Filtro de malla automatizado. Modelo FMA-30004	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1A. Fotografías

Figura 1 A. Plano del sistema de riego perteneciente a la Finca “El Garrido”

Figura 2A. Análisis físico del suelo

Figura 3A. Resultados de análisis de agua

Figura 4A. Análisis de suelo

Anexo 2A. Tablas

Tabla 1A. Diámetros correspondiente al bloque A1

Tabla 2A. Diámetros correspondiente al bloque A2

Tabla 3A. Diámetros correspondiente al bloque A3

Tabla 4A. Diámetros correspondiente al bloque B1

Tabla 5A. Diámetros correspondiente al bloque B2

Tabla 6A. Diámetros correspondiente al bloque B3

Tabla 7A. Diámetros correspondiente al bloque C1

Tabla 8A. Diámetros correspondiente al bloque C2

Tabla 9A. Diámetros correspondiente al bloque C3

Tabla 10A. Diámetros correspondiente al bloque D1

Tabla 11A. Diámetros correspondiente al bloque D2

Tabla 12A. Diámetros correspondiente al bloque D3

Tabla 13A. Diámetros correspondiente al bloque E1

Tabla 14A. Diámetros correspondiente al bloque E2

Tabla 15A. Diámetros correspondiente al bloque E3

Tabla 16A. Diámetros correspondiente al bloque I1

Tabla 17A. Diámetros correspondiente al bloque I2

Tabla 18A. Diámetros correspondiente al bloque I3

1 INTRODUCCIÓN

El aporte de agua al suelo se efectúa en muchos casos de forma natural mediante las precipitaciones y cuando estas son escasas se opta por un sistema artificial, es decir mediante sistemas de riego. El productor busca que el cultivo existente cumpla su vida fenológica y alcance el índice de producción esperado en un tiempo determinado, optando de esta forma por el tipo de riego que más se ajuste a sus necesidades.

Los sistemas de riego presurizados tienen un gran impacto, debido a los insumos que se emplean y el adecuado funcionamiento de los mismos, teniendo en cuenta que se busca optimizar el consumo de agua, sin provocar estrés hídrico en los cultivos.

Debido a esto los agricultores optan por proporcionarle agua a sus cultivos, pero muchas veces lo hacen de forma empírica y sin tomar en cuenta las condiciones del lugar, la cantidad de agua disponible y los factores de suelo.

Los sistemas de riego por aspersión, son considerados una buena opción debido a que alcanzan niveles óptimos de eficiencia satisfaciendo las necesidades hídricas de los cultivos, por la posición y el rango de alcance que tienen los aspersores escogidos por el diseñador, debido a que aplican agua, simulando la lluvia. En campo el reparto del agua se realiza a través de una red de tuberías que finalmente desembocan en segmentos laterales con aspersores distribuidos de forma uniforme a lo largo del mismo.

Por lo antes expuesto, la propuesta de tesis tiene como objetivo diseñar de riego por aspersión para el cultivo de banano en la “Finca El Garrido”, buscando satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, mediante el uso del diseño agronómico e hidráulico.

Para la elaboración del diseño del sistema de riego se llevó a cabo varias etapas, primero el diseño agronómico, mismo que corresponde a la recopilación de datos de cultivo, clima y suelo para obtener las necesidades hídricas del cultivo, láminas, dosis, frecuencia de riego.

Posteriormente el diseño hidráulico en donde primero se selecciona el tipo de aspersor según el caudal que se necesita, para posteriormente pasar a realizar cálculos en cuanto a los diámetros de tubería, pérdidas de cargas que ocurren en cada sector de riego necesarias para el buen funcionamiento del sistema.

Finalmente plasmar la red de distribución de agua en un plano utilizando la herramienta gráfica AutoCAD, mostrando la posición de las tuberías, las dimensiones y los accesorios en cada bloque o sector de riego tomando en cuenta la topografía del terreno.

Problema Científico:

¿Es posible satisfacer las necesidades hídricas del cultivo de banano en todas sus etapas, a partir de un sistema de riego por aspersión tomando en cuenta el diseño agronómico e hidráulico de la finca “El Garrido”?

Objetivo general:

Diseñar un sistema de riego por aspersión en cultivo de banano para la “Finca El Garrido” ubicada en la comuna en Calichana, cantón Pasaje, provincia del Oro”.

Objetivos específicos:

1. Elaborar el diseño agronómico del cultivo de banano, tomando en cuenta las condiciones agroecológicas de la localidad.
2. Realizar el diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.

Hipótesis:

El sistema de riego por aspersión satisface las necesidades hídricas del cultivo de banano en todas sus etapas, cuando se consideran los aspectos agronómicos e hidráulicos.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Origen y distribución del banano

El lugar de procedencia del plátano según estudios realizados es al sudeste de Asia. Los ejemplares fueron obtenidos por cruces entre dos especies *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* ambas con características similares con frutos pequeños, semilla y no son aptos para el consumo humano (Figuerola *et al.*, 1985).

El mismo autor ratifica que el cultivo pasó de Asia a India y posteriormente a África. En el año de 1516 fue cuando los españoles introdujeron al continente americano las especies. En el Ecuador se encuentra distribuido ampliamente, convirtiéndose el producto en uno de los más importantes en la economía actual.

CFN (2020) indica que en el Ecuador las provincias que cuentan con mayor producción agrícola de banano se localizan en la zona costera, alcanzando en el año 2018 los siguientes índices Los Ríos con 38 % y Guayas 24 %, como se muestra a continuación:

Tabla 1. Zonas de producción de banano

Año	Provincia	Superficie Cosechada (ha)	Producción (Tm)	Rendimiento (Tm/ha)	Porcentaje Nacional
2018	Los Ríos	55 168	2 472.546	44.8	38%
	Guayas	36 111	1 569.262	43.5	24%
	El Oro	39 403	1 562.203	39.6	24%
	Otras	30 901	901.624	29.2	14%
	Total General	161 583	6505.635	40.3	100%

Fuente: (CFN, 2020)

1.2 Clasificación taxonómica

El plátano tiene una distribución taxonómica la cual pertenece al orden Scitamineae, a la familia de las musáceas y a la subfamilia Musaceae. Esta familia está conformada por el género *Musa* y la especie paradisiaca (Garnica, 2001).

1.3 Morfología

1.3.1 Sistema radical

El cultivo de banano consta con una raíz de características carnosas y adventicias, además carecen de una raíz pivotante. Las raíces primarias poseen un diámetro de 5 - 8 mm y su color característico cuando son jóvenes de color blanquecinas y varían a medida que se desarrollan tomando colores grisáceos o marrones, hasta que llega el periodo de senescencia (Robinson and Galán, 2012).

El autor antes mencionado afirma que las raíces secundarias se originan en el protoxilema cercano al ápice radical y continua su desarrollo a medida que las primarias van creciendo. De igual forma sucede con las que son terciarias que emergen de las secundarias.

1.3.2 Hojas y seudotallo

Garnica (2001) relaciona que el tallo es un corno subterráneo, a partir del mismo se originan las raíces y los peciolo que corresponden a las hojas, cuya unión de las mismas forman el seudotallo, el cual puede llegar a medir hasta 4 m de altura.

Las primeras hojas que se originan a partir del meristema central y a estas le presiden otras, con una forma lanceolada. Las vainas de las nuevas hojas aparecen enrolladas y apretadas formando lo que se conoce como seudotallo. Cuando el mismo se encuentra maduro tiene un aspecto muy robusto y llega a soportar un racimo con un peso de 50 kg de peso, es un fruto carnoso, que está formado en su 95% de agua (Robinson and Galán, 2012).

1.3.3 Rizomas e hijos

El verdadero tallo de la planta es subterráneo y conocido técnicamente como un rizoma tuberoso. El mismo cuando este maduro tiene alrededor de 300 mm de diámetro, aunque tiende a variar por la edad y las circunstancias sanitarias. Posee entrenudos extremadamente cortos, además es un importante órgano que sirve para el almacenamiento que permite el crecimiento de su racimo (Robinson and Galán, 2012).

1.4 Condiciones climáticas

El clima es un factor determinante y los principales factores meteorológicos que afectan directamente a las producciones son los siguientes:

- Iluminación: la radiación solar emitida hacia el planeta tierra, está conformada por varias radiaciones electromagnéticas que se distribuyen sobre una banda de longitudes de onda que abarca desde los 290 nm hasta 5000 nm, clasificándose de la siguiente forma:
 - Radiación ultravioleta: 290 a 400 nm
 - Radiación visible: 400 a 750 nm.
 - Radiación infrarroja: mayor a 750 nm.
- Fotoperiodo: Este periodo es equivalente a la duración del día y la noche
- Temperatura: Cuando se levanta el sol, generalmente el suelo y los vegetales que se encuentran sobre él, reciben los primeros rayos de la mañana y el incremento de calor que se produce a medida que se eleva sobre el horizonte, para luego disminuir consecuentemente con la llegada del ocaso.
- Pluviometría: Es un factor determinante, pues el agua es un elemento vital para la supervivencia de los cultivos
- Viento: Es un elemento importante del clima, pues modifica en sentido favorable o desfavorable a los demás elementos meteorológicos, antes mencionados (Hidalgo and Hidalgo, 2011).

1.5 Condiciones edáficas

El banano se puede adaptar a múltiples suelos, pero es muy exigente con el contenido de nutrientes que debe poseer, antes de adaptar un cultivo es preferible realizar un análisis de suelo. Según Robinson and Galán (2012), los parámetros a tomar en cuenta son los siguientes:

- Textura: los suelos limo-arcillo-arenoso son los más adecuados para el cultivo para establecer el cultivo de banano la proporción óptima es de 30:10:60 debido a que permite una buena aireación, aumentando de esta forma la infiltración del agua y el drenaje.
- Contenido nutrimental: la presencia de nutrientes en el suelo es uno de los factores más importantes, dentro del campo agrícola.

Tabla 2. Valores de referencia para análisis de suelo del cultivo de banano

Nutriente	Fósforo (mg/kg o ppm)	Potasio (cmol (+)/kg)	Calcio (cmol (+)/kg)	Magnesio (cmol (+)/kg)	Boro (mg/kg o ppm)	Zinc (mg/kg o ppm)	pH
Valor	10 – 20	0.2 – 0.5	3 – 6	1 – 3	0.2 – 0.7	3 – 15	5.5 – 6.5

Fuente: (Robinson and Galán, 2012)

1.6 Relación agua-suelo-planta

La interacción suelo - agua – planta que influye al momento de aplicar láminas de agua en la agricultura, conociendo los puntos importantes que corresponde a la relación, es mucho más efectivo optimizar el recurso hídrico. De esa forma se establecen márgenes rígidos por parte del técnico encargado de llevar a cabo la producción en referencia a 3 elementos muy importantes: penetración del agua en el suelo, retención de humedad y la cantidad exacta de agua que requiere el cultivo.

Conociendo esos elementos se puede mejorar el riego, planificando los intervalos y tiempos de aplicación de agua en campo para que funcione de manera eficiente y se creen condiciones ideales para producir (Leitón, 1985).

1.6.1 Evapotranspiración

La evaporación y la transpiración son procesos que ocurren, la evaporación de un suelo cultivado está determinada por la cantidad de radiación solar que recibe. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por la evaporación directa del suelo y finalmente cuando el mismo se extiende sobre el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (Allen *et al.*, 2006).

El mismo autor menciona que la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia es afectada por parámetros climáticos y puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmosfera en una zona y en una época del año determinada y la superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético del pasto con características específicas.

La evapotranspiración es la combinación entre dos procesos que ocurren en procesos independientes, es decir, por separado en donde el agua existente en el suelo se evapora hacia la superficie y la transpiración del cultivo (Santos, 2015).

1.6.2 Evapotranspiración potencial

Se considera evapotranspiración potencial cuando aquella es producida un cultivo de poca altura (pastos), cubre toda la extensión de suelo determinada para área agrícola, en su fase vegetativa de crecimiento y con el abastecimiento propio de agua (Vásquez *et al.*, 2017).

El mismo autor menciona que existen varios métodos para determinarla y los más utilizados son los siguientes:

- Lisímetro
- Tanque de evaporación
- Balance de agua
- Balance de energía
- Métodos o formulas empíricas

1.6.3 Evapotranspiración máxima

Según Vásquez *et al.* (2017), ocurre cuando el cultivo alcanza la etapa de desarrollo media, bajo parámetros de humedad del suelo, aspectos sanitarios entre otros múltiples factores.

1.6.4 Evapotranspiración real o actúa

Se lleva a cabo por medio de las condiciones de las plantas y del suelo, además precisa la tasa real de consumo de agua de los cultivos. Vásquez *et al.* (2017), los factores que definen la evaporación de agua del suelo y transpiración del cultivo, tales como:

- Elementos del clima.
- La especie vegetativa y la etapa fenológica en la que se encuentra.
- Nivel de humedad del suelo.
- Características físicas y químicas del suelo.

1.6.5 Métodos de cálculo de la evapotranspiración

Existen múltiples formas que permiten el cálculo la Evapotranspiración (ET), para conocer la cantidad de agua que necesita, para subsiguientemente realizar diseños de riego, así lo menciona Guevara (2006) con las siguientes fórmulas

Tabla 3. Fórmulas para el cálculo de evapotranspiración

Métodos	Medidas necesarias	Fórmulas
		$ETP = ETP_{sc} \left(\frac{N \cdot d}{365} \right)$
Thornthwaite	Temperatura.	<p>ETP_{sc}: evapotranspiración potencial corregida.</p> <p>N: número máximo de horas de sol.</p> <p>d: número de días del mes.</p> $ET_0 = 0.0023(t_{med} + 17.18)R_0 + (t_{dmax} - t_{dmin})^{0.5}$
Hargreaves	Temperatura, radiación solar.	<p>t_{med}: temperatura media diaria R_0: radiación solar</p> <p>t_{dmax}: temperatura diaria máxima</p> <p>t_{dmin}: temperatura diaria mínima</p> $T_0 = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273}}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$ <p>Δ: $(2503.6 \times \exp(17.27 T / (T + 237.3))) / (T + 237.3)^2$.</p>
Penman	Temperatura, horas reales de sol, velocidad del viento, humedad relativa.	<p>R_n: radiación neta sobre la superficie del cultivo (MJ/ m^2 día) G: flujo calórico utilizado en el calentamiento del suelo (MJ/ m^2 día).</p> <p>Γ: Constante psicrométrica ($kPa/ ^\circ C$) = $0.001628 (P/l)$; P en $kPa = 101.3((293 - 0.0065z)/293)^{5.26}$.</p> <p>$u_2$: velocidad del viento a 2 m de altura, en m/s.</p> <p>T: temperatura media del aire, en $^\circ C$.</p>

Fuente: (Guevara, 2006), (Allen R., Pereira L., Raes D. and Smith M., 2006)

1.6.6 Suelo

1.6.6.1 Textura

Existen doce clases texturales y pueden presentarse en 3 grupos de suelos, los cuales se muestran a continuación:

- Arenoso: este tipo de suelo sucede cuando en su contenido se encuentra más del 70% de la fracción sólida del suelo
- Arcilloso: se producen cuando poseen un porcentaje mínimo a 35% de arcilla, aunque en la mayoría de los casos se localiza hasta un 40%, las texturas arcillo-arenoso, arcillo-limoso y arcilloso, son los casos más habituales.
- Francos: un suelo franco ideal puede ser determinado por una mezcla de elementos como arena, limo y arcilla; pero las proporciones en las que se encuentran son aproximadamente en cantidades iguales (Casanova, 2005).

1.6.6.2 Influencia textural sobre las características y cualidades del suelo

En el suelo se identifican múltiples propiedades que varían según el tipo de suelo, las cuales interactúan mutuamente entre sí, las más relevantes son: textura, estructura, velocidad de infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y finalmente el agua que se encuentra disponible para el cultivo (Santistevan, 2015).

Existen tres elementos que caracterizan al suelo como es el caso de arena, limo y arcilla, cuanto mayor proporción contenga, la materia aumenta, la capacidad de acumulación de agua en el suelo y de nutrientes, pero cuando hay presencia de partículas con mayor tamaño contribuyen al soporte de las raíces en las plantas y a la aireación y permeabilidad (Casanova, 2005).

Tabla 4. Influencia de la textura sobre algunas propiedades de los suelos

Propiedad	Textura			
	Arenosa	Franco-	Franco Limosa	Arcillosa
Capacidad de agua Aprovechable	Baja	Media – Alta		Alta
Permeabilidad	Alta	Media		Baja
Compactación	Baja	Media		Alta
Nutrientes	Baja	Media		Alta
Facilidad de labranza	Alta	Media		Baja
Microporosidad	Alta	Media		Baja
Área superficial	Baja	Media		Alta

Fuente: (Casanova, 2005)

1.6.6.3 Estructura

Se considera una estructura, al orden que poseen las partículas del suelo, desde las más pequeñas que llegan a conformar unidades de mayor tamaño, una estructura puede modificar la textura respecto a las relaciones de humedad, aireación, velocidad de infiltración, conductividad hidráulica, densidad aparente, porosidad, etc,

En ocasiones los agregados presentes en el suelo se ven alterados por acciones agrícolas que se realizan en el campo, como es el caso de la labranza, provocando un empobrecimiento del suelo (Martinez, 2008).

Menciona Angela et al. (2016), que los tipos de estructuras del suelo, pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Estructuras granulares: son aquellas partículas individuales que están conformadas por un porcentaje de arena, limo y arcilla las cuales agrupadas en pequeños granos tienen una forma casi esférica.
- Estructuras en bloques o bloques subangulares: son dichas partículas presentes en suelo las cuales se agrupan de tomando la forma de bloque y son consideradas relativamente grandes, mismo que es indicador de buena penetración y movimiento del agua.
- Estructuras prismáticas y columnares: son las partículas del suelo que han formado columnas o pilares de carácter vertical y un tamaño diminuto, pero bien definidas. El agua en estos tipos de suelos siempre circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente.

- Estructura laminar: está compuesta de varias partículas de suelo agregadas en forma de láminas o capas finas, las cuales tienden a acumularse horizontalmente una encima de otra. Los suelos con estas estructuras generalmente tienden a inundarse.
- Suelos sin estructuras: cuando las partículas se presentan de forma sueltas o sin forma los agregados o bien cuando se encuentran todas unidas formando un tipo de masa, sin observarse sin ningún tipo de estructura.

1.6.6.4 Densidad

La densidad aparente (DAP) es la relación que existe entre la masa del volumen macroscópico ocupado por las partículas del suelo más el espacio poroso. Y se expresa como el peso del suelo en estado seco y dividido por el volumen del mismo.

En cuanto a la densidad real (DR), misma que se da en relación de la masa total de las partículas sólidas a su volumen total, sin incluir el volumen que ocupan los poros entre las partículas. Además, se representa como el peso del suelo seco sobre el volumen de partículas sólidas (Martinez, 2008).

La densidad de la partícula como la densidad aparente se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). La densidad aparente varía desde $0.1 \text{ g}/\text{cm}^3$ o menos en suelos orgánicos hasta $1,6 \text{ g}/\text{cm}^3$ en suelos minerales (Arias, 2007).

1.6.6.5 Porosidad

La porosidad de la superficie del suelo se mantiene por una capa de cobertura vegetal, protegiendo del impacto de las gotas de lluvias, generalmente la cobertura está constituida por los residuos que quedaron de la cosecha previa (FAO, 2000).

1.6.6.6 pH

La acidez del suelo se representa como pH, correspondiendo a p minúscula de potencial y H mayúscula del símbolo químico del hidrógeno. Un pH de 3 podría existir en casos donde existe extrema acidez, y con un pH 10 se presenta en suelos con gran contenido de sodio. Ninguno de esos suelos es apto para el crecimiento de ningún tipo de planta. El rango ideal pH para el crecimiento de los cultivos es de 6.5 a 7.2.

Un suelo con pH menor de 5.5 es un suelo que presenta problemas para la concentración de aluminio soluble, mismo que es perjudicial para la mayoría de los cultivos, debido a

que daña las puntas de las raíces y al momento de ingresar a la planta precipita el fósforo, elemento fundamental para la bioquímica de la planta.

Un suelo con niveles ácidos de pH tiene problemas de fertilidad debido a que los nutrientes presentes se precipitan y se vuelven insolubles y no están disponibles para el cultivo (Arias, 2007).

1.6.7 Estados del agua en el suelo

Según Martínez (2008), los estados del agua presente en el suelo se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Saturación
- Capacidad de campo
- Punto de marchitez permanente
- Agua útil
- Nivel de agotamiento permisible

1.6.7.1 Saturación

Después de una lluvia y riego abundante, los suelos con un extracto de capa impermeable o muy pocos profundos que impiden un adecuado drenaje. Cuando los poros existentes en el mismo se encuentren ocupados por agua se produce una asfixia radicular. Fassbender (1983) indica que, dependiendo de la textura, la materia orgánica y la composición química que posee el suelo pueden contener determinada cantidad de agua. Las arcillas alcanzan su punto de saturación con un 49%, mientras que los limosos alcanzan el 48% de agua y los suelos arenosos con un 45% aproximadamente.

1.6.7.2 Capacidad de campo

Se considera al contenido de agua que se encuentra en el suelo, después de que el haya sido drenado y disminuido de forma considerable la humedad del suelo.

Fassbender (1983) ratifica que, la capacidad de campo es una característica en la que se involucran el suelo, el drenaje, los procesos de evaporación y transpiración.

1.6.7.3 Punto de marchitez permanente

Se produce cuando las plantas ya no pueden absorber el agua que se encuentra presente en el suelo y como consecuencia ocurren cambios físicos en su estructura y se observan

marchita. Valverde (2007) analiza el contenido de humedad retenido por las partículas del suelo y no se puede utilizar para satisfacer las necesidades de las plantas.

1.6.6.4 Agua útil

Es una característica que está directamente relacionada con la respuesta de la planta y es la cantidad de agua disponible para que las plantas la extraigan sin dificultad (Martinez, 2008).

1.6.8 Nivel de agotamiento permisible

Es el porcentaje que se establece como una referencia para las programaciones de riego, siendo una de las bases adoptadas para realizar calendarios de riego, es decir el tiempo de riego, los intervalos y la frecuencia del mismo. IICA (1981) menciona, el valor depende de la demanda evaporativa y estado fenológico del cultivo.

1.6.9 Velocidad de infiltración del suelo

La velocidad de infiltración está en dependencia según las características de cada tipo de suelo como se muestra a continuación:

Tabla 5. Propiedades hídricas de los suelos.

Textura	Velocidad de infiltración (mm/h)	Porosidad (%)	Gravedad específica aparente	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez (%)
Arenoso	25 – 50	38	1.65	9	4
Franco arenoso	25	43	1.50	14	6
Franco	7,5 – 20	47	1.4	22	10
Franco arcilloso	2 – 15	49	1.35	27	13
Arcilloso	5	53	1.25	35	17

Fuente: (Vaughn and Orson, 1985)

Según Prudente (2015), existen diversas velocidades de infiltración según el tipo de suelo, confirmando lo que indica el autor anterior.

Tabla 6. Velocidad de infiltración según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración (mm/h)
Arenoso	> 30
Franco Arenoso	20 – 30
Franco	10 – 20
Franco arcilloso	5 – 10
Arcilloso	< 5

Fuente: (Prudente, 2015)

1.7 Calidad de agua

La calidad de agua que es utilizada en los sistemas de riego se evalúa por la composición que tiene y concentración de sólidos que pueda llegar a contener en suspensión, llegando a ocurrir procesos de salinización ocasionando consecuentemente daño en las estructuras presentes en los múltiples suelos que puedan existir en una localidad (Gurovich, 1985).

1.7.1 Determinantes de la calidad de agua

Yagüe (2003) indica que la calidad de agua depende no solo de su contenido en sales, los múltiples problemas existentes son los siguientes:

- **Salinidad:** A medida que aumenta el contenido de sales en la solución del suelo, incrementa la presión osmótica y la planta tiene que hacer un mayor esfuerzo.
- **Infiltración del agua:** Un alto contenido de sodio y bajo en calcio significa que las partículas tienen a disgregarse, lo que ocasiona una reducción de la velocidad de infiltración.
- **Toxicidad:** Algunos iones, como el sodio, cloro y boro se pueden acumular en los cultivos, llegando a reducir el rendimiento de cosecha.

Según Gurovich (1985), indica las características que determinan la calidad del agua de riego son las siguientes:

- Concentración de sólidos en suspensión.
- Concentración de sales solubles.
- Concentración relativa de Sodio en relación con otros cationes.
- Dureza del agua.

1.7.1.1 Concentración de sólidos en suspensión

El agua en su estado natural (ríos, lagos, etc), puede contener en su interior múltiples impurezas en forma suspendida o disuelta en la misma, Gurovich (1985) afirma que la relación con los sedimentos sólidos en suspensión no existe valores estandarizados o límites, generalmente se debe tratar el agua que se utiliza para el riego de los cultivos y buscar que la misma se encuentre lo más limpia posible, buscando no producir depósitos de materias sobre el suelo agrícola.

1.7.1.2 Concentración total de sales

La concentración de sales, en muchas ocasiones puede llegar a tener un efecto nocivo, así lo menciona Blair (1979), al referirse que puede llegar a producir bajas presiones de trabajo, obstrucciones en los emisores.

Usualmente las aguas que son utilizadas para el riego de los cultivos, tienen una conductividad eléctrica menor a 2.250 micromhos/cm, con esos estándares se obtienen crecimiento adecuado de las plantas, si existe un buen manejo del suelo y un correcto drenaje; aunque existen casos en donde se presentan cultivos con mayor tolerancia de sales que logran adaptarse y se desarrollan cuando el agua posee mayor conductividad eléctrica (Gurovich, 1985).

1.7.1.3 Concentración relativa de Sodio en relación con otros cationes

Yagüe (2003) indica que cuando se riega con agua que posee una mala calidad se acumula sodio en los primeros centímetros del suelo. Provocando la dispersión de los agregados en partículas más pequeñas, que llegan a obstruir los poros del suelo. También se produce el mismo efecto cuando existe un bajo contenido de calcio.

El mismo autor menciona que en algunos casos cuando el agua posee un bajo contenido de sales, llegan a disolver las sales solubles que se encuentran en el suelo, incluyendo al calcio, lo que provoca el mismo problema derivado de la escasez de calcio.

1.7.1.3.1 Relación de adsorción de Sodio o RAS

Según Gurovich (1985), menciona que al tratarse de un proceso de intercambio catiónico entre los componentes del suelo como arcillas y los diversos iones que se encuentran disueltos en el agua que fluyen en los perfiles de los distintos tipos de suelo, el peligro de

modificación queda definido por la relación Sodio (Na) y iones divalentes, expresado en la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

1.7.1.4 Dureza del agua

Se conoce como dura al agua cuando contiene más minerales que el agua común, así lo refiere Odetti and Bottani (2006), al confirma que el grado de dureza es una propiedad que resulta de la mayor o menor cantidad de sales presentes (Ca, Mg, Fe, Al, Sr, Mn) y es directamente proporcional a la concentración de sales de calcio y magnesio presentes. Según el grado de dureza se puede clasificar de la siguiente forma.

Tabla 7. Grados de dureza

Blanda	< 60 ppm
Medianamente dura	60 - 120 ppm
Dura	121 – 180 ppm
Muy dura	> 180 ppm

Fuente: (Odetti and Bottani, 2006)

1.8 Riego por aspersión

El riego es considerado una práctica ancestral que busca utilizar el líquido vital de forma eficiente sin llevar al cultivo a situaciones de estrés, y proveerle la cantidad que necesita según la etapa en la que se encuentra. Para llevarlo a cabo es importante minimizar las pérdidas por evaporación, escorrentía, entre otras cosas (Montero, 2000).

Según menciona que el riego por aspersión es la acción de aplicar el agua en el suelo en forma de roció, imitando la precipitación. La lluvia mecánica se produce mediante el movimiento del agua a través de las boquillas y la presión con la que es expulsada el agua al exterior (Tarjuelo, 1999).

1.8.1 Clasificación

Los sistemas de riego pueden clasificarse en dos grupos, los que se encuentran fijos y realizan el riego, estacionarios y los que se pueden movilizar mientras distribuyen uniformemente el agua sobre el terreno (Tarjuelo, 1991).

El mismo autor describe que dentro del grupo de los estacionarios, se encuentran los móviles que como lo menciona su nombre se puede movilizar de un lado a otro incluyendo la bomba del sistema, mientras que en los semifijos mantiene en un solo lugar la estación de bombeo y red principal permitiendo mover las tuberías y aspersores secundarios, por consiguiente, en los fijos mantiene todos sus elementos en un solo lugar.

1.8.2 Ventajas y desventajas

Ruiz (1995) menciona las siguientes ventajas de instalar un sistema de riego por aspersión:

- Mayor eficiencia del uso del agua.
- Mejor control de la lámina de riego a aplicarse.
- Uniformidad en la aplicación de agua sobre la superficie.
- Se puede utilizar en cualquier topografía (pendientes mayores a 3^o)
- Se evita la erosión y la formación de lodo sobre la superficie del suelo.
- Se requiere menor mano de obra para la producción.

Según Saavedra et al. (2004), las desventajas de adoptar el sistema de riego por aspersión son las siguientes:

- Elevados costos de instalación.
- Mayores costos por funcionamiento, debido a la presión de trabajo y las pérdidas de cargas en las tuberías.
- Disminución de la eficiencia de riego en presencia de viento, distorsiona el patrón de riego.
- Crea condiciones de alta humedad.

1.8.3 *Diseño de riego*

Según Fernández et al. (2010), indica que el diseño que se realiza para un sistema de riego por aspersión es un aspecto de gran relevancia porque muestra la capacidad de aplicar agua al cultivo de elección.

De acuerdo con el anterior autor un diseño se comienza recopilando información agronómica de la especie vegetal, del lugar en donde se va a colocar el cultivo definitivamente como datos de suelo, clima, lugar regable. Una vez obtenida esa información se procede a definir las características del sistema y se planifica el diseño hidráulico (cálculos de presiones y caudales, tipo de bomba, diámetro de las tuberías).

Es favorable conocer las condiciones importantes y los costos que conlleva instalar un sistema debido a factores como la irregularidad de un terreno, rentabilidad de la finca bajo secano, distribución de las épocas lluviosas durante el año. Valverde (2007) afirma que, antes de establecer un sistema de riego se deben hacer los siguientes estudios:

- Estudios climatológicos: el clima es un factor importante que se debe tomar en cuenta y se debe recopilar la información perteneciente a la zona donde se desea implementar la producción agrícola.
- Estudio edafológico: el suelo constituye la base donde se va a establecer el sistema de riego, y es uno de los responsables de proveerle nutrientes al cultivo y se debe tomar en cuenta sus propiedades físicas y químicas para determinar la capacidad de retención de agua.
- Estudios de ingeniería: contempla aspectos como el abastecimiento del caudal de agua, diseño y construcción de la obra.

1.8.4 *Componentes*

Los principales componentes que consta un sistema de riego por aspersión son los siguientes:

- Un sistema de bombeo: que es la encargada de llevar agua desde la fuente de abasto hacia todos los sectores de riego.
- Red de tuberías: mismas que llevan agua a los cultivos existente en la finca.
- Aspersores: son los encargados de simular una lluvia y distribuirla uniformemente en el terreno.

Así lo confirma Fernández (2010), indica que los componentes que conforman los sistemas de riego por aspersión son: equipo de bombeo, línea principal, líneas secundarias, sistemas de aspersores e inyectores para realizar fertiirrigación.

Los aspersores se clasifican de acuerdo con su función, su modo de operación, la presión de funcionamiento, la descarga y los materiales empleados en su manufactura. En la actualidad se producen aspersores metálicos y de materiales plásticos. Los aspersores se conectan a las tuberías de abastecimiento por medio de tubos elevadores cuya altura responde a la altura del cultivo y a las recomendaciones del fabricante (Sapir and Sneh, 2005).

1.8.5 Mantenimiento y reposición del sistema

Antes de la campaña de riego según Fernández (2010), se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Revisión del sistema de bombeo y los filtros.
- Revisar la existencia de tuberías en mal estado y en caso de ser necesario realizar el cambio.
- Reparar los tomas o boquillas.
- Verificar que en los sectores de riego tengan la misma calidad y modelo de boquillas.
- Realizar evaluaciones de coeficiente de uniformidad.

1.9 Diseño agronómico de riego por aspersión

El diseño agronómico es la primera parte del proceso que busca optar por un sistema de riego. Para cubrir las necesidades en las distintas fases del cultivo se determina la cantidad de agua a proporcionar y los tiempos, así lo menciona Tarjuelo (1991) al decir que antes de presentar un proyecto de riego se debe tener en cuenta varios condicionantes como el suelo, clima, cultivos, etc.

Por esta razón el autor considera que las fases del riego se desarrollan en tres diferentes fases:

- Cálculo de las necesidades de agua en los cultivos.
- Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia, duración, número de emisores, caudal, etc.

- Disposición de los emisores en el campo

1.9.1 Evapotranspiración del cultivo

Se utiliza el concepto de evapotranspiración del cultivo para describir la pérdida total de agua en un cultivo en forma de vapor, por evaporación del suelo y transpiración de la planta, durante un determinado periodo de tiempo (Olalla, 1994).

FAO (2006) menciona que, para el cálculo de la ETc, se realiza bajo el enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo son incorporados en la ETo y el coeficiente del cultivo (Kc) de la siguiente forma:

$$ETc = Kc * ETo$$

1.9.2 Necesidades reales

Fernández (2003) manifiesta que las necesidades reales del riego están condicionadas por las pérdidas del agua que producen al momento del riego debido a diversos factores como la percolación, escorrentía y evaporación ocasionando que las aguas reciban una cantidad menor de agua a la que se le proporciona.

También está determinada por casos en donde exista un exceso de sales en las capas superficiales y es necesario el lavado de las mismas, para un riego de aspersion con una frecuencia aproximada de 2 o más riegos, se considera la siguiente expresión:

$$FL = \frac{CE}{5 * CEe - CE}$$

CE: Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m)

CEe: Conductividad eléctrica correspondiente al 10% de disminución del rendimiento (dS/m).

Para el cálculo de las necesidades de riego, se emplea la siguiente formula:

$$Nr = \frac{Nn}{Efa * (1 - FL)}$$

1.9.3 Determinación de la frecuencia de riego

1.9.3.1 Dosis máxima de riego

Fernández (2003) indica que para determinar la dosis máxima de riego se emplea la siguiente formula:

$$D_m = d_a * \left(\frac{2}{3h}\right) * \frac{CC - PM}{100} * 100$$

Siendo:

- D_m : dosis máxima (m^3/ha)
- h : profundidad útil de riego, que equivale a 2/3 de la profundidad total de las raíces.
- d_a : densidad aparente del suelo (gr/cm^3)
- PM : punto de marchitamiento (%)

1.9.3.2 Número de riegos al mes

Fernández (2003) ratifica que los números de riegos al mes, se calcula dividiendo las necesidades reales por la dosis práctica de riego

$$N. \text{ riegos/mes} = N_r/D_p$$

Donde:

- N_r : necesidades reales en m^3/ha mes
- D_p : dosis de practica en m^3/ha

1.9.3.3 Tiempos de riego

Fernández (2003) plantea que el tiempo de riego expresado en horas, indica la dosis de riego que va aplicar, calculándola de la siguiente manera:

$$t = \frac{D_r}{P}$$

Siendo:

- D_r : dosis de riego en $mm/riego$
- P : precipitación de diseño del aspersor en mm/h

1.10 Diseño hidráulico de riego por aspersión

Analiza que en el diseño hidráulico se busca dimensionar una red de tuberías con la finalidad de conseguir la distribución uniforme del agua optimizando los recursos económicos, para eso se considera una tubería horizontal de riego que dispone de n emisores uniformemente espaciados.

Primero se debe realizar la respectiva sectorización según Martín (2004) el número de rectores de riego debe ser lo menor posible ya que cada uno debe contar con sus respectivos elementos. Para determinar el número de sectores se debe dividir el espacio total de la siguiente forma:

$$S(\text{número de sectores}) = \text{caudal demandado} / \text{caudal disponible}$$

1.10.1 Cálculo de pérdidas de cargas

Se calculan las pérdidas de cargas que van a existir durante el proceso, así lo indica Catota (2003) al afirmar que existen múltiples métodos como el de Darcy-Weisbach, misma que se muestra a continuación:

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

donde:

- hf: pérdida de carga debido al rozamiento
- f: coeficiente adimensional de las resistencias lineales
- L: longitud del conducto
- D: diámetro del conducto
- v: velocidad media del flujo
- g: gravedad

1.10.2 Cálculo tubería principal

Después identificar nuestra tubería principal De la Fuente (2013) ratifica que la tubería principal es la que se encarga de llevar el agua desde la fuente de agua hasta donde se piensa distribuir.

Catota (2003) para determinar los diámetros se consideran diferentes soluciones y se estudian diversas formas para disminuir los costos económicos, el diámetro se obtiene de la ecuación del caudal (Q) y área (A).

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

1.10.3 Cálculo de tuberías secundarias

Posteriormente se debe identificar la ubicación de las tuberías secundaria así lo menciona De la Fuente (2013) cuando se refiere a que se debe distribuir el agua desde una electroválvula hasta los emisores, se realiza el mismo criterio que se utilizó para el diseño de la tubería principal.

1.10.4 Distribución de líneas de riego

En campo se suele distribuir las parcelas según la forma y tamaño en una o varias unidades de riego, mismas que se pueden subdividir en varias subunidades para una mejor operación de riego. Está formada por una red principal o de alimentación, que distribuyen hasta la parcela, llevando el agua hasta la ubicación de los aspersores (Fernández, *et al.*, 2010).

1.10.5 Frecuencias de riego

La frecuencia de los riegos diarios no es recomendable, cuando no se toman en cuenta los parámetros como la textura del suelo finas. Se recomiendan riegos más distantes y con mayor volumen de agua en cada aplicación, permitiendo que existan periodos de drenaje y aireación del suelo, de esta forma se puede ampliar el bulbo húmedo (INIA, 2017).

2 CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del trabajo

El presente trabajo de investigación se realizó en la provincia de El Oro, cantón Pasaje, Parroquia Buenavista, sector Calichana en los predios de la Finca El Garrido, cuenta con 18 hectáreas, se localiza geográficamente en un punto con las siguientes coordenadas Latitud 3°20'38.9" Sur; Longitud 79°46'58.5" Oeste, posee una temperatura anual promedio de 25,9 °C y sus precipitaciones anuales son de 58,48 mm con una humedad relativa del 83%.

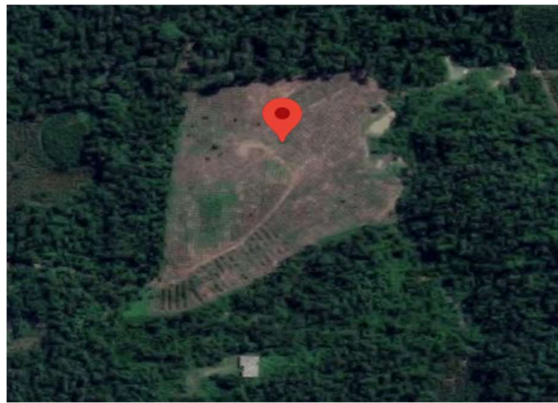


Figura 1. Ubicación geográfica de la finca “El Garrido”

Fuente: Google Maps

2.2 Materiales

Se realizó la propuesta de sistema del sistema de riego por aspersión con los siguientes insumos:

Tabla 8. Insumos para el diseño de riego

Ítems	Descripción	Cantidad
1	Análisis de agua	1
2	Análisis de suelo	1
3	Plano del lugar con curvas de nivel	1
4	Datos climáticos de la zona	1

2.3 Factores de estudio

2.3.1 Características climáticas

Se realizó el diseño de riego con los datos climáticos multianuales de la zona en donde se encuentra ubicada la finca, se recopiló información de la estación meteorológica Granja Santa Inés, correspondiente a los últimos 20 años, período que oscila desde 1993 hasta el 2012. Datos que se muestran a continuación:

Tabla 9. Datos climáticos de la zona

Datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temp. máx. (°C)	31.3	31.3	31.9	31.8	31.0	29.2	28.4	28.1	28.4	27.9	28.5	29.8
Temp. mín. (°C)	22.9	23.5	23.0	23.0	22.9	21.9	21.3	20.9	21.2	21,8	21.6	22.3
Humedad (%)	81.30	81.40	80.25	81.15	82.32	85.43	86.45	85.35	86.37	85.10	84.05	82.17
Viento (km/día)	122	110	117	113	107	103	110	115	124	117	117	128
Insolación (h)	2.33	2.71	3.55	3.73	2.80	2.53	1.97	1.81	1.20	1.12	1.16	1.92
Precipitación (mm)	126.58	187.49	157.94	87.75	24.40	12.25	10.35	10.87	11.27	15.55	21.37	35.98

Fuente: (INAMHI, 2012)

2.3.2 Tipo de suelo

El tipo de suelo es un factor que se consideró para establecer el tipo de riego, debido a la textura que posee depende la cantidad de agua que se aplica y cuando se lo realiza. Para esto se consideraron los resultados de los análisis de suelo de la finca “El Garrido.

Se realizó la recolección de muestras, para luego enviarlas al laboratorio de suelos en la Estación Experimental Santa Catalina. Los resultados del análisis de laboratorio se muestran a continuación:

Tabla 10. Datos de suelo

Parámetros	Unidad de medida	Valor estimado
Textura (Arena, Limo, Arcilla)	Porcentaje	41 – 37 – 22
Materia Orgánica	Porcentaje	1.9
Clase Textural	-	Franco
Humedad a capacidad de campo	Porcentaje	0.29
Humedad a punto de marchitez permanente	Porcentaje	0.148
Densidad aparente	g/cm ³	1.42
Velocidad de infiltración	mm/h	15.7
pH	-	6.79
CE	dS/m	1.19

Fuente: (Laboratorio de suelos Santa Catalina)

2.3.3 Calidad del agua

Otro aspecto que se consideró es la calidad del agua de riego, debido a que está directamente relacionada con los cultivos y tiende a modificar las condiciones de suelo en donde se la aplica. Motivo por el cual se realizaron estudios.

Se recolectó la muestra de agua para obtener los análisis químicos actualizados, siguiendo los protocolos establecidos por el INIAP, para luego ser enviadas al laboratorio donde finalmente se obtuvieron los resultados que sirvieron para conocer la calidad de agua (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de agua

Parámetros	Unidad de medida	Valor estimado	
pH	-	6.61	
CE	mS/cm	0.16	
RAS	-	0.40	
Dureza	-	56	
Cationes	Ca	mgL	13.79
	Mg	mgL	5.23
	Na	mgL	6.77
	K	mgL	1.10
Aniones	CO3	mgL	-
	HCO3	mgL	79.4
	Cl-	mgL	19.5
	SO4	mgL	43.6
	B	mgL	43.6

Fuente: (Laboratorio de suelos Santa Catalina)

2.3.4 Diseño agronómico

Se elaboró el diseño agronómico partiendo del punto más crítico en cuanto a las necesidades hídricas del cultivo de banano y el estado fenológico en el que se encuentra, considerando la interrelación entre agua, suelo y clima para el diseño.

2.3.4.1 Cálculo de la evapotranspiración ETo

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo), se obtuvieron datos climáticos mensuales correspondiente a la estación meteorológica más cercana al lugar donde se realizó el estudio; se utilizó la ecuación matemática de FAO Penman-Monteith, misma que se encuentra establecida en la publicación No. 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO.

$$ETo = c ((W * Rn + (1 - W) * F(u) * (ea - ed))$$

El programa Cropwat 8.0 se basa en las directrices establecidas en el manual de FAO, teniendo en cuenta ese aspecto se procedió a introducir manualmente los datos climáticos promediados del lugar de investigación correspondiente a los últimos 20 años de la estación meteorológica Granja Santa Inés, para finalmente obtener los valores de ETo.

A continuación, se obtuvieron los valores de evapotranspiración de referencia, resultados que posteriormente se emplearon para el diseño agronómico, en donde se toma el valor de ETo más alto.

2.3.4.2 Cálculo de la evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración del cultivo es un proceso que incluye dos aspectos, la evaporación del agua existente en el suelo hacia la atmósfera y la transpiración del cultivo, se conoció la resultante de ese proceso por medio del programa Cropwat 8.0.

Se consideró la evapotranspiración de referencia por el coeficiente del cultivo (K_c) del banano eligiéndose el valor más alto debido a que los requerimientos hídricos del cultivo en esta fase son mayores y lo que se busca es satisfacer las necesidades del mismo.

$$E_{To} = K_c * E_{To}$$

2.3.4.3 Cálculo de la infiltración de suelo

La infiltración del agua en el suelo es el proceso mediante el cual la gota ingresa sobre la superficie llenando los poros existentes en las capas de suelo. Para medir la infiltración se realizaron varios procesos que se detallan a continuación:

- El método que se empleó para saturar la superficie del suelo se hizo mediante la elaboración de dos anillos concéntricos con material de aluminio con las dimensiones de 305 mm de ancho * 400 mm de altura el anillo interno mientras que el externo 508 mm de ancho * 400 mm de altura.
- Posteriormente se llevó a la finca los anillos previamente elaborados y se seleccionó el lugar en donde se realizó la prueba, se buscó una zona sin compactación y alejado de los caminos.
- Posteriormente se procedió a limpiar el terreno, dejándolo libre de malezas y después se colocaron los anillos sobre la superficie plana, introduciendo 10 cm de profundidad sobre el suelo para evitar de esa forma la fuga de agua, después de eso se verificó que el anillo que se encuentra en el interior se mantenga centrado y a una misma altura en todos sus lados, es decir que haya sido introducido de forma homogénea.
- Una vez ya comprobado el correcto estado de los anillos, se procedió a colocar una cinta (regla) para medir el volumen inicial que tendrá el agua. Se llenó al mismo tiempo con agua potable los dos anillos (interno y externo), alcanzando una altura de 20 cm.
- De inmediato se tomó el tiempo de prueba de campo, con el siguiente formato:

Tabla 12. Formato para la prueba de infiltración en campo

Tiempo (min)	Relleno Del Cilindro Interior (cm)	Lecturas
00	20.0	
02	-	
02	-	
02	-	
02	-	
02	-	
05	20.0	
05	-	
05	-	
05	-	
05	-	
10	20.0	
10	-	
10	-	
10	-	
10	-	
15	20.0	
15	-	
15	-	
15	-	
30	20.0	
30	-	
60	20.0	
60	-	

- Se repitió la misma metodología de la prueba en 3 puntos distintos de la finca “El Garrido”, para obtener resultados más precisos.
- Luego de la toma de datos y obtención de resultados preliminares en campo se procedió a tabularlos.



Figura 2. Medición de la velocidad de infiltración en campo.

- Se relleno la plantilla con los datos de campo (Tabla 12). Además, la lámina parcial se determinó partiendo desde el volumen inicial menos el volumen de agua que se infiltró en el suelo. Consecuentemente la lámina infiltrada acumulada que se obtuvo sumando el volumen anterior con el actual, en cada una de las repeticiones.

Por otro lado, se calculó también la infiltración instantánea, la cual consideró la lámina parcial sobre el tiempo en minutos en el que se realizó la prueba. Para finalmente llevarlo a horas.

- Una vez obtenido los distintos valores de infiltración instantánea, se generó un gráfico de dispersión y la ecuación del mismo.
- Posteriormente se aplicó la fórmula para determinar la infiltración básica, partiendo de la ecuación generada por el gráfico de la infiltración instantánea mediante la ayuda del software Excel, con la siguiente formula:

$$I_b = k * \left(\frac{n * k}{0.1} \right)^{\frac{-n}{n * 1}}$$

Fuente: (Leitón, 1985)

Donde:

k= Factor numérico adimensional, que representa la velocidad de infiltración se obtiene analíticamente o gráficamente.

n= Valor que varía entre 0 y -1. Cuando se grafican los datos de campo y se ajustan al modelo, es la pendiente de la curva de ajuste.

2.3.4.4 Lámina de riego

Se determinó de la lámina de riego, teniendo en cuenta múltiples parámetros de suelo del lugar donde se estableció la investigación, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y la densidad aparente (Da), mismos que fueron obtenidos previo a la recopilación de muestras para el laboratorio en donde se obtuvieron los resultados. Datos empleados para el cálculo del nivel de agotamiento permisible (NAP), para posteriormente determinar la profundidad radicular (Pr) del cultivo de banano mediante el manual 56 correspondiente a (FAO, 2006):

$$HA = (CC - PMP) * Da * Pr$$

$$L_r = NAP * HA$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.3.4.5 Intervalo de riego

El intervalo de riego comprende el descanso que ocurre entre dos riegos de forma continua y está determinado según el cultivo, el tipo de suelo que posee la finca y el clima del lugar donde se elaboró el proyecto. Para esto se consideró la lámina de riego (L_r) sobre la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

$$Fr = \frac{L_r}{ET_c}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.3.4.6 Selección del tipo de aspersor

Se seleccionó el aspersor considerando los diversos catálogos que se encuentran disponibles en el sector industrial, debido a que existen muchos que ofrecen una cantidad de alternativas de acuerdo con cada cultivo y al terreno en donde se piensa emplear.

Se tomó en cuenta el caudal y el radio de alcance que posee el mismo, con el objeto de distribuirlo de forma uniforme, manteniendo los niveles de eficiencia en el marco de plantación definido. Además, se tomó en cuenta que la pluviometría que produce el aspersor en el sistema sea igual o inferior a la tasa de infiltración que posee el suelo, para evitar de esa forma problemas de escurrimientos o encharcamientos en cada una de las parcelas.

2.3.4.7 Distancia entre aspersores

Se consideró la capacidad de alcance que posee el aspersor elegido por el diseñador, garantizando la cobertura total del terreno y la eficiencia del sistema como tal. Se efectuó el cálculo tomando en consideración la velocidad del viento de la zona y el diámetro de cobertura que posee el aspersor.

2.3.5 Distancia entre línea

La distancia que se dispuso entre las líneas de riego se determinó mediante la fórmula que propone conocer el coeficiente ya establecido según el tipo de distribución en triángulo

equilátero (0,866) que tiene el cultivo en campo y la distancia entre los aspersores (S), tal como se muestra a continuación:

$$L = 0.866 * S$$

2.3.5.1 Área y bloques por sector

El terreno de la finca se dividió mediante diversos sectores con el objetivo de mantener el caudal de forma uniforme en el diseño agronómico. Un sector de riego es la parte en la cual se fraccionó la extensión total del terreno. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron el caudal disponible (Qdisp.) del sistema dividido sobre el caudal por hectárea (Qha).

Mientras que en los sectores de riego (#sr) se seccionó el área total de la finca, sobre el área destinada para el riego (Asr). Por consiguiente, para el área del sector de riego se consideró el área total repartida por el número de sectores (#sr).

Además, el número de bloques fue definido por el diseñador. Por otra parte, para delimitar el área de cada bloque se estableció mediante el área del sector de riego sobre los bloques del sector. Aplicando las siguientes fórmulas:

$$Asr = Qdisp./Qha$$

$$\#sr = \text{Área total}/Asr$$

$$Asr = \text{Área total}/\#sr$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.3.5.2 Caudal del bloque y sector de riego

Se determinó la cantidad de agua que circula en el sistema, para esto se priorizó el cálculo del caudal que se necesita en el diseño de riego adoptado, para así mantener la eficiencia, optimizando el recurso hídrico en la propiedad agrícola, de la siguiente forma:

1. Se calculó el caudal del sector de riego estimando el caudal del bloque (Qb) multiplicado por el número de bloques del sector de riego (#Bsr).
2. Por consiguiente, se determinó el caudal del bloque tomando en consideración el caudal de la hectárea por el área del bloque.

$$Q_{sr} = Q_b * \#B_{sr}$$

$$Q_b = Q_{ha} * A_b$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.3.5.3 Pluviometría del aspersor

Se evaluó el valor de la precipitación que emite el aspersor escogido, según su caudal (Q_{asp}) emitido, la constante 3.6 para llevar de l/s a m^3/ha , el espaciamiento entre aspersores (S), laterales (L) definido anteriormente entre ellos, además se precisó si la boquilla escogida es adecuada, es decir si la velocidad de infiltración del suelo es mayor sobre la aplicada, en caso de ser así, se lo considera efectivo o aceptable. Aplicando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1000 * Q_{asp} * 3.6}{S * L}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.3.5.4 Tiempo del sector de riego

Se determinó el tiempo de riego que se proporciona a cada uno de los sectores en los que se divide la finca “El Garrido”, mediante la relación de la lámina de riego ajustada (L_r) en mm y la pluviometría del emisor mm/h (P_{asp}), como se muestra continuación:

$$T_r = \frac{L_r}{P_{asp}}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

2.3.6 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico se estableció mediante varios parámetros, se tomó en cuenta el caudal disponible para el adecuado funcionamiento del sistema y las pérdidas cargas que existen, lo cual permitió escoger e identificar los diámetros de tuberías en cada uno de los sectores de la finca, siguiendo los métodos de la hidráulica ya establecidos en los distintos sistemas de riego.

2.3.7 Determinación de las velocidades

Se determinó la velocidad del agua que circula en el interior de cada una de las tuberías que conforman la red de distribución del sistema de riego, aplicando la norma general que

específica que no debe sobrepasar los 2 m/s, siendo aconsejable un intervalo de 0.8 a 1.5 m/s se comprobó la velocidad mediante la siguiente fórmula, la cual considera el caudal (Q) y el diámetro (D) interior que posee la tubería escogida por el diseñador.

$$V = \frac{1237 * Q}{D^2}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

Por otra parte, se calculó el número de Reynolds el cual es otro factor que relaciona las propiedades físicas del fluido que circula en el interior de las tuberías, se conoce que el mismo es un número adimensional, lo cual indica que no posee unidades.

Y está directamente relacionada con la velocidad que circula el líquido en el interior de las tuberías (v), la longitud que tiene la tubería o el conducto (L), la densidad que posee el líquido (ρ) y finalmente la viscosidad del agua (μ).

$$Re = (v \cdot L \cdot \rho) / \mu$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

Se encuentra establecido que cuando el fluido oscila o es menor a 2 100 se conoce como flujo de carácter laminar, pero si se encuentra entre los rangos de 2 100 hasta los 4 000 se denomina de transición y para los que poseen valores mayores a 4 000 son conocidos como turbulentos.

2.3.7.1 Dimensionamiento de tuberías principales y secundarias

En el diseño hidráulico se dimensiona la red de tuberías con el objetivo de alcanzar el reparto uniforme de agua de riego a lo largo de cada uno de los ramales, existentes en cada sector de riego.

Por otra parte, el dimensionamiento está directamente relacionado con las pérdidas de cargas, rozamiento, desniveles y la velocidad con que es transportada el agua de riego y el diámetro de estas varían con la finalidad que los costos sean menores para el productor.

Para el diseño de tuberías se toman distintos parámetros para el diseño.

- Caudal disponible del sistema.
- Puntos de entrada y salidas de la tubería.
- Condiciones del lugar donde se instala el sistema.

- Diámetro de las tuberías internos y externos (principales y secundarias).

2.3.7.2 Determinación de la tolerancia de caudales y presión

2.3.7.3 Caudal

Se cálculo la tolerancia de caudales, se tuvo en cuenta el coeficiente de uniformidad (CU), el caudal del aspersor (q_a) y el coeficiente de variación (Cv) dada por la ficha técnica de Plastigama respecto al emisor escogido y finalmente el número de aspersores (e).

$$q_{ns} = \frac{CU * q_a}{1 - \frac{1.27 * Cv}{\sqrt{e}}}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

Las consideraciones en cuanto a la determinación de la tolerancia de caudales fueron dirigidas por diversos parámetros, cuando mayor es el coeficiente de uniformidad, los gastos administrativos serán elevados en la instalación del sistema. Se debe tomar en cuenta, para que exista una menor alteración del caudal, se ajustan las presiones hasta conseguir uniformidad, motivo por el cual se considera que, a mayor distancia menor debe ser el diámetro de las tuberías a emplearse en el sistema.

2.3.7.4 Presión

El caudal que circula por el interior de la tubería está en dependencia del diámetro y la velocidad con que recorre el agua el sistema y mientras mayor caudal mayor diámetro. La presión del caudal de agua se determinará conociendo el coeficiente de descarga por la presión de entrada del emisor.

En el sistema de riego por aspersión se tomó en cuenta que al variar el 10% del caudal, se produjo una variación del 20 % en cada entrada de un aspersor. Los aspersores que se encuentren en el mismo lateral deben tener una diferencia de presión inferior al 20% respecto a la presión nominal del aspersor.

Se utilizaron los mismos parámetros en todos los bloques de riego, los cuales se encuentran compuestos de tuberías secundarias y laterales, entonces se obtiene lo siguiente:

$$h_{f \text{ terciaria}} + h_{f \text{ secundarias}} \leq \Delta H$$

Fuente: (Pizarro, 1996)

2.3.7.5 Variación de presiones

La diferencia que existe entre las tuberías secundarias y laterales se determinó de la siguiente forma:

$$\Delta H_{(\text{subunidad})} = M (h_a - h_n)$$

Fuente: (Pizarro, 1996)

En donde para conocer la diferencia de presiones en un sector, se tomó en cuenta la cantidad total de diámetros empleados en las líneas de riego (M), además de conocer las presiones máximas y mínimas. A continuación, se muestra el valor de “M” de acuerdo al número al número diámetros empleados en un bloque:

Tabla 13. Valores de M para hallar pérdidas de carga

Diámetros	1	2	3
Constante	4.3	2.5	2

Fuente: (Pizarro, 1996)

2.3.7.6 Pérdidas de cargas

2.3.7.7 Pérdidas por fricción

El flujo que pasa por la tubería principal, secundarias, laterales y accesorios (codos, conectores, etc.) a medida que recorre las pérdidas de cargas son mayores, un mal diseño provoca pérdidas considerables y para el cálculo de las mismas se consideró la fórmula de Darcy-Weisbach, en función del caudal, el factor de fricción (f), longitud que posee la tubería de riego (l), diámetro interior de la tubería (D), velocidad con que circula (v) y finalmente la gravedad (g).

$$hf = 0.0826 * f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Fuente: (Tarjuelo, 1991)

Además, se calculó las pérdidas de cargas en los laterales (hf) por el factor de Christiansen (f). misma que considera la longitud de la tubería (l), el número de emisores (n) y finalmente el valor medio del agua (β) con la siguiente formula:

$$hf_{lat} = hf * F$$

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

2.3.7.8 Desniveles

Se tomó en cuenta el desnivel existente en cada uno de los sectores del terreno (curvas de nivel), la presencia de pendientes suele aumentar o disminuir la velocidad con la que circula el agua, motivo por el cual la ubicación de las tuberías puede encontrarse a favor o en contra de las pendientes.

2.3.7.9 Cálculo de potencia de la bomba

Para el cálculo de la bomba se tomaron en cuenta varios aspectos como: el caudal que ingresa al sistema(Q), la sumatoria total de las pérdidas de cargas que ocurren dentro de todos los sectores de riego (H) y finalmente se dividió por la eficiencia que se designan a las bombas de los sistemas de riego (Ep).

$$N = \frac{Q * H}{3\ 960 * E_p}$$

Las pérdidas de cargas que se consideraron para el cálculo de la potencia de la bomba fueron los siguientes:

Tabla 14. Cálculo del TDH

<i>Carga H</i>
Presión del emisor
Pérdida de carga en laterales
Pérdida de carga en secundaria
Pérdida de carga en principal
Pérdida de carga el Válvulas y accesorios
Pérdida de carga en succión
Desnivel reservorio eje de bomba
<i>TDH</i>

2.3.8 Trazado de diseño en plano

Se visualizó el plano topográfico de la finca “El Garrido” en donde se realizó el diseño de riego mediante la ayuda de la herramienta gráfica AutoCAD, mostrando las siguientes consideraciones:

1. Topografía del terreno
2. Distribución del cabezal, red de riego y los emisores, desde el pozo hasta los diversos sectores
3. Dimensiones y trayecto de cada una de las tuberías principales y secundarias.

A continuación, en la Figura 3 se muestra el estado actual de la finca en donde se efectuó el diseño hidráulico del cultivo de banano:

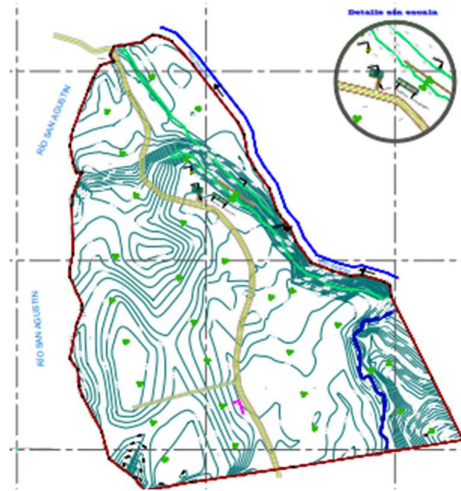


Figura 3. Plano de la finca “El Garrido”

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recopilación de información básica

Se recopilaron múltiples datos previo al diseño del sistema de riego por aspersión, como datos de clima, suelo, el plano topográfico correspondiente a la finca “El Garrido”, aspectos que se detallan posteriormente.

3.1.1 Adquisición del plano topográfico

Un punto importante que se consideró, es la extensión total del terreno que cuenta con un área de 18 ha en donde se realizó el estudio correspondiente en la finca “El Garrido”, para la implementación del sistema de riego para el cultivo de banano.

Tabla 15. Parámetros preliminares para diseño de riego

Parámetros	Unidad De Medida	Valor
Cultivo	-	Banano
Área	ha	18
Marco de Plantación	m ²	2.5 x 2.5
Tipo de riego	.	Aspersión

3.1.2 Datos de clima y suelo de la zona

3.1.2.1 Datos climáticos

El diseño agronómico consistió básicamente en determinar las necesidades hídricas del cultivo en todas sus etapas, considerando el Kc máximo, además de las condiciones edafoclimáticas de la zona.

En la siguiente tabla se presenta la información obtenida a partir de datos climáticos de la zona, del cultivo y el caudal disponible para el sistema de riego por aspersión que se diseña para la finca “El Garrido”.

Tabla 16. Datos climáticos de la zona

Datos clima		
Descripción	Valores	Unidades
Nº Hectáreas	18	ha
ETo promedio	2.89	mm
ETo máxima	3.56	mm/día
Vel. Media del viento	1.34	m/s
Kc máximo	1.10	-
ETc Máxima	3.01	mm/día
ETc total (marzo - enero)	680	mm
Nivel agot. Perm (NAP)	0.35	%
Densidad de siembra	3 x 2.15	m
Fuente de agua: Río	37.85	l/s

En la Tabla 16 se observa la ETo promedio y máxima, de igual forma la ETc total y máxima mismas que se utilizaron la determinación de la lámina de riego, además de la velocidad del viento promedio misma que es importante considerar, pues afecta directamente a la eficiencia de aplicación respecto al aspersor escogido.

Por otra parte, se encuentra la distribución del cultivo en la finca y el caudal que estará disponible para distribuir de forma uniforme a las zonas de riego. Cabe recalcar que en la (Figura 4) se detallan los valores de ETo promedio y ETo máxima.

3.1.2.2 Datos de suelo

Los datos de suelo que se presentan a continuación corresponden a los resultados de las muestras obtenidas a partir de análisis elaborados en el laboratorio Santa Catalina, pertenecientes a los predios de la finca en donde se realizó el estudio.

Tabla 17. Datos de suelo

Datos-Suelo		
Descripción	Valores	Unidades
Suelo Franco	-	-
Capacidad de campo (CC)	29	%
P. de marchitez perm. (PMP)	14.8	%
Densidad aparente	1.42	g/cm ³
V. de infiltración	15.7	mm/h

En la Tabla 17 se muestran los valores obtenidos el laboratorio de suelos, la finca “El Garrido” posee suelos con textura franca con niveles de CC de 29%, y PMP de 14.8%, además de una densidad aparente de 1.42 g/cm³ por otra parte, la profundidad radicular para el cultivo de banano que según la (FAO, 2006) corresponde a 0.5 m.

3.1.3 Cálculo de la evapotranspiración de referencia

Se recopiló información anual de los últimos 20 años de la estación meteorológica Granja Santa Inés la cual se promedió entre los meses de enero a diciembre para posteriormente determinar la ETo mensual y promedio del cultivo de banano, mediante el software Cropwat el cual usa la ecuación matemática de FAO Penman-Monteith:

$$ETo = c ((W * Rn + (1 - W) * F (u) * (ea - ed))$$

A continuación, se muestran los resultados introducidos en el software Cropwat 8.0:

País		Ecuador	Estación		Granja Santa Ines		
Altitud	15	m.	Latitud	3.30	°S		
			Longitud	79.89	°W		
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	22.9	31.3	81	122	2.3	12.9	3.14
Febrero	23.5	31.3	81	110	2.7	13.8	3.29
Marzo	23.2	31.9	80	117	3.5	15.0	3.56
Abril	23.2	31.8	81	113	3.7	14.6	3.44
Mayo	22.9	31.0	82	107	2.8	12.4	2.96
Junio	21.9	29.2	85	103	2.5	11.4	2.60
Julio	21.3	28.4	86	110	1.9	10.8	2.44
Agosto	20.9	28.1	85	115	1.8	11.4	2.57
Septiembre	21.2	28.4	86	124	1.2	11.1	2.57
Octubre	21.8	27.9	85	117	1.1	11.2	2.59
Noviembre	21.6	28.5	84	117	1.1	11.0	2.60
Diciembre	22.3	29.8	82	128	1.9	12.1	2.90
Promedio	22.2	29.8	83	115	2.2	12.3	2.89

Figura 4. Cálculo de la ETo Mediante Cropwat

Para realizar el diseño agronómico se consideró el mes donde ocurrió la mayor demanda de evapotranspiración de referencia la cual correspondió a 3.56 mm/día en el mes de marzo, además del valor promedio anual asciende a 2.89 mm/día.

3.1.4 Kc del cultivo de banano

El Kc del cultivo de banano según (FAO, 2006) para la etapa inicial corresponde a 0.5 mientras que para la etapa media es 1.1 por consiguiente en la etapa final indica que es 1, el valor que se contempló para el diseño agronómico del cultivo fue el Kc máximo correspondiente a 1.1, pues es en donde el cultivo requiere mayor demanda hídrica y es necesario suplir las mismas.

3.1.5 Cálculo del ETc del cultivo

Una determinante fundamental dentro del diseño agronómico es proveer el balance hídrico, considerando que uno de los factores implicados es el Kc máximo, el cual depende del tipo del cultivo y la etapa en vegetativa en la que se encuentra.

A medida que el cultivo se desarrolla el coeficiente va aumentando hasta llegar a la etapa media que es en donde alcanza el valor máximo, posteriormente entra en una fase del cultivo que agronómicamente se conoce como senescencia y el valor del Kc empieza a disminuir.

Por otra parte, el factor que se consideró para determinar la ETc del cultivo, es la ETo de referencia previamente establecida, mediante la ayuda del software Cropwat como se muestra a continuación:

Estación ETo: Granja Santa Ines Est. de lluvia: Granja Santa Ines				Cultivo: Banano Fecha de siembra: 07/03			
Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Mar	1	Inic	0.50	1.74	6.9	16.7	0.0
Mar	2	Inic	0.50	1.78	17.8	40.7	0.0
Mar	3	Inic	0.50	1.76	19.4	35.5	0.0
Abr	1	Inic	0.50	1.74	17.4	30.1	0.0
Abr	2	Inic	0.50	1.72	17.2	25.6	0.0
Abr	3	Inic	0.50	1.64	16.4	19.6	0.0
May	1	Inic	0.50	1.56	15.6	12.3	3.3
May	2	Inic	0.50	1.48	14.8	5.9	8.9
May	3	Inic	0.50	1.42	15.6	5.3	10.3
Jun	1	Des	0.51	1.38	13.8	5.0	8.7
Jun	2	Des	0.53	1.39	13.9	3.6	10.3
Jun	3	Des	0.56	1.44	14.4	3.5	10.8
Jul	1	Des	0.60	1.49	14.9	3.6	11.3
Jul	2	Des	0.63	1.53	15.3	3.4	11.9
Jul	3	Des	0.66	1.63	18.0	3.4	14.5
Ago	1	Des	0.69	1.74	17.4	3.5	13.9
Ago	2	Des	0.72	1.84	18.4	3.6	14.9
Ago	3	Des	0.75	1.93	21.2	3.6	17.6
Sep	1	Des	0.78	2.01	20.1	3.6	16.5
Sep	2	Des	0.81	2.08	20.8	3.5	17.3
Sep	3	Des	0.84	2.17	21.7	4.1	17.6
Oct	1	Des	0.87	2.25	22.5	4.6	17.9
Oct	2	Des	0.90	2.34	23.4	5.1	18.3
Oct	3	Des	0.93	2.42	26.7	5.7	21.0
Nov	1	Des	0.97	2.51	25.1	6.0	19.0
Nov	2	Med	0.99	2.58	25.8	6.5	19.3
Nov	3	Med	1.00	2.69	26.9	8.1	18.8
Dic	1	Med	1.00	2.79	27.9	8.1	19.8
Dic	2	Med	1.10	2.89	28.9	8.7	20.2
Dic	3	Med	1.00	2.97	32.7	17.0	15.7
Ene	1	Fin	0.98	3.01	30.1	27.3	2.7
Ene	2	Fin	0.95	2.99	29.9	35.4	0.0
Ene	3	Fin	0.92	2.95	29.5	34.7	0.0
					680.3	403.5	360.5

Figura 5. Obtención del ETc del cultivo mediante Cropwat

En la Figura 5 se observa los valores de ETc del cultivo correspondientes al periodo comprendido entre los meses de marzo y enero, en donde se obtuvo un valor promedio de 680.3 mm, por consiguiente, el ETc máximo alcanza el valor de 3.01 mm/día, datos que son utilizados en el diseño agronómico para determinar la dosis de riego a aplicar en campo.

3.1.6 Infiltración del suelo

Se calculó la infiltración instantánea generando condiciones de saturación a partir de una serie de datos (repeticiones de tiempo) obtenidos en campo y se elaboró una tabla de resultados. Como se muestra a continuación:

Tabla 18. Infiltración instantánea

Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Relleno del cilindro interior (cm)	Lecturas (cm)	Lámina parcial (mm)	Lámina acumulada (mm)	Infiltración instantánea (mm/h)
0	-	20	-	-	-	-
2	2	-	19	10	10	300
2	4	-	18.1	9	19	270
2	6	-	17.4	7	26	210
2	8	-	16.9	5	31	150
2	10	-	16.1	8	39	240
5	15	20	19.3	7	46	84
5	20	-	18.7	6	52	72
5	25	-	18.4	3	55	36
5	30	-	17.8	6	61	72
5	35	-	17.3	5	66	60
10	45	20	19.5	5	71	30
10	55	-	19	5	76	30
10	65	-	18.7	3	79	18
10	75	-	18.4	3	82	18
10	85	-	17.9	5	87	30
15	100	20	19.6	4	91	16
15	115	-	19.1	5	96	20
15	130	-	18.5	6	102	24
15	145	-	17.9	6	108	24
30	175	20	19.4	6	114	12
30	205	-	18.9	5	119	10
60	265	20	19.4	6	125	6
60	325	-	18.8	6	131	6

En la Tabla 18 se demuestra los tiempos en que se realizó la prueba de campo con cada una de sus lecturas, además de la lámina parcial que corresponde a la diferencia que existe entre el volumen inicial y el que se infiltra.

Por otra parte, se observa la lámina acumulada la cual pertenece a la sumatoria de las láminas parciales entre el volumen anterior con el actual y así consecuentemente, es decir se refiere a la cantidad de agua que se mantiene en los poros existentes en el suelo durante una serie de tiempo, así lo refiere Valverde (2007) al mencionar que la lámina se acumula en el suelo durante un tiempo; tiende a incrementarse a medida que aumenta el tiempo.

Además, se muestra la infiltración instantánea la cual corresponde a un volumen inicial del agua que se sumerge en el suelo y consecuentemente disminuye a medida que

transcurre el tiempo, hasta que se estabiliza, así lo ratifica el mismo autor al indicar que la velocidad con que el suelo absorbe el agua durante un tiempo previamente establecido, tiende a disminuir hasta alcanzar un valor constante.

La infiltración instantánea (I) es un método que se utilizó para posteriormente aplicar la fórmula de infiltración básica, utilizando los valores existentes en la ecuación generada por el gráfico:

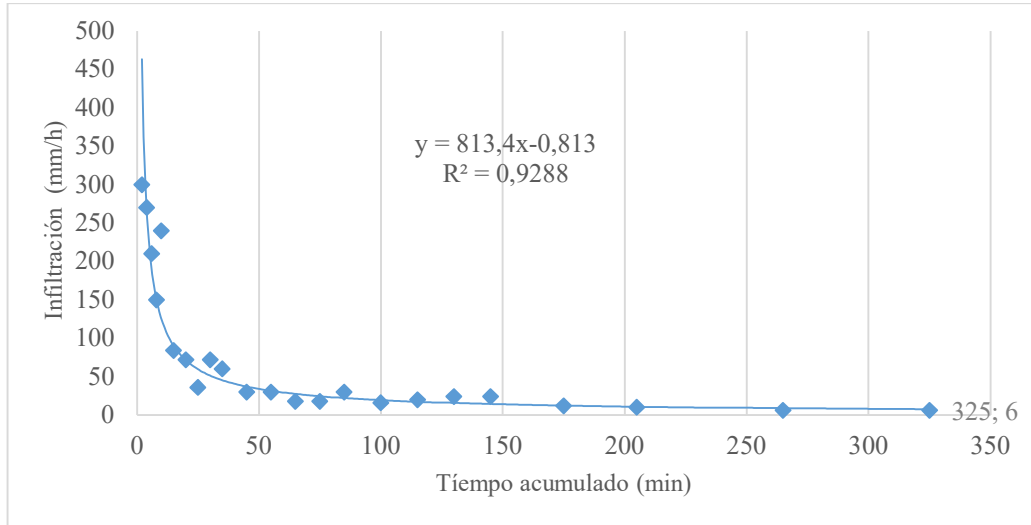


Figura 6. Infiltración instantánea

En la Figura 6 muestra la infiltración instantánea mostrando que a medida que aumenta el tiempo la infiltración del suelo se estabiliza desde los 100 minutos hasta el término de la evaluación la cual corresponde a 325.6 min.

A continuación, se muestra la fórmula con la que se determinó la infiltración básica. Los datos que se utilizaron fueron los que se generaron en la ecuación del gráfico de infiltración instantánea, posteriormente se reemplazaron las variables obteniendo de esta forma la I_b del suelo, con la ayuda del software Excel, de la siguiente forma:

Tabla 19. Cálculo de la infiltración básica

Formula: $I_b = k * \left(\frac{n * k}{0,1}\right)^{\frac{-n}{n * 1}}$		
Variables	Resultado	
k= 813.4	$I_b = 813.4 * \left(\frac{-0.813 * 813.4}{0.1}\right)^{\frac{-(-0.813)}{-0.813 * 1}}$	15.7 mm/h
n= -0.813		

La textura de suelo correspondiente a la finca “El Garrido” según los análisis realizados por el laboratorio INIAP Santa Catalina es Franco, Vaughn and Orson (1985) indican que los suelos con esas características poseen una velocidad de infiltración entre los rangos de 7.5 hasta 20 mm/h, por consiguiente, el estudio realizado en campo mostró que la infiltración del suelo alcanza los 15.7 mm/h.

3.1.7 Datos de la boquilla para el diseño se riego

A continuación, se muestra las características de la boquilla que se utilizó para elaborar el diseño agronómico y determinar los tiempos de riego, el caudal que se distribuye por hectárea y el diámetro de alcance.

Tabla 20. Datos de la boquilla

Smooth Drive	
Boq # 7 (7/64”) Lima	
Presión en la boquilla (bar).	2.41
Caudal (l/s)	0.125
Diámetro a 0.50 m	19.65

Fuente: (Plastigama, 2020)

3.2 Diseño agronómico

A continuación, se muestra detalladamente cada uno de los aspectos que se tomaron en cuenta para elaborar un diseño agronómico para el cultivo de banano, en el sistema de riego por aspersión.

3.2.1.1 Lámina de riego

Se recopiló información de suelo de la finca en donde se realizó el estudio como capacidad de campo, punto marchitez permanente, densidad aparente, nivel de agotamiento permisible y profundidad radicular, se procedió al reemplazo de variables obteniendo como resultado en la lámina de riego a aplicar con un valor de 35.29 mm, lo cual nos indica el volumen de agua a aplicar en la superficie.

$$L_r = 0.35 * (0.29 - 0.148) * 1.42 * 0.5 * 1000 = 35.29 \text{ mm}$$

3.2.1.2 Intervalo de riego

El intervalo del tiempo de riego corresponde al lapso de tiempo en el cual se ejecuta un turno de riego buscando que no existan situaciones de estrés hídrico en los cultivos y se suplan las necesidades del mismo, así lo ratifica Cisneros (2003) al mencionar que el intervalo de riego corresponde a un lapso de tiempo en días que transcurre entre dos riegos sucesivos, según el periodo vegetativo en el que se encuentra. Para lo cual se consideró la lámina de riego que se aplicó y la ETc máxima del cultivo, obteniendo un descanso de 11.72 días, para lo cual se escogió el valor de 12 días, buscando de esta forma proveer y satisfacer la demanda de agua al cultivo.

$$I_r = \frac{35.29 \text{ mm}}{3.01 \text{ mm/día}} = 11.72 \text{ cada días} \rightarrow \text{pero se escoge 12}$$

3.2.1.3 Ajuste de la lámina de riego

Una vez establecido el intervalo de riego se procede a ajustar la lámina de riego, considerando el intervalo de riego y la ETc máxima de la siguiente forma:

$$L_r \text{ ajustada} = 12 \text{ días} * \frac{3.01 \text{ mm}}{\text{día}} = 36.12 \text{ mm}$$

3.2.1.4 Distancia entre aspersores

La distancia que existe entre cada aspersor está definida por el efecto del viento, el aspersor seleccionado en este caso es Smooth Drive Boq # 7, posee un diámetro de cobertura de 19.65 m, se tomó en cuenta que en el cantón Pasaje existen velocidades de

viento como 1.22 m/s, razón por la cual se toma un rango de eficiencia de aplicación del 60%, el autor González (2013) indica que el viento afecta a la uniformidad de distribución de las gotas de lluvia que proporciona el emisor.

Se procedió a multiplicar el factor de eficiencia de aplicación y el diámetro del emisor dando como resultante 11.79 m, por lo cual se definió que la distancia entre cada uno corresponderá a 11 m entre ellos.

$$S = 0.6 * 19.65 \text{ m} = 11.79 \text{ m} \rightarrow \text{pero se escoge 11 metros}$$

3.2.1.5 Distancia entre líneas

La distancia entre líneas está determinada por la distancia que se dispone entre los emisores en el terreno además se consideró la constante de distribución del cultivo en campo, dando como resultante un total de 9,46 m y se escogió la distancia de 9 m entre líneas laterales.

$$L = 11 \text{ m} * 0.86 = 9.46 \text{ m} \rightarrow \text{pero se escoge 9 metros}$$

3.2.1.6 Caudal por hectárea

El caudal por hectárea se calculó conociendo el caudal del emisor escogido por el diseñador en este caso el modelo es Smooth Drive Boq # 7 sobre la distancia que existe entre cada uno de los emisores y aspersores, así lo menciona Benítez (2018) indicando que para el control del agua que se aplica en la superficie del suelo a través de la relación del caudal/tiempo de los aspersores, en este caso la relación dio como consecuencia un valor de 12.68 l/s. Lo cual indica que esa es la cantidad de agua que se aplicó sobre la superficie del terreno.

$$Q_{ha} = 10000 \frac{0.125 \text{ l/s}}{(11 \text{ m} * 9 \text{ m})} = 12.68 \text{ l/s/ha}$$

3.2.1.7 Área del sector de riego

El área del sector de riego se dividió por la cantidad de agua del sistema; Carrazón (2007) así da a entender que es necesario conocer donde se encuentra ubicada la fuente de agua para regadío de una superficie dada. Una vez establecido el caudal que se proporcionó o está disponible, sobre lo que suministra por ha, se obtiene el área que se riega en cada

turno asumiendo como resultante la cantidad de hectáreas que tendrá cada sector en este caso un total de 3 ha.

$$Asr = \frac{37.85 \frac{l}{s}}{\frac{12.68 \frac{l}{s}}{ha}} = 3 \text{ ha}$$

3.2.1.8 Número de sectores de riego

La finca “El Garrido” tiene una extensión total de 18 ha, mismo valor que se procedió a fraccionar con el área del sector de riego en 3 ha, obteniendo como resultado un total de 6 sectores.

$$\#sr = \frac{18 \text{ ha}}{3 \text{ ha}} = 6$$

3.2.1.9 Área del sector de riego

Una vez establecido que el terreno se fraccionó en 6 sectores de riego, se procedió a identificar o delimitar el área que tendrán los mismos, obteniendo 3 ha cada una. Se dividió la cantidad de hectáreas totales con la que cuenta la finca “El Garrido” sobre el número de sectores ya establecidos anteriormente.

$$Asr = \frac{18 \text{ ha}}{6} = 3 \text{ ha}$$

3.2.2 Área del bloque

Los sectores de riego se seccionaron considerando el área total de la finca y el número de sectores antes calculados, en este caso se determinó una dimensión de 1 ha cada bloque o unidad básica de riego, considerando un total de 3 bloques por cada sector de riego.

$$Ab = \frac{3 \text{ ha}}{3} = 1 \text{ ha}$$

3.2.3 Caudal del bloque

El caudal de cada bloque se conoció por medio del volumen de agua que se aplica por hectárea en cada sector, repetida por el área que tendrá el bloque, obteniendo de esa forma la lámina a aplicar la cual corresponde a 12.68 l/s.

$$Qb = 12.68 \text{ l/s} * 1 \text{ ha} = 12.68 \text{ l/s}$$

3.2.4 Caudal del sector de riego

Una vez identificado el volumen a distribuir de cada bloque, se procedió a determinar el caudal total que tendrá cada sector. Considerando lo anterior se obtuvo 38.04 l/s por cada sector.

$$Q_{sr} = 12.68 \text{ l/s} * 3 = 38.04 \text{ l/s}$$

3.2.5 Pluviometría del emisor

Se determinó si la precipitación del emisor que se escogió es la adecuada, para lo cual se precisó que la velocidad de pluviometría del mismo debe ser menor o igual a la velocidad de infiltración del suelo, por consiguiente, se toma en cuenta el caudal del emisor que se muestra en el inventario así lo confirma Carrazón (2007) al indicar que se debe contar con los datos técnicos de los aspersores que se van a utilizar en el proyecto, los cuales se encuentran detallados en el catálogo, luego ya conociendo el valor del mismo se procede a dividirlo por la distancia que tienen entre cada uno los aspersores y entre las líneas de riego.

$$P = \left(\frac{1000 * (0.125 \text{ l/s} * 3.6 \text{ m}^3/\text{h})}{11 \text{ m} * 9 \text{ m}} \right) = 4,6 \text{ mm/h}$$

La precipitación del emisor es de 4,6 mm/h la cual es menor a la velocidad con la que se infiltra el agua en el suelo la cual es de 15.7 mm/h, lo cual indica que se encuentra dentro del rango óptimo, Carrazón (2007) menciona que con el fin que no existan encharcamiento y escorrentías en las parcelas, la pluviometría a la cual va a estar sometido el sistema debe ser menor a la infiltración del suelo.

3.2.6 Tiempo del sector de riego

El tiempo de riego en cada sector es de 8 horas, cubriendo de esa forma la demanda hídrica, para llevar a esa conclusión se tomó en cuenta la lámina del cultivo sobre la precipitación del aspersor.

$$T_{sr} = \left(\frac{36.12 \text{ mm}}{4.6 \text{ mm/h}} \right) = 8 \text{ h}$$

3.2.7 Resumen de cálculos - diseño agronómico

A continuación, se muestra el diseño agronómico ya estructurado es decir con el resumen de los cálculos necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema de riego,

suministrando la cantidad adecuada de agua. Supliendo así los requerimientos en cada una de las etapas vegetativas.

Porras, Cabrera y Soriano (1995), mencionan que el diseño agronómico se puede dividir en dos fases, las cuales se muestran a continuación:

1. Cálculo de las necesidades de agua
2. Determinación de dosis, frecuencia y tiempo de riego, número de emisores por planta y caudal del emisor. Finalmente, la disposición de los emisores.

Tabla 21. Diseño agronómico para la finca “El Garrido”

Diseño agronómico- riego por aspersión		
Descripción	Cantidad	Unidades
Lamina de riego (Lr)	36.12	mm
Intervalo de riego (Ir)	12	días
Distancia entre aspersores (S)	11	m
Distancia entre línea(L)	9	m
Caudal x ha (Qha)	12.68	l/s
Área del sector de riego (Asr)	3	ha
Número de sectores de riego (#sr)	6	sectores
Área del sector de riego (Asr)	3	ha
Número de bloques por sector (#Bsr)	3	-
Área del bloque (Ab)	1	ha
Caudal del bloque (Qb)	12.68	l/s
Caudal del sector (Qsr)	38.04	l/s
Precipitación (P)	4.6	mm/h
Tiempo de riego del sector (Tsr)	8	h

3.3 Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico se estableció como punto de inicio la distribución de los aspersores en cada uno de los bloques, para ello se consideró mantener la eficiencia del sistema, en diversos aspectos como la distribución de la pluviometría del emisor en campo y el efecto del viento.

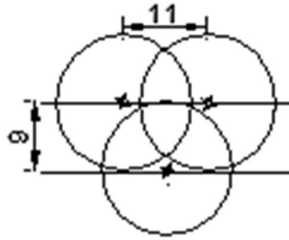


Figura 7. Espacio entre aspersores en campo

Como se observa en la Figura 7 la distancia entre aspersores es de 11 m y 9 m entre líneas, quedando cubierta la demanda hídrica del cultivo de banano, la cual posee un distanciamiento de 3 m entre plantas y 2.15 m entre líneas.

3.3.1 Datos del emisor

Por otra parte, según el catálogo de Plastigama (2020), el aspersor que mejor se ajustó a las necesidades del diseño agronómico fue el modelo Smooth Drive, Boq #7 (7/64”), la cual trabaja a una presión de trabajo de 2.41 bares, caudal de 0,125 l/s y un alcance de 19.65 m.

SMOOTH DRIVE™



Figura 8. Modelo de aspersor

3.3.2 Trazado del diseño en el plano

Las formas y dimensión de cada bloque en donde se colocó el sistema de riego por aspersión se diseñaron siguiendo las curvas de nivel existentes en el terreno destinado para el cultivo de banano como se observa a continuación (Figura 9).

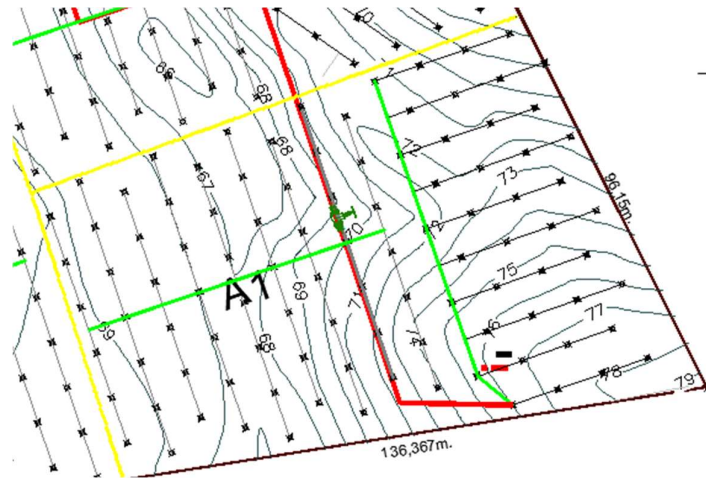


Figura 9. Bloque del sistema de riego (A1)

- Línea principal
- Líneas secundarias
- Líneas laterales o terciarias
- * Aspersores

Se observa en la Figura 9 la separación del bloque A1 y su disposición en campo. La finca tiene una extensión total de 18 ha, la cual se dividió en 6 sectores. Cada sector tiene 3 fraccionamientos con un área de 1 ha cada uno, es decir el terreno tiene un total de 18 bloques.

3.3.3 Tolerancia de caudales

Para el cálculo de la tolerancia de caudales se consideró la siguiente ecuación:

$$q_{ns} = \frac{CU * q_a}{1 - \frac{1.27 * C_v}{\sqrt{e}}}$$

$$q_{ns} = \frac{0.9 * 0.125}{1 - \frac{1.27 * 0.09}{\sqrt{4}}} = 0.120$$

Por otra parte, siguiendo la normativa establecida la cual establece como norma que la diferencia máxima de caudal emitido por los aspersores existentes dentro de un mismo lateral debe ser menor al 10% del caudal nominal del emisor escogido, así como se demuestra a continuación:

$$0.120 * 0.10 = 0.012$$

3.3.4 Tolerancia de presiones

1. Para el cálculo de la tolerancia de presiones se consideró la siguiente fórmula:

$$H_n = H_a \left(\frac{Q_n}{Q_a} \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$H_n = 2.413 \left(\frac{0.120}{0.125} \right)^{\frac{1}{0.5}}$$

$$H_n = 2.198$$

2. Para determinar los diámetros que corresponden a las líneas secundarias se tomó en cuenta la normativa que explica que la variación de presiones no debe exceder el 20% a lo largo de la lateral. Como se demuestra a continuación:

$$\Delta H = 2.413 \text{ bares} * 20\% = 0.480 \text{ bares}$$

Por consiguiente, las pérdidas de cargas con los desniveles no deben de exceder de 0.480 bares conociendo esas limitantes se procede a la exploración de los diversos diámetros que ofrece el catálogo en este caso Plastigama.

3.3.5 Determinación de los diámetros de los laterales

Para establecer los diámetros en las tuberías laterales, primero se observó en el plano los desniveles existentes en la topografía de la finca en donde se planteó implementar el sistema de riego y se colocaron las líneas de riego con una distancia entre ellas de 9 m y de espacio entre aspersores 11 m, tal y como se definió en el diseño agronómico.

En la Figura 9 se observa el bloque A1 el cual se toma como referencia para determinar el caudal que circula por las líneas laterales, para lo cual se procedió a contar el número de aspersores por el caudal del emisor.

Posteriormente se pasó al cálculo del caudal que circula por las líneas laterales desde el primer emisor hasta la último.

Tabla 22. Caudal de las líneas laterales

Número de aspersores	Caudal del emisor (l/s)	Caudal que ingresa al lateral (l/s)
A	B	A*B
4	0.125	0.125 * 4 = 0.50
3		0.125 * 3 = 0.38
2		0.125 * 2 = 0.25
1		0.125 * 1 = 0.13

Consiguientemente se determinó las velocidades del sistema. Para lo cual se procede a multiplicar entre el diámetro escogido por el diseñador y el caudal que circula en las líneas de riego. Como se muestra a continuación:

Tabla 23. Cálculo de diámetros y cálculo de las velocidades en lateral

Caudal l/s	Diámetro Interior (mm)	$V = \frac{1237 * Q}{D^2}$	Velocidad (m/s)
0.50	22	$V = \frac{1237 * 0.5}{22^2}$	1.32
0.38	22	$V = \frac{1237 * 0.38}{22^2}$	0.99
0.25	22	$V = \frac{1237 * 0.25}{22^2}$	0.66
0.13	22	$V = \frac{1237 * 0.13}{22^2}$	0.33
Prom.			0.83

Se establece que la velocidad que existe entre las líneas laterales no debe superar los 2 m/s. Moya (2017) se refiere que la velocidad del agua adecuada dentro de la subunidad de riego es de 1 m/s hasta 1.5 m/s.

Posteriormente se procede a calcular las pérdidas de cargas, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 24. Cálculo de las pérdidas de cargas

Número de aspersores	Caudal (l/s)	Diámetro interior (mm)	Longitud (m)	N. Reynold (Re)	Factor de fricción (f)	Pérdida de carga h_f (bar)
4	0.50	22.00	11	29 547.77	0.03	0.11
3	0.38	22.00	11	22 160.54	0.03	0.07
2	0.25	22.00	11	14 773.30	0.03	0.03
1	0.13	22.00	11	7 386.07	0.04	0.01
Σ						0.22

En la Tabla 24 se observa los diámetros que tendrán las tuberías laterales, posteriormente se calculó del número de Reynold, para lo cual se consideró los valores de caudal, diámetro, viscosidad del flujo que recorre el interior de las tuberías obteniendo como

resultante que posee un flujo turbulento debido a que sobrepasa el valor de 4 000. Mott (2006) afirma: “el número de Reynolds es menor que 2 000 se trata de un flujo de tipo laminar, mientras que si excede el rango de 4 000 será turbulento”.

Además, se realizó el cálculo de las pérdidas de cargas entre cada aspersor para lo cual se consideró el caudal, los diámetros, la longitud y rugosidad que posee la tubería y el factor de fricción, se establece que al existir un menor diámetro las pérdidas de cargas son mayores. Moya (2017) indica que las pérdidas de cargas tienden a aumentar cuando el diámetro interno de las tuberías seleccionadas para el sistema son menores o pequeños.

Por otra parte, se evaluó las pérdidas de cargas en el lateral para ello se consideró el factor de Christiansen, mismo que toma en cuenta el número de aspersores que existen en el lateral

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

$$F = \frac{1}{1 + 1.85} + \frac{1}{2(4)} + \frac{\sqrt{1.85 - 1}}{6 * (4)^2} = 0.485$$

Ya establecido el factor de Christiansen se procede a multiplicarlo por las pérdidas de cargas existentes entre los laterales, valor que se encuentra establecido en la (Tabla 24) de la siguiente forma:

$$0.485 * 0.22 = 0.108$$

El valor determinado previamente se consideró para establecer la variación de presiones que existe en el bloque A1.

3.3.5.1 Resumen de las tuberías secundarias

A continuación, se muestra el resumen de los diámetros de las tuberías secundarias.

Tabla 25. Resumen de los laterales

Laterales				
Bloques	Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdidas de cargas (bar)
A-1	0.50	22	0.83	0.11
A-2	0.63	22	0.99	0.13
A-3	0.50	22	0.83	0.08
B-1	0.50	22	0.83	0.11
B-2	0.63	22	0.99	0.18
B-3	0.75	22	1.16	0.27
C-1	0.63	22	0.99	0.18
C-2	0.63	22	0.99	0.20
C-3	0.63	22	0.99	0.18
D-1	0.63	22	0.99	0.18
D-2	0.63	22	0.99	0.18
D-3	0.50	22	0.83	0.10
E-1	0.50	22	0.83	0.11
E-2	0.50	22	0.83	0.11
E-3	0.88	22	1.32	0.40
I-1	0.50	22	0.83	0.11
I-2	0.63	22	0.99	0.18
I-3	0.88	22	1.32	0.40

En la Tabla 25 se observa el resumen de los laterales, se muestra en caudal que circula por las tuberías, el diámetro que tendrán las mismas, la velocidad con que circula el fluido y las pérdidas de cargas. Además, se observa que al tener mayor caudal de circulación y al mantener el mismo diámetro aumentan las pérdidas de cargas. Moya (2017) afirma que, al tener el mismo diámetro, las pérdidas de carga incrementan al existir mayor volumen de agua.

3.3.6 Determinación de los diámetros de las líneas secundarias

Primero se determina el caudal que circula en el bloque en cada uno de los tramos, de la siguiente forma se muestra el cálculo del tramo más representativo correspondiente al bloque A1:

Tabla 26. Cálculo del caudal del sistema

Número de laterales	Número de aspersores en la lateral	Caudal del emisor (l/s)	Caudal del bloque (l/s)
	A	B	A*B
1	40		5.02
2	36		4.52
3	32		4.02
4	28		3.52
5	24	0.125	3.01
6	20		2.51
7	16		2.01
8	12		1.51
9	08		1.00
10	04		0.50

Una vez ya obtenido el caudal del tramo que circula por el sistema se procede a determinar que los diámetros, tomando como referencia que no sobrepasen el rango de velocidad establecido de 2 m/s.

Tabla 27. Determinación de los diámetros y velocidad de la línea secundaria

Caudal (l/s)	Diámetro (mm)	$V = \frac{1237 * Q}{D^2}$	Velocidad (m/s)
5.02	59.80	$V = \frac{1237 * 5.02}{59.80^2}$	1.79
4.52	59.80	$V = \frac{1237 * 4.52}{59.80^2}$	1.61
4.02	59.80	$V = \frac{1237 * 4.02}{59.80^2}$	1.43
3.52	59.80	$V = \frac{1237 * 3.52}{59.80^2}$	1.25
3.01	59.80	$V = \frac{1237 * 3.01}{59.80^2}$	1.07
2.51	59.80	$V = \frac{1237 * 2.51}{59.80^2}$	0.89
2.01	47.40	$V = \frac{1237 * 2.01}{47.40^2}$	1.14
1.51	47.40	$V = \frac{1237 * 1.51}{47.40^2}$	0.85
1.00	47.40	$V = \frac{1237 * 1.00}{47.40^2}$	0.57
0.50	47.40	$V = \frac{1237 * 0.50}{47.40^2}$	0.28
Promedio			1.14

Como se observa en la Tabla 27, la velocidad promedio del sistema no sobrepasa el límite establecido y se mantiene en un rango de 1.14 m/s. Lo que indica que el sistema trabaja con diámetros de tuberías pequeños, es decir si la velocidad del sistema se acercara a valores de 0.5 m/s se debería a que los diámetros de las tuberías son de mayor tamaño y desde el punto de vista económico equivaldría a mayor costo de inversión para el productor de la finca. Por otra parte, si las velocidades excedieran el límite permitido se verían afectadas las pérdidas de cargas debido que se elevarían y con ello se incrementa el costo monetario del sistema de bombeo.

Posteriormente se determinó el número de Reynold del tercer tramo para el mismo se consideró el diámetro de la tubería y el caudal que circula en el sistema de riego, como se muestra a continuación:

Tabla 28. Número de Reynolds.

Número de laterales	N. Reynolds	Tipo de flujo
1	108 708.44	Turbulento
2	97 837.59	Turbulento
3	86 966.75	Turbulento
4	76 095.90	Turbulento
5	65 225.06	Turbulento
6	54 354.22	Turbulento
7	54 858.77	Turbulento
8	41 144.08	Turbulento
9	27 429.39	Turbulento
10	13 714.69	Turbulento

Como se observa en la Tabla 28 el resumen del número de Reynolds correspondiente al Bloque A1 del tercer tramo obteniendo el régimen de flujo Turbulento, debido a que supera el rango establecido de 4 000 así lo indica Martínez (1993), al mencionar que un flujo turbulento es el más común, debido a que el fluido en este caso el agua que circula se mueve en forma de torbellino en el interior de la tubería y su rango es mayor a 4 000.

3.3.6.1 Determinación de las presiones del sistema

A continuación, se muestra la presión que ingresa a las líneas laterales del sistema correspondiente al bloque A1.

Tabla 29. Cálculo de presiones

Lin. sec.	Q (l/s)	D (mm)	L (m)	V (m/s)	Factor de fricción (f)	Pérdida de carga por rozamiento (bar)	Desnivel (m)	Presión a la entrada del tramo he (bar)	H Altura (bar)
1	5.02	59.8	64	1.79	0.02	0.356	0.0		2.306
1 - 2	4.52	59.8	9	1.61	0.02	0.041	0.0	-0.333	1.973
2 - 3	4.02	59.8	9	1.43	0.02	0.033	1.0	-0.372	1.934
3 - 4	3.52	59.8	9	1.25	0.02	0.076	1.0	-0.305	2.001
4 - 5	3.01	59.8	9	1.07	0.02	0.057	1.0	-0.231	2.075
5 - 6	2.51	59.8	9	0.89	0.02	0.041	0.0	-0.151	2.155
6 - 7	2.01	47.4	9	1.14	0.02	0.085	0.5	-0.165	2.141
7 - 8	1.51	47.4	9	0.85	0.02	0.050	0.5	-0.143	2.163
8 - 9	1.00	47.4	9	0.57	0.02	0.024	0.5	-0.110	2.196
9 -10	0.50	47.4	9	0.28	0.03	0.007	0.5	-0.068	2.238
Σ						0.771	4.62	-1.879	

En la Tabla 29 se observa el caudal de las líneas laterales del sistema, la longitud que tiene cada tramo del Bloque A1, los diámetros internos escogidos, la velocidad que circula el agua dentro de la tubería, las pérdidas de cargas que se producen por rozamiento y el desnivel que tiene las líneas entre sí, datos que fueron utilizados para el cálculo de la presión que ingresa al sistema.

Las pérdidas de cargas por rozamiento en el Bloque A1 se calcularon con la fórmula de Darcy Weisbach y para conocer sus valores se consideraron múltiples factores como: caudal que circula en el interior de las tuberías, la longitud que existen entre cada tramo y el tamaño de la tubería y material que se utilizó en este caso de pvc así lo asegura Moratiel (2017), al mencionar que las pérdidas están sujetas al volumen de agua que se mueven en las tuberías, el diámetro interior que posee y normalmente se producen por cada metro lineal de la tubería escogida.

Además, se muestra la presión de entrada del módulo, la misma que se encuentra influenciada por las pérdidas de cargas existentes en cada tramo y los desniveles en donde se encuentran ubicadas las líneas terciarias de riego.

Posteriormente se muestra el cálculo de la presión de entrada que ejerce el sistema sobre la válvula, información que ayuda a la definir el accesorio a implementar tomando en cuenta el caudal y la presión.

A continuación, se muestran las pérdidas que cargas que ocurren en el tramo con mayor número de laterales, debido a que es el más representativo del bloque.

1. Para determinar la presión de entrada promedio se procedió a realizar la sumatoria total de los valores existentes en la (Tabla 29), es decir de cada tramo, para luego fraccionarlas por el número de laterales existentes en dicha sección.

$$He \text{ prom.: } -1.879 / 10 \Rightarrow - 0.187$$

2. Ya obtenido la presión promedio del sistema, se determinó la presión de entrada al sistema, para lo cual se consideró la presión nominal del emisor que indica el catálogo más las $\frac{3}{4}$ multiplicada por las pérdidas de cargas que ocurren entre las líneas terciarias, tal como se muestra a continuación:

$$He: Ha + \frac{3}{4} * hf \text{ lateral} + 0 \Rightarrow 2.413 + \frac{3}{4} * 0.108 + 0 = 2.494$$

3. Posteriormente se estableció la presión que estará al inicio de la tabla en cada tramo para lo cual se toman los valores de presión de entrada más el valor promedio, tal como se observa a continuación:

$$H = He + He \text{ prom} \Rightarrow 2.494 + (-0.187) = 2.307$$

4. A continuación, se procedió a determinar la tolerancia de presiones para ello se utilizó la presión mínima menos las pérdidas de cargas que ocurre en los laterales.

$$Hn = h \text{ mínima} - hf \text{ terciaria} = 1.934 - 0.108 = 1.826$$

5. Finalmente se evaluó la variación de presiones en el módulo, para la determinar si los diámetros de tuberías escogidos previamente establecidos son aceptados.

Tabla 30. Variación de presiones

H – Hn < ΔH	
H – Hn	ΔH= m (Ha - Hn)
$2.307 - (1.826) = 0.481$	$2.5 * (2.413 - 2.198) = 0.537$

Como se observa en la Tabla 30 la variación de presiones permitidas en el módulo del sistema de riego es mayor a la presión de entrada y la tolerancia de presiones, lo cual indica que los diámetros escogidos para las tuberías son aceptados y se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

Nota: Para la determinación de los diámetros en los siguientes sectores de riego se sigue la misma metodología.

3.3.6.2 Resumen de los bloques

A continuación, se muestra el resumen de los bloques, con el volumen del fluido que ingresa al sistema y circula en el interior de las tuberías secundarias, las pérdidas de cargas que se producen por rozamiento, la presión que ejerce la válvula dentro del sistema y finalmente la velocidad con que se mueve el agua de las líneas secundarias y laterales.

Tabla 31. Resumen de los Bloques

Bloques	Caudal (l/s)	Pérdidas por rozamiento (bar)	Presión de la válvula (bar)	Velocidad (m/s)	
				Secundarias	Laterales
A-1	5.02	0.512	2.32	1.14	0.83
A-2	9.54	0.455	2.91	1.74	0.99
A-3	6.53	0.341	2.75	1.16	0.83
B-1	7.03	0.361	3.04	1.43	0.83
B-2	7.16	0.296	2.71	1.48	0.99
B-3	5.52	0.156	2.71	1.14	1.16
C-1	6.40	0.224	2.70	1.48	0.99
C-2	6.53	0.291	2.80	1.37	0.99
C-3	10.04	0.314	2.55	1.23	0.99
D-1	7.03	0.224	2.67	1.47	0.99
D-2	7.53	0.267	2.79	1.46	0.99
D-3	7.91	0.410	2.81	1.43	0.83
E-1	7.78	0.385	2.64	1.51	0.83
E-2	5.52	0.194	2.49	1.27	0.83
E-3	6.03	0.114	2.76	1.36	1.32
I-1	4.65	0.179	2.48	1.07	0.83
I-2	5.52	0.142	2.64	1.01	0.99
I-3	9.42	0.487	3.51	1.24	1.32
Prom.				1.34	

En la Tabla 31 se muestra el resumen de la línea secundaria con el volumen que circula en cada sector de riego, las pérdidas de cargas que se producen en los diversos tramos, la presión que tendrá la válvula de entrada y finalmente las pérdidas de cargas de las líneas que se generaron en las líneas secundarias y terciarias.

3.3.7 Determinación de los diámetros de las líneas principales y succión.

Se determinó los diámetros en base al caudal que ingresa al sistema, el criterio que se empleó para el diseño y determinación de la tubería principal fue en base al punto más crítico, es decir a los bloques más alejados de la posición donde se encuentra ubicada la bomba, a continuación, se detalla la información de la línea principal.

Tabla 32. Resumen de la tubería principal

N	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga por rozamiento (bar)	Desnivel (m)
1	A1	7.16	105.60	429	0.82	0.26	1.00
2	D1	12.81	105.60	120	1.46	0.22	1.00
3	A1R	4.21	59.00	65	1.54	0.26	4.00
4	B3	11.17	105.60	314	1.28	0.44	-7.00
5	C3-C1	15.44	134.60	320	1.09	0.25	-4.00
6	I2	7.28	105.60	116	0.83	0.07	-2.00
7	D2	13.56	105.60	228	1.55	0.45	2.00
8	E3	14.06	105.60	453	1.61	0.97	-8.50
Tubería de succión							
1	Succión	15.44	134.60	9	1.09	0.007	-3.00

En la Tabla 32 se visualiza el caudal que circula en el interior de las tuberías, el diámetro y la longitud que tendrán las mismas, además de sus pérdidas de cargas y los desniveles que tendrá a lo largo de su recorrido.

3.3.8 Determinación de las válvulas

La elección de las dimensiones de las válvulas por cada bloque está en dependencia del caudal y la presión que ingresa por el módulo de riego tal como se muestra a continuación:


Tabla 33. Determinación de las válvulas

Bloques	Caudal (l/s)	Presión de la válvula (bar)	Tamaño de la válvula (cm)
A-1	12.18	2.32	7.62
A-2	15.44	2.91	7.62
A-3	9.42	2.75	5.08
B-1	13.31	3.04	7.62
B-2	11.80	2.71	7.62
B-3	10.17	2.71	5.08
C-1	12.18	2.70	7.62
C-2	11.68	2.80	7.62
C-3	12.68	2.55	7.62
D-1	12.81	2.67	7.62
D-2	12.43	2.79	7.62
D-3	13.56	2.81	7.62
E-1	12.81	2.64	7.62
E-2	11.17	2.49	7.62
E-3	14.06	2.76	7.62
I-1	7.28	2.48	7.62
I-2	7.28	2.64	7.62
I-3	12.68	3.51	7.62
Prom.	11.79		

En la Tabla 33 se determinó el tamaño de la válvula, el criterio empleado para la realizar este proceso fue el de considerar el caudal que circula entre los bloques y las presiones que necesita el sector para su adecuado funcionamiento.

Los bloques A-3 y B-3 tendrán válvulas de 5.08”, debido a que las válvulas de serie 75 toleran un caudal ≥ 10 l/s mientras que las de 7.62” llegan a soportar hasta 40 l/s, ambos modelos poseen un rango de presión que oscila entre 1.1 – 10.34 bares, las pérdidas de cargas producidas por las válvulas se muestran en la (Tabla 34).

Tabla 34. Válvula serie 75

	Válvula serie 75	Flujo max.	Flujo min	Rango de presiones (bar)
	Diámetro (cm)	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)	
	5.08	10	<1	1.1 – 10.34
	7.62	40	<1	1.1 – 10.34

Fuente: (Netafim, 2019)

Como se observa los datos técnicos proporcionados por el catálogo publicado en la página on-line de Netafim (2019) se describe que una válvula de 5.08 cm, tiene un flujo máximo de circulación de 10 l/s por otra parte la de 7.62 pulgadas tiene un caudal de 40 l/s, ambas trabajan a una presión de 1.1 – 10.34 bares. Mismas se serán colocadas estratégicamente en los puntos más altos de los bloques.

3.3.9 Determinación del filtro

Para la determinación del filtro se contempló el tramo el bloque que tiene mayor demanda de caudal, en este caso se observa que el bloque D, es el supera debido a que cuenta con un flujo de circulación de 38.80 l/s y el bloque que cuenta con un menos volumen es el I al suministrarse de 27.25 l/s.

El filtro estará ubicado después del equipo de bombeo, se tomó en cuenta esto debido a que nuestra fuente de agua es un río y se determinó que de esta forma se evita que ingrese al sistema partículas de arena, situación que reduciría la eficiencia del diseño debido a que se podrían producir obstrucciones en los aspersores existentes en cada módulo de riego.

Tabla 35. Resumen de caudal y pérdidas por rozamiento por bloques

Bloques	Caudal (l/s)	Pérdidas por rozamiento (bar)
A	37.04	1.62
B	35.28	1.38
C	36.54	1.38
D	38.80	1.36
E	38.04	1.32
I	27.25	1.50

El filtro que se empleó en el sistema de riego es un filtro automático de malla el catálogo de Plastigama (2018), indica que posee diversas características:

- Material de construcción: acero
- Mallas de acero inoxidable
- Presión máxima de 9.99 bar y mínima de 2.41 bar.
- Caudal máximo: 50 l/s.



Figura 10. Filtro de malla automatizado. Modelo FMA-30004

Fuente: (Plastigama, 2018)

3.3.10 Pérdidas menores de válvulas y accesorios

A continuación, se muestra la tabla general de las pérdidas menores.

Tabla 36. Pérdidas de cargas menores

Bloques	Pérdidas de cargas por rozamiento	
	Accesorios (bar)	Válvulas (bar)
A-1	0.053	0.010
A-2	0.158	0.030
A-3	0.074	0.014
B-1	0.069	0.013
B-2	0.089	0.017
B-3	0.053	0.010
C-1	0.071	0.014
C-2	0.046	0.009
C-3	0.082	0.016
D-1	0.086	0.017
D-2	0.099	0.019
D-3	0.055	0.011
E-1	0.105	0.020
E-2	0.055	0.011
E-3	0.063	0.012
I-1	0.029	0.006
I-2	0.034	0.006
I-3	0.019	0.004

En la Tabla 36 se observan las pérdidas de cargas menores que existen en el sistema, mismas que se producen por codos, válvulas y uniones, la determinación se realizó para posteriormente calcular la potencia de la bomba.

3.3.11 Cálculo de las pérdidas totales en el sistema

Para el respectivo cálculo de las pérdidas de cargas totales dentro del sistema se recopiló la información de todos los bloques, como se muestra a continuación:

Tabla 37. Pérdidas totales del sistema

Carga H	(mca)	(pie)	(bar)
Presión del emisor	24.62	80.8	2.415
Pérdida de carga en laterales	4.10	13.4	0.402
Pérdida de carga en secundaria	9.97	32.7	0.978
Pérdida de carga en principal	28.2	92.5	2.766
Pérdida de carga el Válvulas y accesorios	1.92	6.3	0.188
Pérdida de carga en succión	0.07	0.2	0.007
Desnivel reservorio eje de bomba	3	9.8	0.294
<i>TDH</i>	<i>72</i>	<i>236</i>	<i>7.049</i>

Se determinó la altura manométrica tomando en cuenta las pérdidas de cargas existentes en los laterales, las líneas secundarias y la presión que tiene el aspersor escogido para el adecuado funcionamiento del sistema. El cálculo del TDH sirve para posteriormente determinar la potencia de la bomba.

3.3.12 Cálculo de la potencia de la bomba

Se realizó el cálculo de la potencia de la bomba del sistema utilizando la siguiente fórmula:

Donde Q:

$$37.85 \text{ l/s} * \frac{15.85 \text{ gpm}}{1 \text{ l/s}} = 600 \text{ gpm}$$

Donde N:

$$N = \frac{Q * H}{3960 * E_p}$$

$$N = \frac{600 \text{ gpm} * 236 \text{ pie}}{3960 * 0.65} = 55 \text{ hp}$$

$$55 \text{ hp} * \frac{745.7 \text{ watts}}{1 \text{ hp}} = 41013 \text{ watts}$$

El caudal que se utilizó para la determinación de la potencia de la bomba es el que ingresa en el sistema multiplicado por el TDH dividido por la eficiencia misma que corresponde al 65% el cual está determinado para las bombas centrífugas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se elaboró el diseño agronómico del cultivo de banano, tomando en cuenta las condiciones climáticas del lugar en donde se encuentra ubicada la finca “El Garrido”, los datos de suelo y agua obtenidos a partir de los análisis receptados por el laboratorio Iniap. Posteriormente se determinó la distancia que tendrán las líneas de riego y aspersores y el caudal que distribuirán dentro de cada uno de los bloques del sistema, cabe recalcar que la finca se dividió en 6 sectores de riego, cada uno con 3 bloques con una dimensión de 1 ha cada uno. Además, se estableció que cada sector tendrá un tiempo de regadío de 8 horas.
- Se realizó el diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión, partiendo desde la elección del emisor el cual emite un caudal 0.125 l/s y tiene una presión de 2.413 bares. Consecuentemente se determinó el diámetro de que tendrán las tuberías en las líneas laterales, secundarias y primarias, tomando en cuenta varios parámetros, que las velocidades de cada bloque no excedan los límites establecidos y se mantengan por debajo de 2 m/s, además de que las variaciones de presiones sean mayores a la presión de entrada y la tolerancia de presiones.

Recomendaciones

- Elegir el aspersor que más se adapte a las necesidades del sistema de riego, tomando en cuenta los parámetros que se indica en cada manual de la casa comercial.
- Colocar las líneas de riego laterales a favor de las pendientes existentes en el terreno de la finca al momento de realizar el diseño hidráulico, de esa forma el sistema de riego tendrá menores pérdidas de cargas.
- Tomar en cuenta los parámetros establecidos al momento de elaborar el diseño hidráulico, cuidando que las velocidades del sistema no excedan los 2 m/s.
- Verificar siempre que la presión de entrada y la tolerancia de presiones sean menores a la variación de presiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M., 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Roma: FAO

Porras, A., Cabrera, J. & Soriano, M., 1995. *Olivicultura y Elaiotecnía*, Real: Universidad de Castilla-La Mancha.

Angela, G., Frías, C. & Salgado, R., 2016. *Conceptos Básicos de las Relaciones Agua-Suelo-Planta*, Estación Experimental Santiago del Estero: INTA.

Arias, A., 2007. *Suelos tropicales. Suelos, conservación de suelos*, San José: Universidad Estatal a Distancia.

Benitez, C., 2018. *Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado*. Disponible en: <https://docplayer.es/18028194-Iii-factores-que-se-deben-considerar-para-seleccionar-el-sistema-de-riego-mas-adecuado.html>.

Consultado: 07/12/2020.

Blair, E. (1979) III Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo, Sao Paulo: IICA, Biblioteca Venezuela.

Carrazón, J. (2007) *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*, Honduras: PESA

Casanova, E., 2005. *Introducción a la ciencia del suelo*, Caracas: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

Catota, E., 2003. *Agua Potable para poblaciones rurales*. Lima: SER

CFN. (2020) *Corporación Financiera Nacional - Ficha sectorial: banano y plátanos*. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/bibliotecainfo/>. Consultado: 04/11/2020.

Cisneros, R., 2003. *Apuntes de la materia de riego y drenaje*, Mexico: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

De la Fuente, C. C., 2013. *Instalación de sistemas de riego en parques y jardines*, Bogota: Ediciones de la U.

FAO., 2000. *Soil conservation and management for small farms-experiences from the State of Santa Catarina*, Roma: FAO Soils Boletín No. 77.

FAO., 2006. *Evapotranspiración Del Cultivo: Guías Para Determinación Los Requerimientos De Agua De Los Cultivos*, Roma: FAO

Fassbender, H., 1983. *Suelos y sistemas de producción agroforestales*, Turrialba: IICA - CIDIA.

Fernandez, F. (2003) *Dinámica del agua en suelos con gravas*. Tesis Doctoral. Estación Experimental del Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad de Granada.

Fernández, R., 2010. *Manual de riego para agricultores: Módulo 3. Riego por aspersión*, Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Fernandez, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M. & Milla, M., 2010. *Manual de riego para agricultores. Módulo 3: Riego por aspersión*, Andalucía: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla.

Figuroa, R., Montoya, R. & Pinchinat, A., 1985. *Producción de Musáceas Comestibles en la Selva Peruana*, Lima: IICA

Garnica, A., 2001. *El Cultivo Del Platano en Los Llanos Orientales*, Bucaramanga: Corpoica.

González, J., 2013. *El riego por aspersión: efecto de la baja presión en la uniformidad*. Disponible en: [//citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/2338/1/2013_079.pdf](http://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/2338/1/2013_079.pdf). Consultado 25/12/2020.

Guevara, J., 2006. *La fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo*, Caracas: Universidad central de Venezuela.

Gurovich, L., 1985. *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*, San José: IICA.

Hansen, V., Israelsen, W., 1985. *Principios y aplicaciones de riego*, España: Editorial Reverté S.A.

Odetti, H., Bottani, E., 2006. *Introducción a la Química Inorgánica*, Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral.

Hidalgo, L. y Hidalgo, C., 2011. *Tratado de viticultura I*, Madrid: Mundi Prensa

IICA., 1981. *IV Seminario Latinoamericano "Riego por goteo y riego localizado"*, Barquisimeto: IICA - CIDIA.

INAMHI. (2012) *Instituto Nacional de Meteorología e hidrología*. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>. Consultado 2/12/2020.

INIA. (2017) *Manual del cultivo de uva de mesa. Convenio INIA - INDAP. Boletín N18*, Santiago de Chile: Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Leitón, J., 1985. *Riego y drenaje*, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

Martín, R. (2004) *Manual de riego de Jardines*. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/riegojardines.pdf>. Consultado: 05/01/2021.

Martinez, E., 2008. *Estudio de propiedades hídricas del suelo mediante medidores de actividad de agua en la zona regable de Terra Chá*, Lugo: Universidad de Santiago de Compostela Escuela Politécnica Superior de Lugo .

Martinez, M., 1993. *Hidráulica aplicada a proyectos de riego*, Madrid: Editum.

MINAGRI. (2015) *Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego*, Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_eficiencia_de_aplicacin_en_riego_gravitacional.pdf. Consultado 10/01/2021

Montero, J., 2000. *Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario, desarrollo del modelo de simulación de riego por aspersión (SIRIAS)*, Cuenca: Universidad De Castilla-La Mancha.

Moratiel, R., 2017. *Riego en cultivos: fundamentos y manejo*. Madrid: Mundi-Prensa

Mott, R., 2006. *Mecánica de fluidos*, México: Pearson Educación

Moya, J., 2017. *Manual básico de cultivo localizado. Riego y fertirrigación*, Madrid: Mundi-Prensa

Netafim. (2019) *Netafim Tm*. Disponible en: <https://www.netafim.cl/bynder/0E7AAC80-F356-4D45-81BA91BCE8773D23-serie-75-valves-one-page-pdf---spa.pdf>. Consultado 15/03/2021.

Olalla, F., 1994. *Desertificación en catilla- la Mancha el proyecto efeda*, Real: Colección estudios: Ed. de la universidad de Castilla-La Mancha.

Pizarro, F., 1996. *Riegos localizados de alta frecuencia*, Madrid: Mundi-Prensa.

Plastigama. (2018) *Platigama - Línea complementos*. Disponible en: <https://plastigamawavin.com/wp-content/uploads/2018/09/Li%CC%81nea-de-Complemetos.pdf>. Consultado: 13/03/2021.

Plastigama. (2020) *DITECNIA*. Disponible en: <https://www.ditecna.com.ec/wp-content/uploads/2020/08/PGA-5-Catalogo-de-Linea-de-Productos-de-Aspersion-Plastigama-Agricultura.pdf>. Consultado: 13/03/2021.

Prudente, J. (2015) *Efecto de láminas de riego en el cultivo de pimiento (capsicum annum l.) En condiciones de la comuna cerezal bellavista, cantón Santa Elena*. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Robinson, J., Galán, V., 2012. *Plátanos y bananas*, Madrid: Mundi Prensa

Ruiz, F., 1995. *Cultivo de la Caña de Azúcar*, San José: EUNED

Saavedra, D., Vallecillo, M. & Bendaña, G., 2004. *Cultivo de plantano tecnificado con riego*. Managua: Bib. Orton IICA / CATIE.

Santistevan, N. (2015) *Efecto de láminas de riego en la producción de maíz (zeas mays l), en Río - Nuevo, Santa Elena.* Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Santos, J. (2015) *Efecto de diferentes regímenes de humedad en el comportamiento productivo del maíz en las condiciones edafoclimáticas de Manglaralto, Santa Elena*. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Sapir, E., Sneh, M., 2005. *Riego por aspersión*. Israel: MASHAV. CINADCO, Servicio de Extensión.

Sevilla, J. (2014) *Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión en Laderas*. Disponible en:

http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5C2015%5Coperacion_laderas.pdf. Consultado 20/03/2021.

Tarjuelo, J., 1999. *El riego por aspersión y su tecnología. 2da Edición*. Madrid: Mundi-Prensa

Tarjuelo, J., 1991. *El riego por aspersión: diseño y funcionamiento*, Madrid: Univ. de Castilla La Mancha.

Valverde, J., 2007. *Riego y drenaje*, San José: EUNED

Vasquez, A., Vasquez, I., Vasquez, C. & Cañamero, M., 2017. *Fundamentos de la ingeniería de riego*, Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Yagüe, J., 2003. *Técnicas de riego*, Madrid: Mundi-Prensa

3 ANEXOS

Anexo 1A. Fotografías

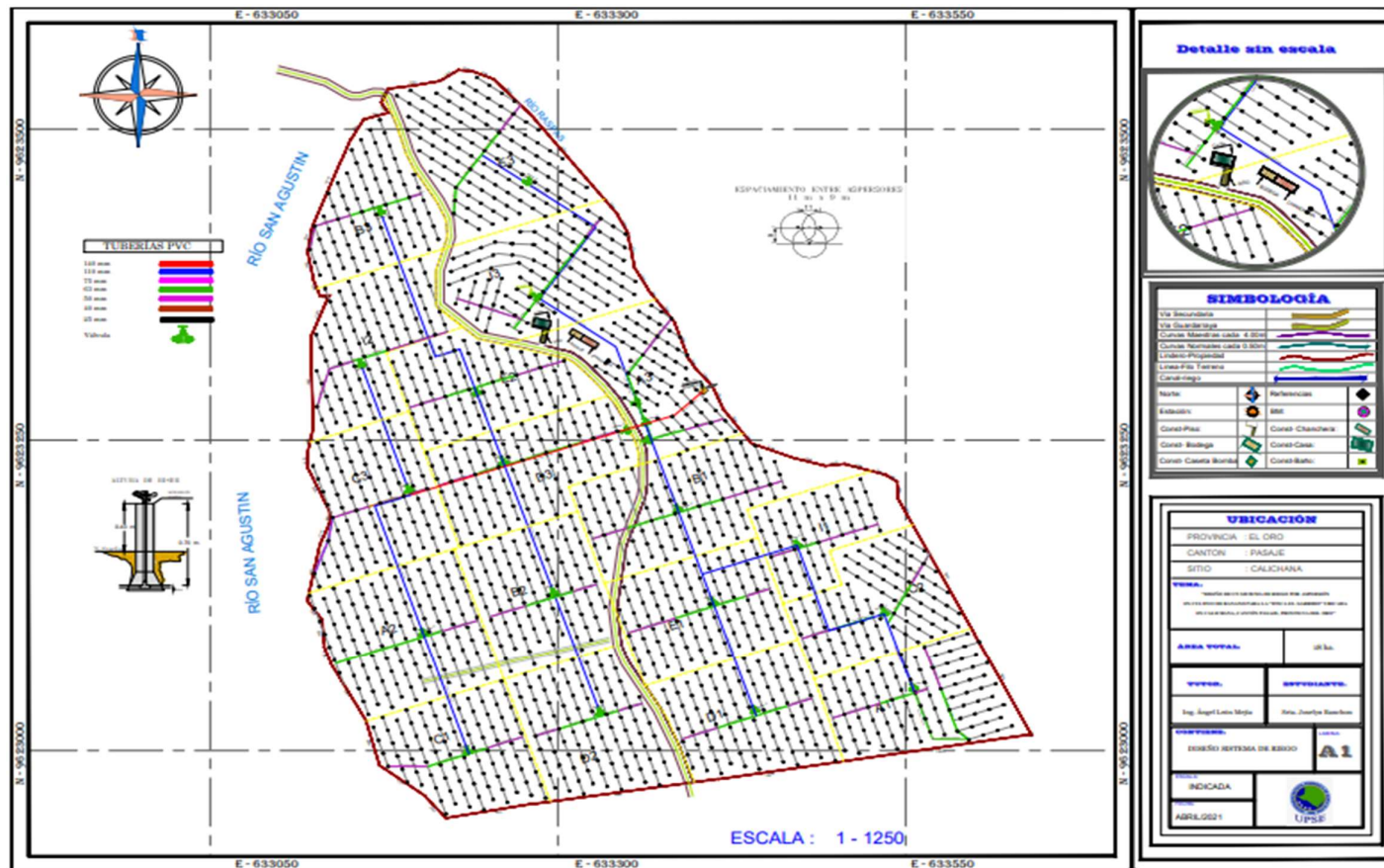


Figura 1 A. Plano del sistema de riego perteneciente a la Finca “El Garrido”



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Teléfono: (02) 3007284 / (02)2504240. Email:
laboratorio.dsa@iniap.gob.ec
Mejía -Ecuador



REPORTE DE ANÁLISIS DE FÍSICA DE SUELOS
INFORME DE ENSAYO No: 21-0056

NOMBRE DEL CLIENTE:
Banchon Chonillo Joselyn
PETICIONARIO: Banchon Chonillo Joselyn
EMPRESA / INSTITUCIÓN:
Banchon Chonillo Joselyn
DIRECCIÓN: Calichana
E-MAIL:

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 19/01/2021
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
15:30
FECHA DE ANÁLISIS: 25/01/2021
FECHA DE EMISIÓN: 29/01/2021
ANÁLISIS SOLICITADO: Textura + CC.+ PM.

No. Laboratorio	Identificación de la muestras	Humedad gravimétrica (%)		Da.	M. O.	TEXTURA			
		C.C.	P.M.P.			g/cc	(%)	Arena (%)	Limo (%)
21.0293	Muestra 1	29.15	14.86	1.42	1.9	41	37	22	Franco

Simbología			Metodología	
CC: Capacidad de Campo	Da: Densidad aparente	A: Alto, M: Medio; B: Bajo	CC, PMP: Ollas de Richards.	MO: Combustión - TOC
PMP: Punto de Marchitez Permanente	MO: Materia Orgánica		Textura: Bouyoucos	


Dr. Iván Samaniego
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

RESPONSABLES DEL INFORME




Ing. Rafael Parra
LABORATORISTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensay
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, esta dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Figura 2A. Análisis físico del suelo

MC-LASPA-2201-01

	<p>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Tifs. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec</p>	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0056

NOMBRE DEL CLIENTE: Banchon Chonillo Joselyn Amarilis PETICIONARIO: Banchon Chonillo Joselyn Amarilis EMPRESA/INSTITUCIÓN: Banchon Chonillo Joselyn Amarilis DIRECCIÓN: Calichana	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 19/01/2021 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 15:30 FECHA DE ANÁLISIS: 25/01/2021 FECHA DE EMISIÓN: 29/01/2021 ANÁLISIS SOLICITADO: AGUA 2
--	---

Unidad	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	pH	CE (mS/cm)	RAS	Dureza	CO ₃ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	B (mg/l)	Fe* (mg/l)	Zn+ (mg/l)	Cu* (mg/l)	Mn* (mg/l)	IDENTIFICACIÓN
21-0294	13,79	5,23	6,77	1,10	6,61	0,16	0,4	56,0	0,0	79,4	19,5	43,6	0,1					El garrido

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente
 * Ensayos no solicitados por el cliente



LABORATORISTA





RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Figura 3A. Resultados de análisis de agua

MC-LASPA-2201-01

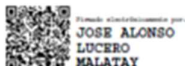
	<p>INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Tifs. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec</p>	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0056

NOMBRE DEL CLIENTE: Banchon Chonillo Joselyn Amarilis PETICIONARIO: Banchon Chonillo Joselyn Amarilis EMPRESA/INSTITUCIÓN: Banchon Chonillo Joselyn Amarilis DIRECCIÓN: Calichana	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 19/01/2021 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 15:30 FECHA DE ANÁLISIS: 25/01/2021 FECHA DE EMISIÓN: 29/01/2021 ANÁLISIS SOLICITADO: SALINIDAD 2
--	--

N° muestra	Cationes (meq/l)					Aniones (meq/l)					pH	CE dS/m	Identificación de la muestra
	Ca	Mg	Na	K	Suma	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl	Suma			
21-0293	5,32	1,91	1,03	1,41	9,67	0,00	1,82	1,91	1,00	4,73	6,79	1,19	Muestra 1

RESPONSABLES DEL INFORME:



LABORATORISTA



RESPONSABLE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Figura 4A. Análisis de suelo

Anexo 2A. Tablas

Tabla 1A. Diámetros correspondiente al bloque A1

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	5.52	59.80
2	1-2	4.65	59.80
3	2-3	3.89	59.80
4	3-4	3.01	47.40
5	4-5	2.26	47.40
6	5-6	1.51	47.40
7	6-7	0.75	47.40
Tramo secundario			
1	1	1.63	47.40
2	1-2	0.88	47.40
Tramo terciario			
1	1	5.02	59.80
2	1-2	4.52	59.80
3	2-3	4.02	59.80
4	3-4	3.52	59.80
5	4-5	3.01	59.80
6	5-6	2.51	59.80
7	6-7	2.01	47.40
8	7-8	1.51	47.40
9	8-9	1.00	47.40
10	9-10	0.50	47.40

Tabla 2A. Diámetros correspondiente al bloque A2

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	9.54	59.00
2	1-2	8.41	59.00
3	2-3	7.16	59.00
4	3-4	5.90	59.00
5	4-5	4.65	59.00
6	5-6	3.39	59.00
7	6-7	2.13	59.00
8	7-8	0.88	59.00
Tramo secundario			
1	1	5.90	59.00
2	1-2	4.65	59.00
3	2-3	3.52	47.40
4	3-4	2.26	47.40
5	3-5	1.13	47.40

Tabla 3A. Diámetros correspondiente al bloque A3

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	6.53	59.00
2	1-2	6.15	59.00
3	2-3	5.27	59.00
4	3-4	4.52	59.00
5	4-5	3.89	59.00
6	5-6	2.89	47.40
7	6-7	1.88	47.40
8	7-8	1.00	47.40
9	8-9	0.38	47.40
Tramo secundario			
1	1	2.89	59.00
2	1-2	2.39	59.00
3	2-3	2.01	47.40
4	3-4	1.38	47.40
5	4-5	0.75	47.40

Tabla 4A. Diámetros correspondiente al bloque B1

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	6.28	59.00
2	1-2	5.27	59.00
3	2-3	4.52	59.00
4	3-4	3.77	59.00
5	4-5	3.14	59.00
6	5-6	2.26	47.40
7	6-7	1.63	47.40
8	7-8	0.88	47.40
Tramo secundario			
1	1	7.03	59.00
2	1-2	6.15	59.00
3	2-3	5.15	59.00
4	3-4	4.27	59.00
5	3-5	3.26	47.40
6	3-6	2.39	47.40
7	3-7	1.63	47.40
8	3-8	1.00	47.40
9	3-9	0.38	47.40

Tabla 5A. Diámetros correspondiente al bloque B2

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	7.16	59.00
2	1-2	6.03	59.00
3	2-3	4.77	59.00
4	3-4	3.64	47.40
5	4-5	2.39	47.40
6	5-6	1.26	47.40
Tramo secundario			
1	1	4.65	59.00
2	1-2	3.39	59.00
3	2-3	2.13	47.40
4	3-4	1.00	47.40

Tabla 6A. Diámetros correspondiente al bloque B3

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	5.52	59.00
2	1-2	4.39	59.00
3	2-3	3.39	59.00
4	3-4	2.51	47.40
5	4-5	1.63	47.40
6	5-6	1.00	47.40
7	6-7	0.38	47.40
Tramo secundario			
1	1	4.65	59.00
2	1-2	3.39	59.00
3	2-3	2.13	47.40
4	3-4	0.75	47.40

Tabla 7A. Diámetros correspondiente al bloque C1

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	6.40	59.00
2	1-2	5.27	59.00
3	2-3	4.14	59.00
4	3-4	3.14	47.40
5	4-5	2.01	47.40
6	5-6	1.26	47.40
7	6-7	0.50	47.40
Tramo secundario			
1	1	5.78	59.00
2	1-2	4.65	59.00
3	2-3	3.52	47.40
4	3-4	2.39	47.40
5	4-5	1.26	47.40

Tabla 8A. Diámetros correspondiente al bloque C2

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	5.15	59.00
2	1-2	4.52	59.00
3	2-3	3.77	59.00
4	3-4	3.01	59.00
5	4-5	2.26	47.40
6	5-6	1.51	47.40
7	6-7	0.75	47.40
Tramo secundario			
1	1	6.53	59.00
2	1-2	6.15	59.00
3	2-3	5.52	59.00
4	3-4	4.39	59.00
5	4-5	3.14	47.40
6	5-6	2.01	47.40
7	6-7	1.13	47.40
8	7-8	0.50	47.40

Tabla 9A. Diámetros correspondiente al bloque C3

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	10.04	71.40
2	1-2	8.79	71.40
3	2-3	7.41	71.40
4	3-4	6.15	71.40
5	4-5	4.77	71.40
6	5-6	3.52	47.40
7	6-7	2.13	47.40
8	7-8	1.00	47.40
9	8-9	0.50	47.40
10	9-10	0.25	47.40
Tramo secundario			
1	1	2,64	47.40
2	1-2	1,26	47.40

Tabla 10A. Diámetros correspondiente al bloque D1

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	7.03	59.00
2	1-2	6.03	59.00
3	2-3	4.90	59.00
4	3-4	3.89	59.00
5	4-5	2.89	59.00
6	5-6	1.88	47.40
7	6-7	0.88	47.40
Tramo secundario			
1	1	5.78	59.00
2	1-2	4.65	59.00
3	2-3	3.52	59.00
4	3-4	2.39	47.40
5	4-5	1.26	47.40

Tabla 11A. Diámetros correspondiente al bloque D2

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	7.53	59.00
2	1-2	6.15	59.00
3	2-3	4.90	59.00
4	3-4	3.64	59.00
5	4-5	2.39	47.40
6	5-6	1.13	47.40
Tramo secundario			
1	1	4.90	59.00
2	1-2	3.64	59.00
3	2-3	2.26	47.40
4	3-4	0.88	47.40

Tabla 12A. Diámetros correspondiente al bloque D3

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	5.65	59.00
2	1-2	4.77	59.00
3	2-3	3.77	59.00
4	3-4	2.89	59.00
5	4-5	1.88	47.40
6	5-6	1.00	47.40
Tramo secundario			
1	1	7.91	59.00
2	1-2	6.91	59.00
3	2-3	6.03	59.00
4	3-4	5.02	59.00
5	4-5	4.14	59.00
6	5-6	3.39	59.00
7	6-7	2.76	59.00
8	7-8	2.01	47.40
9	8-9	1.38	47.40
10	9-10	0.63	47.40

Tabla 13A. Diámetros correspondiente al bloque E1

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	7.78	59.00
2	1-2	6.78	59.00
3	2-3	5.78	59.00
4	3-4	4.77	59.00
5	4-5	3.77	47.40
6	5-6	2.76	47.40
7	6-7	1.76	47.40
8	7-8	0.75	47.40
Tramo secundario			
1	1	5.02	59.00
2	1-2	4.02	59.00
3	2-3	3.01	59.00
4	3-4	2.01	47.40
5	4-5	1.00	47.40

Tabla 14A. Diámetros correspondiente al bloque E2

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	5.65	59.00
2	1-2	4.65	59.00
3	2-3	3.77	59.00
4	3-4	2.76	47.40
5	4-5	1.88	47.40
6	5-6	0.88	47.40
Tramo secundario			
1	1	5.52	59.00
2	1-2	4.65	59.00
3	2-3	3.77	59.00
4	3-4	3.01	59.00
5	4-5	2.26	47.40
6	5-6	1.63	47.40
7	6-7	1.00	47.40
8	7-8	0.50	47.40

Tabla 15A. Diámetros correspondiente al bloque E3

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	6.03	59.00
2	1-2	4.39	59.00
3	2-3	2.89	59.00
4	3-4	1.76	59.00
5	4-5	0.88	59.00
6	5-6	0.38	59.00
Tramo secundario			
1	1	7.53	59.00
2	1-2	5.65	59.00
3	2-3	3.77	47.40
4	3-4	2.13	47.40
5	4-5	0.88	47.40

Tabla 16A. Diámetros correspondiente al bloque I1

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	2.64	47.40
2	1-2	1.76	47.40
3	2-3	0.88	47.40
Tramo secundario			
1	1	4.65	59.00
2	1-2	3.77	59.00
3	2-3	2.89	47.40
4	3-4	2.26	47.40
5	4-5	1.76	47.40
6	5-6	1.13	47.40
7	6-7	0.63	47.40

Tabla 17A. Diámetros correspondiente al bloque I2

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	4.39	59.00
2	1-2	3.01	47.40
3	2-3	2.01	47.40
4	3-4	1.00	47.40
5	4-5	0.38	47.40
Tramo secundario			
1	1	5.52	59.00
2	1-2	4.27	59.00
3	2-3	2.89	59.00
4	3-4	2.13	47.40
5	4-5	1.38	47.40
6	5-6	0.75	47.40
7	6-7	0.75	47.40
8	7-8	0.63	47.40

Tabla 18A. Diámetros correspondiente al bloque I3

Línea secundaria	Tramo	Caudal (l/s)	Tubería diámetro interior (mm)
1	1	3.26	59.00
2	1-2	2.76	59.00
3	2-3	2.39	59.00
4	3-4	2.01	59.00
5	4-5	1.76	47.40
6	5-6	1.13	47.40
7	6-7	0.63	47.40
8	7-8	0.25	47.40
Tramo secundario			
1	1	9.42	59.00
2	1-2	8.66	59.00
3	2-3	7.28	59.00
4	3-4	5.78	59.00
5	4-5	4.14	59.00
6	5-6	2.89	59.00
7	6-7	1.88	59.00
8	7-8	1.13	47.40
9	8-9	0.50	47.40

