

Área de Conocimiento de Agricultura

“EVALUACION DE SISTEMA DE RIEGO POR MICRO Y MINI ASPERSION PARA EL CULTIVO DEL PLATANO, EN LA FINCA AGRICOLA EXPERIMENTAL (FAE - UNI), UBICADA EN LA COMUNIDAD LA BOLSA, MUNICIPIO DE MASAYA” .

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Agrícola

Elaborado por:

Br. Liz Marian
Cortez Alemán
Carnet: 2018-
0703U

Br. Henry
Antonio Loaisiga
Calderón
Carnet: 2018-
0728U

Br. Elian José
Ortiz López
Carnet: 2018-
6940U

Tutor:

Msc. Ing. José
Mamerto Méndez
Úbeda

11 de marzo de 2024
Managua, Nicaragua

DEDICATORIA

Agradecemos A:

Díos:

Agradecemos primeramente a Dios por servir de guía en nuestros caminos y permitirnos obtener este triunfo tan importante para nuestras vidas. Por nunca desampararnos y protegernos en cada momento.

A nuestros familiares:

Por su apoyo incondicional durante todo este proceso, por su cariño y por siempre alentarnos a ser mejores personas cada día.

A los docentes

Agradecemos a todos los docentes de la Facultad de la Tecnología de la Construcción de la Universidad Nacional de Ingeniería por su acompañamiento durante estos 5 años de preparación académica, contribuyendo de gran manera a nuestra formación como profesionales, principalmente al MSc. Ing. José Mamerto Méndez Úbeda por tutorar nuestro trabajo monográfico.

Br. Henry Antonio Loáisiga Calderón

Br. Líz Marían Cortez Alemán

Br. Elían José Ortiz López

RESUMEN

La elaboración de este trabajo monográfico “Evaluación de sistema de riego por micro y mini aspersión para el cultivo del plátano, en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), ubicada en la comunidad la bolsa en el municipio de Masaya”, tiene como objetivo determinar la capacidad de almacenamiento del suelo, mediante la determinación de propiedades hidro – físicas del mismo, realizar la evaluación del sistema de riego por mini aspersión utilizado en el cultivo de plátano, a través de la determinación del coeficiente de uniformidad mediante la metodología propuesta por Christiansen y estimar la uniformidad de distribución del sistema de riego por micro aspersión mediante la metodología de Merriam y Keller.

Para el desarrollo de este trabajo se llevaron a cabo diversas visitas, pruebas de campo y análisis de laboratorio, las cuales fueron fundamentales para obtener resultados que ayudaran a comprender la situación bajo la cual se encuentran instalados dichos sistemas. De esta evaluación se pudo determinar que actualmente el suelo se encuentra bajo condiciones adecuadas para el cultivo del plátano, con una textura franco limosa, proporcionando buena aireación y volumen de poros.

Los sistemas de riego por micro y mini aspersión instalados en la zona de estudio, presentaron coeficiente de uniformidad deficiente, obteniéndose un 40% por medio del método de Christiansen y un 30% por el método de Merriam y Keller, cuyas causas podrían estar ligadas a problemas en la presión en la descarga del equipo de bombeo, el cual se encuentra trabajando a un 62% de eficiencia en base a la curva característica de la bomba, o bien, podría relacionarse con motivos de falta de mantenimiento en los accesorios.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. OBJETIVOS	4
4.1. Objetivo general	4
4.2. Objetivos específicos	4
V. MARCO TEÓRICO	5
5.1. Suelo	5
5.1.1. Propiedades hidro - físicas del suelo	5
5.2. Generalidades del cultivo del plátano.....	7
5.2.1. Partes de la planta.....	7
5.2.2. Etapas fenológicas del plátano	9
5.2.3. Factores ambientales	9
5.2.4. Época de siembra.....	10
5.2.5. Densidades de siembra	10
5.2.6. Demanda hídrica	12
5.2.7. Coeficiente del cultivo del plátano (Kc).....	12
5.3. Generalidades del riego	13
5.3.1. Riego por mini aspersión	13
5.3.2. Riego por micro aspersión.....	13
5.4. Eficiencia de riego.....	15
5.4.1. Estación de bombeo	15
5.4.2. Equipo de bombeo.....	15

5.4.3.	Niveles de bombeo	16
5.4.4.	Caudal	17
5.4.5.	Presión	17
5.4.6.	Voltaje.....	17
5.4.7.	Corriente.....	18
5.4.8.	Curva característica.....	18
5.4.9.	Eficiencia de los sistemas por mini y micro aspersión	18
5.4.10.	Coeficiente de uniformidad.....	19
VI.	DISEÑO METODOLÓGICO	21
6.1.	Tipo de investigación.....	21
6.2.	Determinación de las propiedades hidro-físicas del suelo	21
6.2.1.	Textura de suelo	21
6.2.2.	Densidad aparente.....	22
6.2.3.	Densidad Real	23
6.2.4.	PH del suelo	23
6.2.5.	Capacidad de campo.....	24
6.2.6.	Punto de Marchitez Permanente (PMP)	24
6.2.7.	Determinación de la velocidad de infiltración del suelo	24
6.3.	Eficiencia del riego	25
6.3.1.	Evaluación del equipo de bombeo	25
6.3.2.	Determinación de pérdidas por fricción	27
6.3.3.	Determinación de las pérdidas de presión.....	27
6.3.4.	Obtención de los datos agronómicos de diseño	28
6.3.5.	Aforo de emisores de riego.....	28
6.3.6.	Toma de presión de los emisores de riego.....	28

6.3.7.	Determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen	29
6.3.8.	Determinación de la uniformidad de distribución de Merriam y Keller	31
VII.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
7.1.	Resultados de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo	32
7.1.1.	Propiedades físicas del suelo	32
7.2.	Eficiencia de riego.....	34
7.2.1.	Características de la fuente de abastecimiento	34
7.2.2.	Evaluación de la fuente de abastecimiento	35
7.2.3.	Resultados agronómicos de diseño de riego del área de estudio	36
7.2.4.	Determinación de presiones de los emisores de riego	37
7.2.5.	Determinación de caudales de los emisores de riego.....	38
7.2.6.	Determinación del coeficiente de uniformidad por medio del método de Christiansen.....	40
7.2.7.	Determinación del coeficiente de uniformidad por el método de Merriam y Keller	41
VIII.	CONCLUSIONES	42
IX.	RECOMENDACIONES.....	43
X.	BIBLIOGRAFÍA	44
XI.	ANEXO	49

Índice De Figuras

Figura 1. Escala de pH	6
Figura 2. Clasificación de la velocidad de infiltración	7
Figura 3. Siembra en cuadro	11
Figura 4. Siembra hexagonal.....	11
Figura 5. Siembra doble surco.....	11
Figura 6. Requerimientos de clima y suelo para el cultivo del plátano	12
Figura 7. Coeficiente del cultivo del plátano en su etapa de desarrollo	12

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades hidro-físicas del suelo	32
Tabla 2. Características de la fuente de abastecimiento	35
Tabla 3. Evaluación de la fuente de abastecimiento	35
Tabla 4. Datos de diseño agronómico	37
Tabla 5. Presiones del sistema	37
Tabla 6. Resultado de aforo de micro aspersores	39
Tabla 7. Resultado de aforo de mini aspersores.....	39
Tabla 8. Resultado de evaluación por medio del método de Christiansen	40

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. %Limo + Arcilla.....	21
Ecuación 2. % De Arcilla	22
Ecuación 3. % De Arena	22
Ecuación 4. % De Limo	22
Ecuación 5. Densidad Aparente.....	22
Ecuación 6. Densidad Real	23
Ecuación 7. Capacidad De Campo	24
Ecuación 8. Punto De Marchitez Permanente.....	24
Ecuación 9. Velocidad De Infiltración	25

Ecuación 10. Carga Total Dinámica.....	26
Ecuación 11. Potencia De La Bomba.....	26
Ecuación 12. Perdidas Por Fricción	27
Ecuación 13. Pérdidas de Presión	27
Ecuación 14. Caudal	28
Ecuación 15. Coeficiente De Uniformidad De Christiansen	29
Ecuación 16. Altura de la Lluvia de Pluviómetro	29
Ecuación 17. Grosor de Gotas	29
Ecuación 18. Intensidad de Aplicación.....	30
Ecuación 19. Intensidad de Aplicación en Campo	30
Ecuación 20. Eficiencia de Aplicación de Riego.....	30
Ecuación 21. Uniformidad de Distribución de Merriam y Keller.....	31

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del trabajo investigativo se llevó a cabo en la Finca Agrícola Experimental (FAE–UNI), la cual se encuentra ubicada en la comunidad “La Bolsa” en el municipio Masaya. En dicha finca se estableció el diseño e instalación de sistemas de riego presurizado con el objetivo de aportar al desarrollo de la carrera de Ingeniería Agrícola, donde actualmente los estudiantes realizan sus prácticas.

El objetivo de este estudio fue realizar una evaluación al sistema de riego por mini y micro aspersión, aplicados al cultivo del plátano, los cuales se encuentran ya instalados desde hace dos años en la finca, por lo que se realizó el análisis de diferentes parámetros como estudios físicos y químicos del suelo, determinación del coeficiente de uniformidad, entre otros, que permitieran determinar el grado de funcionamiento de los sistemas de riego.

En el proceso metodológico de dicha investigación se abordaron diversos aspectos, en los cuales se tomó en cuenta la base teórica de las prácticas de riego y suelo, apoyo de diversas investigaciones relacionadas a los requerimientos hídricos del cultivo, así como la implementación de diversos programas y metodologías que establezcan la viabilidad y manejo del sistema sometido a estudio.

II. ANTECEDENTES

En Nicaragua la agricultura bajo riego, se inició en la década de los 50s y represento el 6.4% de la actividad agrícola total. Los cultivos bajo riego en esa época fueron principalmente banano y caña de azúcar.

La Universidad Nacional de Ingeniería se interesa en brindar a los estudiantes una mejor enseñanza implementado prácticas de campo en la Finca Agrícola Experimental (FAE–UNI), la cual está siendo ocupado para fines de estudios físicos – químicos, morfológicos del suelo y la instalación de sistemas de riego, así como, para la realización de investigaciones monográficas.

Como resultado de investigaciones de estudiantes de Ingeniera Agrícola, se desarrolló un trabajo de monografía (Navas, Padilla, & Perez, 2019), denominado “Diseño e Instalación de un Laboratorio de Riego Presurizado con fines académicos en la Finca Agrícola Experimental (FAE – UIN)”.

(Pavon & Galeano, 2013). Evaluaron un sistema de riego por mini aspersion para el cultivo de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) en la finca “La Posoltega”, municipio de Posoltega, departamento de Managua; donde comprobaron el funcionamiento de acuerdo al diseño realizado.

(Tellez Garcia & Cerrato Cortes, 2006). Realizaron el levantamiento de suelo en la finca Agrícola Experimental, antes conocida como finca “La Puebla”, con el objetivo de una planificación, uso y manejo sostenible de la misma, determinaron que son suelos con alta fertilidad natural y buena disponibilidad de nutrientes. Así mismo se establecieron 4 unidades cartográficas donde la disponibilidad de humedad es la limitante más relevante para el manejo.

III. JUSTIFICACIÓN

El garantizar una buena eficiencia de los sistemas de riego es muy importante no solo en el ahorro del agua, sino que también de la energía; ya que el no contar con un adecuado funcionamiento puede provocar daños severos, tanto en la parte productiva como económica.

La investigación planteada en este documento pretende contribuir con el desarrollo técnico de la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), estableciendo una serie de criterios que determinen el buen funcionamiento de los sistemas de riego por micro y mini aspersión instalados en ella para el cultivo del plátano, siendo esta la primera evaluación desde su instalación.

De igual forma, al ser un centro práctico para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola, así como para los estudiantes del Técnico Superior en Tecnología de Riego, el realizar esta evaluación beneficia tanto a la comunidad educativa como a las familias de las zonas rurales aledañas, brindándoles la oportunidad contar con sistemas aptos y en buenas condiciones para la realización de sus prácticas, ayudando de esa manera a adoptar nuevas alternativas que ayuden a mejorar las técnicas de producción agrícola.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

) Evaluar la eficiencia de un sistema de riego por micro y mini aspersión aplicada al cultivo del plátano en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), a través de la aplicación de métodos de evaluación en campo.

4.2. Objetivos específicos

) Determinar la capacidad de almacenamiento de los suelos de la Finca Agrícola Experimental (FAE – UNI), mediante de la determinación de las propiedades hidro – físicas del mismo.

) Realizar la evaluación del sistema de riego por mini y micro aspersión utilizado en el cultivo de plátano, a través de la determinación del coeficiente de uniformidad por medio de la metodología propuesta por Christiansen.

) Estimar la uniformidad de distribución de los sistemas instalados por medio de la metodología de Merriam y Keller.

V.MARCO TEÓRICO

5.1. Suelo

Recurso no renovable compuesto por sustancias solidas (materia orgánica, organismos y minerales), agua y aire. La productividad de un suelo no depende del contenido de nutrientes, sino que también de las características físicas, químicas y biológicas del mismo (INTAGRI, 2017).

5.1.1. Propiedades hidro - físicas del suelo

➤ Textura.

La textura del suelo es una propiedad muy importante, mediante la cual se puede mostrar diferentes respuestas del balance hídrico, la facilidad de trabajo en el mismo, la velocidad de infiltración del agua y cantidad de aire que retiene. Asimismo, la textura del suelo puede variar de acuerdo a la cantidad y tamaño de las partículas que lo formen como la arena, limo o arcilla.

➤ Densidad Aparente

La densidad aparente, es una propiedad utilizada para caracterizar la condición de la estructura del suelo y como indicadora de compactación del mismo. Mediante la densidad aparente se puede evaluar la facilidad de la penetración de las raíces en el suelo, la capacidad de infiltración del agua, aireación y la capacidad de retención de agua (Copa B., 2014).

➤ Densidad Real

Es la relación que existe entre el peso y volumen del suelo, es poco variable y en suelos minerales oscila alrededor de 2, 65g.cm⁻³. Así mismo está relacionada con la porosidad y la densidad aparente (U.N.L.P., 2019).

➤ PH del suelo

Es una propiedad muy importante mediante la cual se puede determinar la acidez o alcalinidad de un suelo. Los rangos del pH van del 1 – 14, los suelos con mejor rango para la agricultura esta entre los 5.5 y los 6.5 pH, para bosques se puede usar desde 3 hasta 8 pH, algunas plantas no resisten ambientes con muchas

sales o pH mayores de 8, como los cítricos, sin embargo, las palmeras como cocos son tolerantes (Castillo Cerna, 2005).

Figura 1. Escala de pH



Fuente: (Carbotecnia, 2022)

➤ **Capacidad de campo (%Cc)**

Se refiere a la capacidad que tiene el suelo de retener agua luego de haber pasado por un proceso de saturación. El concepto de Capacidad de Campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una Capacidad de Campo claramente definida.

➤ **Punto de marchitez permanente (PMP)**

Cantidad de humedad mínima a partir de la cual las plantas ya no pueden absorber agua del suelo, es decir que el suelo ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo (Shaxon & Barber, 2005).

➤ **Velocidad de infiltración**

La velocidad de infiltración o tasa de penetración del agua en el suelo es un factor determinante del tiempo de riego, el que se puede definir como el número de horas o minutos en que el agua debe escurrir sobre el suelo para que penetre y moje la zona radicular de los cultivos (Muñoz & Miranda, 1985).

Este parámetro es variable tanto en espacio como en tiempo, debido a que está influenciado por la textura, porosidad, densidad aparente, contenido de materia orgánica, contenido de humedad inicial, compactación del suelo, profundidad del manto freático, y uso del suelo (Avila Davila, y otros, 2019).

La velocidad de infiltración se puede clasificar en muy lenta, lenta, moderadamente lenta, moderada, moderadamente rápida, rápida y muy rápida, dependiendo de los siguientes valores:

Figura 2. *Clasificación de la velocidad de infiltración*

Velocidad de infiltración cm/hora	Interpretación
< 0.1	Muy lenta
0.1 – 0.5	Lenta
0.5 – 2.0	Moderadamente lenta
2.0 – 6.3	Moderada
6.3 – 12.7	Moderadamente rápida
12.7 – 25.4	Rápida
>25.4	Muy rápida

Fuente: (Arias, 2018)

➤ **Agua disponible**

Es la cantidad de agua disponible para el adecuado crecimiento de la planta y se encuentra entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Shaxon & Barber, 2005).

5.2. Generalidades del cultivo del plátano

El plátano (*Musa Paradisiaca*), perteneciente a la familia de las musáceas, es una fruta tropical que tiene su origen en Asia, considerada como una de las frutas más cultivada y una de las cuatro más importantes en términos globales. Este cultivo en Nicaragua presenta características importantes tanto a nivel social como sectorial generando empleos y beneficiando a la economía del país.

5.2.1. Partes de la planta

➤ **Rizoma o bulbo**

Tallo subterráneo con numerosos puntos de crecimiento (meristemos) que dan origen a pseudotallos, raíces y yemas vegetativas (Infoagro, s.f.).

➤ **Sistema radicular**

Posee raíces superficiales que se distribuyen en una capa de 30-40 cm, concentrándose la mayor parte de ellas en los 15-20 cm. Las raíces son de color blanco, tiernas cuando emergen y amarillentas y duras posteriormente. Su diámetro oscila entre 5 y 8 mm y su longitud puede alcanzar los 2,5-3 m en crecimiento lateral y hasta 1,5 m en profundidad (Infoagro, s.f.).

➤ **Tallo**

El verdadero tallo es un rizoma grande, almidonoso, subterráneo, que está coronado con yemas, las cuales se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado. A medida que cada chupón del rizoma alcanza la madurez, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, hasta que emerge arriba del pseudotallo (Infoagro, s.f.).

➤ **Hojas**

Se originan en el punto central de crecimiento o meristemo terminal, situado en la parte superior del rizoma. Son hojas grandes, verdes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m de largo y hasta 1,5 m de ancho, con un peciolo de 1 m o más de longitud y un limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro. Cuando son viejas se rompen fácilmente de forma transversal por el azote del viento (Infoagro, s.f.).

➤ **Flores**

Flores amarillentas, irregulares y con seis estambres, de los cuales uno es estéril, reducido a estaminodio petaloideo. Cada grupo de flores reunidas en cada bráctea forma una reunión de frutos llamada “mano”, que contiene de 3 a 20 frutos. Un régimen no puede llevar más de 4 manos, excepto en las variedades muy fructíferas, que pueden contar con 12-14 (Infoagro, s.f.).

➤ **Fruto**

Los plátanos son polimórficos, pudiendo contener de 5-20 manos, cada una con 2-20 frutos, siendo su color amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo (Infoagro, s.f.).

5.2.2. Etapas fenológicas del plátano

➤ Etapa vegetativa

Tiene una duración de 6 meses y es donde en su inicio ocurre la formación de raíces principales y secundarias, desarrollo de Pseudotallo e hijos.

➤ Etapa floral

Tiene una duración aproximada de tres meses a partir de los seis meses de la fase vegetativa. El tallo floral se eleva del Cormo a través del Pseudotallo y es visible hasta el momento de la aparición de la inflorescencia.

➤ Etapa de fructificación

Tiene una duración aproximada de 10 a 12 semanas y ocurre después de la fase floral, en esta se diferencia las flores masculinas y las flores femeninas (dedos) y hay una disminución gradual del área foliar y finaliza con la cosecha.

5.2.3. Factores ambientales

➤ Temperatura

Los requerimientos oscilan entre los 26 a 30 grados Celsius, (°C), esta tiene un efecto relevante en el desarrollo del fruto ya que las temperaturas más bajas alargan la cosecha.

➤ Agua

Requiere cantidades abundantes de agua entre 1,800 a 2,500 milímetros (mm) distribuidos en todo el año. Las necesidades mensuales entre 150 a 250 milímetros (mm) y por día entre los 5 a 10 litros (l) diarios según la edad de la planta.

➤ Luminosidad

El plátano requiere como mínimo 6 a 8 horas de sol al día; en la zona del pacífico de nuestro país se cuenta con buenas condiciones de luminosidad a diferencia de la zona norte en donde este factor es considerado como una limitante natural.

➤ **Viento**

Las plantaciones deben de establecerse en zonas con velocidades no mayores de 20 km por hora, dado que se producen daños en el área foliar y pérdidas en la producción de hasta un 40%, induciendo a una maduración precoz del racimo y volcamiento.

➤ **Requerimientos de suelo**

Se requieren suelos con profundidad no menor a 1.2 metros de textura Franco o Franco arcillo limoso, con buena estructura y drenaje interno. En caso de tener suelos muy livianos (arenosos) se deben hacer las correcciones pertinentes en el riego y fertilización; de igual forma en suelos pesados debe evacuarse el exceso de agua acumulado en la superficie o a lo largo del perfil, con el objetivo de reducir el encharcamiento, alta salinidad, los altos niveles de CO₂, Fe y Mg, Sulfatos y gases orgánicos que llegan a ser muy tóxicos (INTA, 2019).

5.2.4. Época de siembra

El plátano, es un cultivo el cual se puede sembrar en cualquier mes o época del año; sin embargo, los periodos más adecuados para el establecimiento de siembra deben ser al final de la época seca o a inicios de la época lluviosa, es decir, entre mayo, agosto y septiembre (Rivera).

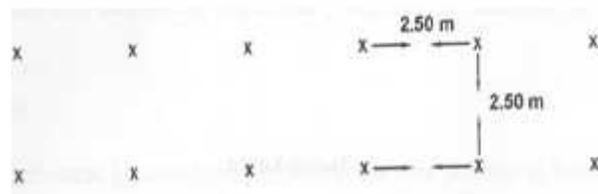
5.2.5. Densidades de siembra

La densidad de siembra del cultivo del plátano se encuentra entre las 2500 – 3300 plantas/Ha. La siembra puede realizarse con diferentes configuraciones o arreglos espaciales (cuadro, hexagonal o en triángulo, doble hilera), los cuales permitan la distribución homogénea de las plantas en el área para que cada planta disponga de un espacio libre equivalente al ocupado por su área foliar.

➤ **Siembra en cuadro**

Es un sistema de siembra tradicional más ocupado por los productores, sin embargo, no proporciona la mejor forma de distribución de las plantas en el terreno. El distanciamiento generalmente empleado es de 2.5 x 2.5m o 3 x 3m.

Figura 3. Siembra en cuadro

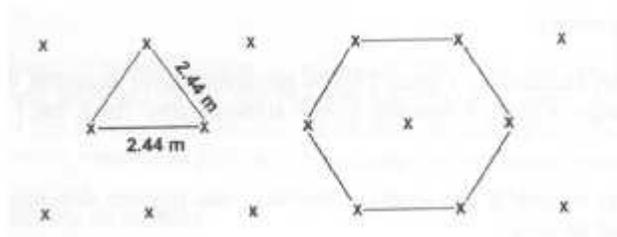


Fuente: (UNA, S/D).

➤ **Siembra hexagonal o en triángulos**

Es un sistema que permite más unidades de producción por área con un distanciamiento de 2.4m.

Figura 4. Siembra hexagonal

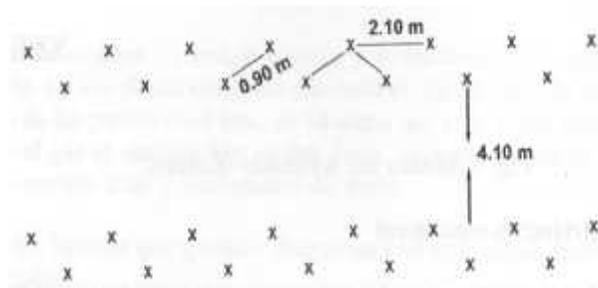


Fuente: (UNA, S/D).

➤ **Siembra en doble hilera**

Consiste en sembrar dos hileras bastante cerca una de la otra, dejando un espacio amplio y luego otras dos hileras, permitiendo la entrada de maquinaria a la cosecha. (UNA, S/D).

Figura 5. Siembra doble surco

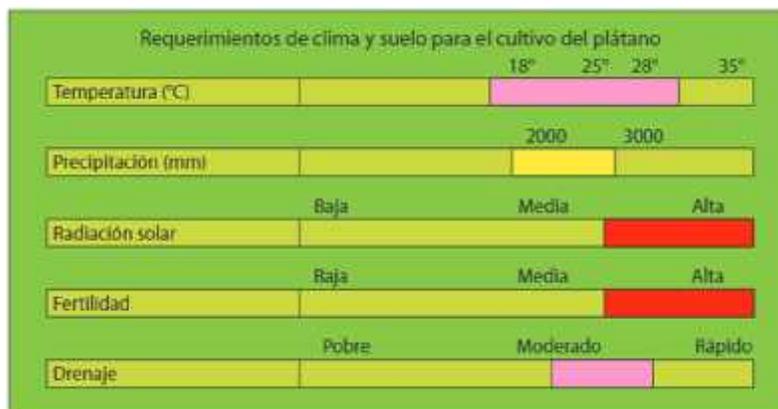


Fuente: (UNA, S/D).

5.2.6. Demanda hídrica

El agua se considera un elemento básico para obtener resultados favorables en este cultivo bajo el sistema de altas densidades. La demanda hídrica anual del plátano es de 2000mm; en días cálidos y soleados la evapotranspiración fluctúa entre los 6mm y 7mm diarios (Rosales, Alvarez, & Vargas, 2017).

Figura 6. *Requerimientos de clima y suelo para el cultivo del plátano*



Fuente: (Rosales, Alvarez, & Vargas, 2017).

5.2.7. Coeficiente del cultivo del plátano (Kc)

El coeficiente de cultivo es un factor exclusivo para cada cultivo y usualmente es menor que 1 y cambia según el estadio de crecimiento de la planta, el cual al ser multiplicado por la evapotranspiración del cultivo se puede conocer la cantidad de agua que realmente necesita el cultivo en su etapa de mayor demanda (S/D, 2019).

Figura 7. *Coeficiente del cultivo del plátano en su etapa de desarrollo*

Etapa de Desarrollo del Cultivo	Coeficiente de Cultivo (K _c)
Tropical	
Inicial:	0,4-0,5
Desarrollo del cultivo	0,7-0,85
Mediados de periodo:	1-1,1
Finales de periodo	0,9-1
Recolección:	0,75-0,85
Subtropical	
Inicial:	0,5-0,65
Desarrollo del cultivo	0,8-0,9
Mediados de periodo:	1-1,2
Finales de periodo	1-1,15
Recolección:	1-1,15

Fuente: (Guzman Gutierrez, 2010).

5.3. Generalidades del riego

El riego es una forma artificial de aplicar agua a la zona radicular de las plantas cultivadas, de forma que la utilicen al máximo garantizando una mayor productividad, representando un gran avance para la agroindustria (S/D, s.f.).

El plátano es muy sensible tanto al exceso como al déficit de agua en el suelo, por lo cual es necesario tomar medidas para regular los niveles de humedad durante el año (Cayon Salinas, 2004). La frecuencia con que se realizaran los riegos dependerá fundamentalmente del tipo de suelo en que se encuentre ubicada la plantación.

5.3.1. Riego por mini aspersión

Este tipo de sistema consiste en aplicar el agua en forma de pequeñas gotas, con una presión comprendida entre los 2.5 a 4 Bar. De igual forma este sistema está orientado a colocarse entre los 8 y 10m entre cada aspensor dependiendo de los arreglos de siembra y la capacidad económica de cada productor.

5.3.2. Riego por micro aspersión

Este método consiste en la aplicar el agua en forma de lluvia y requiere una presión entre 1.5 a 3 Bar. El diámetro de mojado que genera el micro aspensor puede ser de alrededor de 3-4 metros y es recomendable para cultivos como frutales, riego en viveros y algunas hortalizas (Demin, 2014).

➤ Características de sistema de riego por micro aspersión

-) El área húmeda que cubre cada micro aspensor es reducida pero uniforme.
-) Los componentes convencionales del sistema de riego por micro aspersión son pequeños y económicos.
-) La instalación del sistema de riego generalmente es fija mejorando la eficiencia de riego.
-) El sistema de riego por micro aspersión requiere bajos caudales para su operación.

) Este sistema es aplicable al riego de hortalizas plantas aromáticas, flores, ornamentales.

) Los costos de operación se reducen a diferencia de los sistemas de riego convencional.

) Se adapta a cualquier topografía y suelo.

➤ **Ventajas del sistema de riego por micro aspersión**

) Es un sistema muy versátil, se adapta a frutales en todas las etapas de crecimiento y también es muy adecuado para plantas del huerto, flores.

) Su uso supone un ahorro de agua en comparación con el riego por aspersión tradicional o sistemas de riego de agua en superficie, como el riego por surcos o a manta.

) Es muy uniforme, más que el goteo, y es menos probable que se obstruyan los emisores, pues los conductos y la velocidad del agua son mayores.

) Si se usa este sistema es muy posible que se necesiten menos fertilizantes (porque si son líquidos pueden ser aplicados con el agua de riego, por lo que su aplicación es más eficaz).

) Es más cómodo y requiere menos esfuerzo físico. Como otros sistemas, se puede automatizar con un programador de riego.

) Mejora la lixiviación del suelo de forma que aleja las sales perjudiciales de las raíces de la planta.

) Útil en cultivos que requieren condiciones específicas: aumenta la humedad ambiental y ayuda a bajar la temperatura, de forma que se pueden crear microclimas dentro del huerto si hubiera plantas que lo requirieran.

➤ **Desventajas del sistema de riego por micro aspersión**

) Alta inversión inicial, los micro aspersores son más caros que los goteros o que la cinta exudante.

) Una vez establecido el riego la instalación puede interferir en labores de cultivo o de acondicionamiento del terreno.

) Es un sistema fijo y con muchos elementos expuestos, por lo que puede averiarse o romperse.

) Si el sistema se deja de usar durante un tiempo las boquillas y reguladores de presión se pueden taponar.

) Es necesario estudiar y planificar previamente dónde se colocarán los aspersores y la distancia entre ellos según las plantas del huerto.

) Los fuertes vientos pueden afectar a la uniformidad del riego, aunque algo menos que en el caso de la aspersión convencional.

5.4. Eficiencia de riego

Las pérdidas o ineficiencias del sistema de riego se relacionan con el manejo del agua y con las características físico-hídricas del suelo a regar. Entre los factores de manejo que influyen en la eficiencia del riego se encuentran el diseño del sistema, los caudales de riego utilizados, la frecuencia y el tiempo de riego empleado. Por otra parte, entre los factores del suelo destacan la velocidad de infiltración del agua, la capacidad de retención de agua, la densidad aparente y la profundidad del suelo y sus condiciones de estratificación (Antunes B., Mora L, & Felmer E, 2010).

5.4.1. Estación de bombeo

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución (S/D, 2005).

El realizar una evaluación del equipo de bombeo es de gran importancia ya que proporciona información precisa sobre la capacidad de producción y el comportamiento hidráulico, permitiendo tomar decisiones sobre el sistema de riego instalado y la gestión eficiente del pozo (Pozos BioBio, 2023)

5.4.2. Equipo de bombeo

Para llevar a cabo la elección del equipo de bombeo para un pozo profundo es necesario conocer la cantidad de agua que será posible extraer del mismo, así como, las alturas de succión y descarga (estáticas y dinámicas). Con estos

parámetros se definen teóricamente la potencia requerida y por defecto elegir el equipo necesario. Además, hay otros factores que hay que tomar en cuenta para elegir el equipo de bombeo adecuado tales como; las condiciones del pozo, es preciso mencionar que un pozo ideal es el que da agua limpia, fría, sin sólidos y sin gas, sin que baje en exceso, su nivel estacional durante el año (Gutierrez & Diaz, 2016).

Existen gran variedad de requisitos que se deben tomar en cuenta para asegurar la vida útil del equipo de bombeo, algunos de los más importantes son:

Pozo de diámetro adecuado, debe tener un ademe de por lo menos 4 pulgadas más que el diámetro de la tubería.

Pozo ademado y con filtro de grava, no colapsado y correcta verticalidad.

Pozo aforado, se deben comprobar los niveles estático y dinámico.

Pozo sin azolve

Dictamen técnico del pozo, de la calidad del agua y los estratos geológicos.

➤ **Parámetros para determinar la evaluación del equipo de bombeo**

Antes de seleccionar la bomba es indispensable contar con datos exactos sobre las características del pozo. La selección de la unidad puede hacerse teniendo en cuenta la carga y capacidad requeridas, pero la instalación puede resultar defectuosa si la bomba no se adapta a las características del pozo (Gutierrez & Diaz, 2016).

5.4.3. Niveles de bombeo

➤ **Nivel estático**

Es el nivel del agua en un pozo cuando no está en operación, dicho de otra manera, es la distancia vertical que hay desde la superficie del suelo hasta el espejo del agua (Gutierrez & Diaz, 2016).

➤ **Nivel dinámico**

Es el abatimiento que sufre el nivel estático durante el proceso de bombeo, este se define hasta que se establece el equilibrio hidráulico entre la cantidad de agua que se extrae y la capacidad de producción del pozo; medido desde el borde del pozo al espejo del agua y es un valor fundamental en la selección de un equipo de bombeo (Gutierrez & Diaz, 2016).

5.4.4. Caudal

Es el volumen de agua medido en una unidad de tiempo, expresada generalmente en litros por segundos que hay en la descarga de un pozo. Para medir este parámetro se han ideado diversos métodos a consecuencia de las múltiples necesidades de obtener resultados prácticos, sin embargo, el método a utilizar dependerá de la cantidad de flujo, las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo la medición, así como el grado de exactitud requerido (Gutierrez & Diaz, 2016).

5.4.5. Presión

Es la energía de presión generada por la bomba, misma que es necesaria para mover cierta cantidad de agua de un punto a otro. El método más usual para medir la presión de descarga en equipos de bombeo es por medio de un manómetro y este se debe de instalar lo más cercano posible al cabezal de la bomba en la tubería de descarga (Gutierrez & Diaz, 2016).

5.4.6. Voltaje

La electricidad según su estado, puede ser estática o en movimiento; cuando está en movimiento es llamada también corriente eléctrica. La corriente eléctrica en función del valor y sentido de la tensión con que circula, puede ser continua o alterna; generalmente la corriente alterna es utilizada en la alimentación de motores utilizados en los equipos de bombeo, cuyo valor y sentido de la tensión de circulación de la corriente son variables con respecto al tiempo.

Los voltajes de alimentación más comunes para operar los motores en cualquier sistema de bombeo pueden ser monofásicos (120 Volts, 220 Volts) o trifásicos (440 Volts) (Gutierrez & Diaz, 2016).

5.4.7. Corriente

La corriente, cuya unidad de medida es el ampere, es un parámetro eléctrico que se presenta en los circuitos por efecto de una carga conectada y que esta se encuentra en operación. Es decir, cualquier equipo que se encuentre funcionando consume una corriente, misma que está en función del tamaño de su potencia en watts y del voltaje de alimentación. En un motor, mientras mayor sea su potencia mayor será la corriente que demanda y a mayor sea el voltaje de alimentación la corriente disminuye (Gutierrez & Diaz, 2016).

5.4.8. Curva característica

La curva característica de una bomba es una representación gráfica de la capacidad de la bomba para mover fluidos en relación con el nivel de presión existente durante el funcionamiento de la bomba. El gráfico representa la interacción de las dos variables que describen el comportamiento de una bomba:

- Altura de una bomba: se define como la diferencia de presión entre la salida y la entrada de la bomba, expresada en unidades de altura (por ejemplo, en metros).
- Caudal: cantidad de fluido que circula por una sección en un periodo de tiempo determinado.

La curva es fundamental para la selección y el dimensionamiento de una bomba, ya que pone de relieve los puntos de máximo rendimiento y proporciona información sobre la capacidad real de cumplir los requisitos del sistema de aplicación en el que se va a utilizar (DEBEM, INDUSTRIAL PUMPS, s.f.).

5.4.9. Eficiencia de los sistemas por mini y micro aspersión

La eficiencia estimada por este tipo de sistemas es del 94 al 97%, el cual garantiza un humedecimiento uniforme del área regada y una cantidad de agua correcta, lo que permite que el sistema radicular de las plantas se desarrolle de forma uniforme y que se distribuya densamente a través del volumen del suelo humedecido (TRAXCO, 2016).

5.4.10. Coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad consiste en las cuantificaciones o valores fundamentales que determinan la eficiencia del riego, por medio de la cual se permitirá la distribución homogénea del agua. Cuando se tienen resultados superior al 90%, se considera que el sistema está trabajando de forma excelente, mientras, en casos del 75 al 90% son valores en los que se puede trabajar, aunque se pueden implicar gastos extras y en casos de que los resultados sean menores al 70%, es un valor de alerta y es recomendable dejar de trabajar.

➤ Método de Christiansen para la determinación del coeficiente de uniformidad

El riego por aspersión se caracteriza por la aplicación uniforme del agua en toda la cobertura del área de riego, sin embargo, es posible que el grado de uniformidad se vea afectado por diversos factores como la presión de operación, la descarga del emisor y principalmente por la velocidad y dirección del viento; este aspecto resulta muy importante para el diseño, manejo y evaluación económica del sistema de riego. Según Christiansen considera un coeficiente de uniformidad aceptable a valores por encima del 80%, resultado que refleja una correcta aplicación y distribución del agua en el área bajo riego, permitiendo un uso más eficiente del agua disponible maximizando la producción debido a que los cultivos instalados reciben la misma cantidad de agua de acuerdo a sus necesidades hídricas (Rojas Durand, 2018).

➤ Metodología de Merriam y Keller

Este método consiste en seleccionar unidades de riego representativas del conjunto de un sistema evaluando la uniformidad de distribución del agua del mismo y otros parámetros de manejo (Carmenates Hernández, Mujica Cervantes, Pelier, & Paneque Rondón, 2014)

➤ Pérdidas de agua por fugas de agua en uniones, accesorios, etc.

Las pérdidas de agua debido a fugas provocan; pérdidas de caudal de suministro, pérdidas de carga lo que hace que la presión no llegue a ciertas áreas,

encharcamientos lo que hace que el suelo se sature, dichas fugas son parte del caudal que debería de ser aprovechado para regar y producir áreas mayores de riego. Estas se deben al desgaste, mal acople o simplemente a una mala instalación del sistema (Gutierrez & Diaz, 2016).

➤ **Pérdidas por fricción**

Pérdidas por fricción primarias y secundarias en tuberías:

Pérdidas primarias: Se producen cuando el fluido se pone en contacto con la superficie de la tubería. Esto provoca que se rocen unas capas con otras (flujo laminado) o de partículas de fluidos entre sí (flujo turbulento). Estas pérdidas se realizan solo en tramos de tuberías horizontal y de diámetro constante.

Pérdidas secundarias: Se producen en transiciones de la tubería (estrechamiento o expansión) y en toda clase de accesorios (válvulas, codos). En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías son importantes dos factores: Que la tubería sea lisa o rugosa. Que el fluido sea laminar o turbulento (FESMEX, FLUID EQUIPMENT SUPPLY, s.f.).

➤ **Pérdidas de presión**

La pérdida de presión es el resultado de las fuerzas de fricción ejercidas sobre un fluido dentro de un sistema de tuberías, resistiendo su flujo. A medida que aumenta la pérdida de presión, también incrementa la energía requerida por las bombas del sistema para compensarla, lo cual lleva a mayores costos de operación (Corsan, MATERAIL & PIPING SOLUTIONS, s.f.).

VI. DISEÑO METODOLÓGICO

Para la elaboración de este trabajo se recopiló información necesaria para la evaluación del sistema de riego, basándose en pruebas de campo, donde se comprobó la eficiencia y funcionamiento de las partes descritas en los objetivos.

6.1. Tipo de investigación

Debido al enfoque por la naturaleza de los datos y la información recopilada, se considera como mixta, ya que relaciona tanto lo cuantitativo con lo cualitativo, ayudando a obtener una mayor comprensión de la investigación planteada.

6.2. Determinación de las propiedades hidro-físicas del suelo

6.2.1. Textura de suelo

Para la determinación de la textura de suelo se hizo uso del método del hidrómetro de Bouyoucos, el cual consiste en diluir la muestra de suelos en distintas probetas y con ayuda del hidrómetro tomar diversas lecturas cada cierto tiempo. Posteriormente, con la ayuda de la siguiente fórmula se calcularon los porcentajes de limos, arcilla, arenas presentes en el suelo y de esa manera poder determinar la textura del suelo con el triángulo textural.

➤ Lectura a los 40 segundos, para obtener el porcentaje de limo más arcilla (% Limo + % Arcilla):

Ecuación 1. %Limo + Arcilla

$$\%Li + \%A = \frac{L_{40s} - L}{P - L_b} * 100$$

Dónde:

L_{40s} = Lectura corregida a los 40 segundos.

L_i = Lectura inicial en el hidrómetro a los 40 segundos.

FC = Factor de corrección.

L_b = Lectura en el blanco.

➤ Lectura a las 2 horas ó 5 horas, para obtener el porcentaje de arcilla (%Arcilla):

Ecuación 2. % De Arcilla

$$\% A = \frac{L_{2h} - L}{P - S} * 100$$

Dónde:

L_{2h} = Lectura corregida a las 2 horas.

L = Lectura en el hidrómetro a las 2 horas.

FC = Factor de corrección. Lb = Lectura en el blanco.

➤ Cálculo para obtener el porcentaje de arena (%Arena):

Ecuación 3. % De Arena

$$\% \text{Arena} = 100 - (\% \text{Limo} + \% \text{Arcilla})$$

➤ Cálculo para obtener el porcentaje de limo (%Limo):

Ecuación 4. % De Limo

$$\% \text{Limo} = (\% \text{Limo} + \% \text{Arcilla}) - (\% \text{Arcilla})$$

6.2.2. Densidad aparente

Para la obtención de la densidad aparente se utilizó el “método del cilindro”, el cual consistió en introducir un cilindro metálico en el suelo conociendo sus dimensiones, con el fin de obtener una muestra, la cual fue llevada al laboratorio de Edafología para realizar el procedimiento de secado y de esa manera obtener el valor de la densidad aparente mediante la aplicación de la siguiente formula:

Ecuación 5. Densidad Aparente

$$D = \frac{M}{V}$$

Donde:

Da: densidad aparente (g/cm³).

Mss: masa o peso del suelo seco (g).

V. Total: Volumen del cilindro.

6.2.3. Densidad Real

Para la determinación de la densidad real se obtuvo una muestra de suelo del área a trabajar para luego ser llevada al laboratorio de Edafología donde se realizaron los procedimientos de secado y pesado a distintas temperaturas. La ecuación utilizada para la determinación de la densidad real es la siguiente:

Ecuación 6. Densidad Real

$$D_r = \frac{d_1 * d_3 * P_s}{d_3(P_1 - P_p) - d_1(P_3 - P_s - P_p)}$$

Donde:

Dr = Densidad real (gr/cm³)

d1 = densidad del agua a la T1, en grados °C.

d3 = densidad del agua a la T3, en grados °C.

P1 = Peso del picnómetro más agua (gr).

PP = Peso del picnómetro vacío (gr).

P3 = Peso del conjunto agua más suelo más picnómetro (gr).

PS = Peso del suelo (gr).

6.2.4. PH del suelo

Para la determinación del pH del suelo de la zona de estudio, se hizo uso del instrumento pH-metro (electrodo de vidrio), el cual deriva en un pequeño instrumento de laboratorio que se introdujo en una muestra de suelo disuelta en agua destilada, con el objetivo de determinar qué tan ácido o alcalino puede llegar a ser el suelo en estudio.

6.2.5. Capacidad de campo

Para la obtención de la capacidad de campo se hizo uso del método de laboratorio (Embudo de vidrio), el cual consiste en colocar la muestra en un embudo con papel filtro previamente humedecido durante 24hr, utilizándose la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Capacidad De Campo

$$\%C = \frac{(P_{ht} - P)}{(P_{st} - P)} * 100$$

Dónde:

%Cc = Porcentaje gravimétrico de contenido de agua a capacidad de campo

Psht = Peso de suelo húmedo más peso de la tara

Psst = Peso de suelo seco más peso de la tara

Pt = Peso de la tara

6.2.6. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente se determinó mediante al resultado de la capacidad de campo y factor establecido de 1.84 y que designa la siguiente fórmula:

Ecuación 8. Punto De Marchitez Permanente

$$P = \frac{C}{1.84}$$

Donde:

%Cc = Porcentaje gravimétrico de contenido de agua a capacidad de campo

6.2.7. Determinación de la velocidad de infiltración del suelo

La velocidad de infiltración se determinó por el método de Porchet en el área de estudio, con el propósito de determinar la capacidad de infiltración representativa, utilizando la siguiente formula:

Ecuación 9. Velocidad De Infiltración

$$F = \frac{R}{2 * (t_2 - t_1)} * L_i \frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$$

Donde:

F = Velocidad de infiltración.

R = Radio de la excavación

h_1 y h_2 = Altura específica en los tiempos t_1 y t_2 respectivos.

6.3. Eficiencia del riego

6.3.1. Evaluación del equipo de bombeo

Para establecer la valoración del equipo de bombeo es necesario efectuar una visita al sitio para conocer todos los datos necesarios para el estudio, tales como, el tipo de energía que proporciona el equipo, la Intensidad, voltaje y factor de potencia, para de esa manera asegurar las condiciones de trabajo.

De igual forma se determinó la presión del sistema y la determinación del caudal mediante la realización de un aforo a través del método volumétrico el cual consiste en recolectar un volumen de agua en un tiempo determinado y de esa manera establecer la capacidad de la fuente de abastecimiento (Ver Ecuación 10).

➤ Condiciones de la fuente de abastecimiento

Para realizar la evaluación de la fuente de abastecimiento es necesario llevar a cabo una visita de campo en la zona de estudio para determinar diversas características de la misma, como la profundidad del pozo, la profundidad de la bomba, nivel estático, nivel dinámico, entre otras.

➤ Determinación de los niveles de bombeo de agua

Para la obtención de los niveles de bombeo tanto estático como dinámico, fue necesario realizar una visita de campo a la zona de estudio, cuyos valores son de gran importancia para conocer el estado actual de la fuente de abastecimiento, además de indicar el nivel al cual se encuentra sumergida la bomba. Para la determinación de los niveles se hizo uso de una sonda eléctrica, determinando el

nivel estático del agua y posteriormente se puso a funcionar el equipo de bombeo y después de 15 minutos de funcionamiento se determinó el nivel dinámico de bombeo.

➤ **Curva característica de la bomba**

Para el análisis de los puntos de eficiencia del equipo de bombeo se hizo uso de la curva característica del mismo proporcionada por el fabricante, donde se interceptaron valores de acuerdo al caudal y la potencia de la bomba correspondiente a 20HP, determinando así su carga total y porcentaje de eficiencia proporcionado.

➤ **Determinación de la potencia del equipo de bombeo**

En la determinación de la potencia del equipo de bombeo es necesario conocer el caudal y la carga total dinámica (CTD), la cual es la resultante de la sumatoria de la carga estática con la carga dinámica más las pérdidas generadas en el sistema, establecida por la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Carga Total Dinámica

$$C = H_s + H_f + H_{\Delta z}$$

Donde:

CTD: Carga Total Dinámica de Bombeo (m)

H_s: Carga Estática

H_f: Pérdida de carga por fricción en toda la tubería (m)

H Z: Desnivel entre la bomba y el aspersor alto

Siendo la ecuación para determina la potencia de la bomba la siguiente:

Ecuación 11. Potencia De La Bomba

$$H = \frac{Q(gl) * C (p)}{3960 * e}$$

Donde:

H_p = Potencia de la Bomba

Q = Caudal elevado (gpm)

CTD = Carga total dinámica (pie)

Eficiencia = dependerá del tipo de bomba y puede ser determinada mediante la curva de rendimiento de las mismas.

6.3.2. Determinación de pérdidas por fricción

Para la determinación de las pérdidas de tubería principal, secundaria y laterales se utilizó la ecuación de Hazen – Williams, la cual es muy utilizada en el diseño y análisis de redes de distribución. La ecuación a utilizar será la siguiente:

Ecuación 12. Pérdidas Por Fricción

$$hf = 10.648 * \left(\frac{1}{C_{H-W}}\right)^{1.8} * \frac{Q^{1.8}}{D^{4.8}} * L$$

Donde:

C_{H-W} = Coeficiente de rugosidad del material

Q = Caudal (m^3/s)

D = Diámetro (m)

L = Longitud (m)

6.3.3. Determinación de las pérdidas de presión

Para la determinación de las pérdidas por presión del diseño sometido a estudio, se realizó una multiplicación de las pérdidas por fricción en mca por un factor de conversión a PSI.

Ecuación 13. Pérdidas de Presión

$$P_f = p_f = H_f * 1.422$$

6.3.4. Obtención de los datos agronómicos de diseño

Estos datos fueron obtenidos a través de la revisión bibliográfica del documento monográfico titulado “Diseño e instalación de un laboratorio de riego presurizado con fines académicos en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), con el objetivo de conocer detalles técnicos del sistema que ayuden a obtener mejores conclusiones.

6.3.5. Aforo de emisores de riego

En la realización del aforo de los mini y micro aspersores presentes en el sistema se utilizó el método volumétrico, mediante el cual, se tomó el volumen de un recipiente en un tiempo determinado en los puntos más críticos del mismo, estableciendo un mínimo de tres lecturas para posteriormente obtener un promedio, permitiendo evaluar el caudal que pasa a través de ellos haciendo una comparación conforme a su ficha técnica.

Para la determinación del caudal se hizo uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 14. Caudal

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

Donde:

Q= Caudal (m^3/s)

V = velocidad (m/s)

t= Tiempo (s)

6.3.6. Toma de presión de los emisores de riego

De los mini y micro aspersores instalados, se tomó la presión del agua que circula a través de ellos mediante el uso de un manómetro de glicerina, tanto del primer como del último mini y micro aspersor en cada válvula, tomando en consideración la ficha técnica de los mismos.

6.3.7. Determinación del coeficiente de uniformidad de Christiansen

La obtención de los datos para la determinación del coeficiente de uniformidad se realizó por medio de un patrón de mojado, que consiste en la recolección de las cantidades de agua que contendrán los pluviómetros colocados en el área establecida, para luego utilizar la siguiente formula:

Ecuación 15. Coeficiente De Uniformidad De Christiansen

$$CU\% = 100 * \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n X_i - X}{nx} \right)$$

Donde:

CU% = Coeficiente de uniformidad de Christiansen (%).

X_i = Altura del agua recogida por cada pluviómetro.

X = Altura media del agua recogida en el total de los pluviómetros.

$X_i - X$ = Sumatoria de los valores de los desvíos de cada una de las observaciones (X_i) con respecto a la media (X).

n = Número total de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

➤ **Cálculo de la altura de la lluvia en cada Pluviómetro**

Ecuación 16. Altura de la Lluvia de Pluviómetro

$$H = 10 \frac{V}{A}$$

Donde:

H = Altura de agua medida en cada Pluviómetro (mm)

V = Volumen de agua de cada Pluviómetro (ml).

A = Área de la boca de cada Pluviómetro (cm²).

➤ **Cálculo del Grosor de las Gotas**

Ecuación 17. Grosor de Gotas

$$I_t = 12.85 \frac{H^{1.3}}{D}$$

Donde:

IG: Índice de grosor de gota

H: presión del Aspersor (kg/cm²) D = Diámetro de la boquilla (mm)

➤ **Cálculo de la Intensidad de aplicación del aspersor unitario**

Ecuación 18. Intensidad de Aplicación

$$I_u = \frac{Q * 3600}{E * E}$$

Donde:

I_u = Intensidad de aplicación (mm/hr)

Q_u = Caudal del aspersor (L/seg)

E_u = Espaciamiento entre aspersor

E_l = Espaciamiento entre lateral

➤ **Cálculo de intensidad de aplicación en campo**

Ecuación 19. Intensidad de Aplicación en Campo

$$I_c = \frac{X}{T}$$

Donde:

I_p = Intensidad de aplicación en campo (mm/hr)

X = Media de la lectura de los pluviómetros en campo (mm)

T = Tiempo de duración de la evaluación en horas.

➤ **Cálculo de la eficiencia de aplicación de riego (Efa)**

Ecuación 20. Eficiencia de Aplicación de Riego

$$E = \frac{I_c}{I_u} * 100$$

Donde:

E_f = Eficiencia de aplicación del sistema de riego (%).

I_p = Intensidad de aplicación en campo (mm/hr).

I_u = Intensidad de aplicación del aspersor unitario (mm/hr).

6.3.8. Determinación de la uniformidad de distribución de Merriam y Keller

La determinación del coeficiente de uniformidad mediante el método de Merriam y Keller, consiste en la relación existente entre la altura media interceptada en el 25% del área de menor infiltración y el promedio de las alturas infiltradas en toda el área evaluada. Mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 21. *Uniformidad de Distribución de Merriam y Keller*

$$UD = \frac{I_z}{I_y}$$

Donde:

UD = Uniformidad de distribución de Merriam y Keller (1978).

I_{25} = Promedio de las alturas infiltradas en el 25 % del área de menor infiltración.

I = Promedio de las alturas infiltradas en toda el área evaluada.

VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Resultados de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo

7.1.1. Propiedades físicas del suelo

En la tabla 1, se presenta un resumen de los resultados de las propiedades hidro-físicas del suelo obtenidas del área de estudio, (Ver Anexo 1, pág. 49).

Tabla 1. *Propiedades hidro-físicas del suelo*

Textura	Da	Dr	PH	%Cc	PMP	Vi
Franco Limoso	1.005 gr/cm ³	1.75 gr/cm ³	7.63	20%	11%	7.5 cm/hr

Nota: Da: Densidad aparente; Dr: Densidad real; %Cc: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; Vi: Velocidad de infiltración.

Fuente: Autoría propia.

Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo del plátano son aquellos que presentan una textura franco arenosa, franco arcilloso, franco arcillo limosa y franco limoso, debiendo ser, además, fértiles, permeables, profundos (1,2-1,5 m), bien drenados y ricos especialmente en materias nitrogenadas (InfoAgro, 2020). Al realizar la prueba de textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos se obtuvo un suelo con un 23% de arcilla, 24% de arena y un 53% de limo, cuyos valores según el triángulo textural para clases de suelo, da como resultado una textura de tipo Franco Limoso, coincidiendo con el tipo de suelo requerido para el establecimiento y desarrollo del cultivo, (Ver Anexo 2, pág. 53).

De igual forma, de la evaluación realizada a la muestra de suelo, se determinó la densidad aparente presentando un valor de 1.005gr/cm³ y densidad real con un valor de 1.75 gr/cm³, considerándose ambos valores como bajos según los rangos establecidos (Ver Anexo 3, pág. 53), (Ver Anexo 4, pág. 54); indicando que es un suelo con mayor aireación conteniendo un mayor volumen de poros, lo cual indica que estos parámetros son adecuados para este cultivo.

Así mismo, los terrenos dedicados al cultivo del plátano deben reunir ciertas condiciones naturales que los hagan aptos para este fin. Los suelos apropiados para su establecimiento son los que varían de ligeramente ácidos a neutros (pH 6.5 -7.0),

aunque también tolera los ligeramente alcalinos (UNA, S/D). Según el resultado obtenido en laboratorio, el pH fue de 7.63 clasificándolo como ligeramente alcalino (Ver Figura 1, pág. 6), siendo este óptimo para el desarrollo del cultivo.

A través del método del embudo de vidrio se estableció que se presenta un 20% de saturación de agua en el suelo, cuyo valor representa una baja capacidad de retención de agua, donde por cada 100 gr de suelo seco retiene 20 gr de agua, (Ver Anexo 6, pág. 54). Para la determinación del punto de marchitez permanente se obtuvo un valor del 11%, lo que indica que el límite de agua necesario para que la planta sobreviva es de 11g de agua por cada 100g de suelo seco.

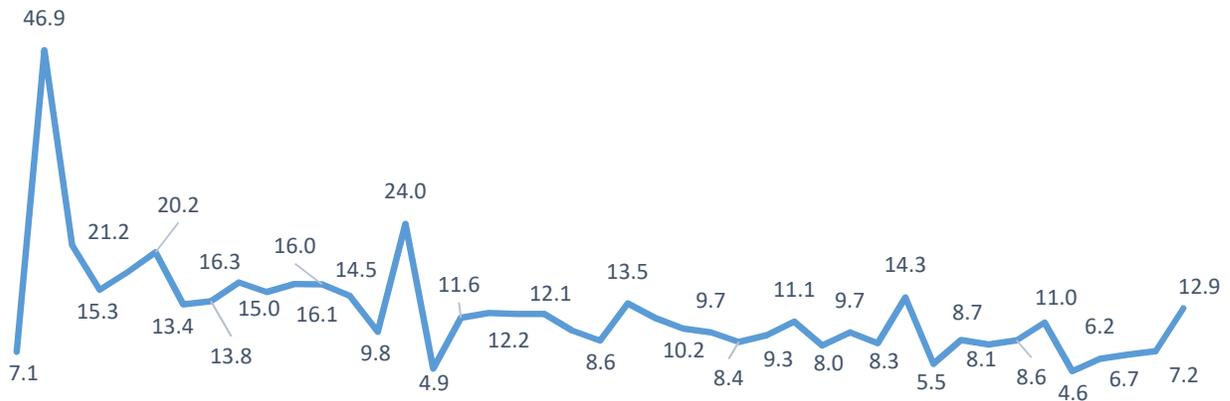
En dependencia al estudio realizado anteriormente en esta finca referente a la Caracterización físico- química para el uso y manejo de los suelos (Tellez Garcia & Cerrato Cortes, 2006). Se tenía que el suelo presente, era tipo franco arcilloso, que en comparación a los datos actuales se presenta una disminución en la cantidad porcentual de arcilla y arena, con un aumento en la cantidad de porcentaje de limo; así mismo se obtuvo una disminución de 0.015gr/cm^3 en la densidad aparente y un aumento de 0.2gr/cm^3 en la densidad real, debido a diferentes transformaciones a lo largo del tiempo como es el caso de la compactación, la erosión, cambio climático, manejo químico, manejo agronómico, entre otros, lo que ha provocado modificaciones en la estructura del suelo. (Ver anexo 5, pág. 54).

De igual manera, se presentó un aumento en el pH de 1.16, lo que pudo ser provocado por aumento de alcalinidad en el agua de riego, acidificación de las raíces o uso de fertilizantes de reacción alcalina. Se presentó una disminución en la capacidad de campo del 17% (Ver anexo 7, pág. 54) debido a que actualmente este suelo posee una mayor cantidad de poros disminuyendo así la capacidad de retención de agua.

Mediante el método de Porchet, se determinó una velocidad de infiltración de 7.5 cm/hr (Ver anexo 8, pág. 55), considerándose como moderadamente rápida (Ver figura 2, pág. 7), adecuándose al tipo de suelo encontrado en la zona de estudio correspondiente a franco limoso, el cual contiene un mayor volumen de poros permitiendo mayor un mayor movimiento de agua y el aire.

En el grafico 1, se muestra gráficamente los resultados obtenidos de la prueba de velocidad de infiltración realizada en la zona de estudio por medio del método de Porchet.

Gráfico 1. *Velocidad de infiltración en cm/min*



Fuente: Propia

La velocidad de infiltración es afectada por características del perfil edáfico, como la textura, la estructura, la cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, así como por el tamaño y el volumen total de los espacios porosos (Garcia Hernandez, Alejandra, Castellanos Vargas, Cano Santana, & Pelaez Rocha, 2008).

En la presente grafica correspondiente a la prueba de velocidad de infiltración se pudo observar que se presentan diversas fluctuaciones en los resultados ya que se pueden tener alteraciones en la composición del suelo gracias a la degradación del mismo conforme a los años.

7.2. Eficiencia de riego

7.2.1. Características de la fuente de abastecimiento

En la tabla 2. Se presentan los datos obtenidos de la visita de campo realizada a la zona de estudio correspondiente a las características de la fuente de abastecimiento.

Tabla 2. Características de la fuente de abastecimiento

Nivel Estático	Nivel Dinámico	Q descarga libre	Potencia Fabricante Hp	Voltaje	Energía
52.6 pies	111.5 pies	208.42gpm	20Hp	230V	3 fase

Fuente: Propia

La fuente de abastecimiento encontrada durante la visita de campo fue un pozo perforado con un nivel estático de 52.6 pies y un nivel dinámico de 111.5 pies, con una capacidad de 208.42gpm. Así mismo, se estableció que la bomba utilizada en el sistema es tipo sumergible de 20Hp.

Cabe destacar que inicialmente se trabajaba con una bomba de 3Hp, la cual pertenecía a otra fuente de abastecimiento que actualmente no se encuentra en funcionamiento debido a que no cuenta con suficiente capacidad para el funcionamiento de los sistemas de riego presentes en la zona de estudio.

7.2.2. Evaluación de la fuente de abastecimiento

En la tabla 3, se presentan los datos obtenidos de la evaluación a la fuente de abastecimiento, donde se determinó caudal, eficiencia, perdidas, carga total dinámica y la potencia real del mismo.

Tabla 3. Evaluación de la fuente de abastecimiento

Q sistema	Eficiencia	H_f	n	H_p	CTD	Presión de trabajo	Potencia Real
192.94gpm	62%	7.39 m		10.52 PSI	205.46 Pies	30PSI	20Hp

Nota: H_f : Perdidas por fricción; Q: Caudal; H_p : Perdidas de presión; CTD: Carga total dinámica.

Fuente: Autoría propia.

Del Aforo realizado al equipo de bombeo, se obtuvo un caudal máximo de 208.42gpm a descarga libre y un caudal mínimo de 183.12gpm a una presión de 50psi (Ver Anexo 9, pág. 56), estableciendo los rangos en los que se podría ajustar tanto el caudal como la presión en dependencia de la necesidad del sistema. Así

mismo se pudo determinar que actualmente el sistema se encuentra trabajando a una presión de 30psi teniendo un gasto de 192gpm (Ver gráfico 2, pág. 56).

En dependencia del aforo realizado al equipo de bombeo donde se estableció que el sistema que a 30psi se obtiene un gasto de 192gpm, cuyos valores fueron utilizados en la curva característica de la bomba con el cual se obtuvo una carga total de 250pies y una eficiencia de 62%, (Ver anexo 11, pág. 57).

Del análisis realizado al diseño de riego se obtuvo como resultado un total de pérdidas por fricción 7.39m en el cual se encuentran tuberías de 4, 3,1 ½” pulgada, así como un total de pérdidas de presión de 10.52psi, indicando que al punto crítico seleccionado llega una presión al último emisor de 19.48psi si en la salida de la bomba se tienen 30 psi, (Ver anexo 12, pág. 57).

Al realizar los cálculos para determinar la carga total dinámica en relación con las pérdidas obtenidas en el sistema, y en conjunto con el nivel dinámico de bombeo, se determinó una carga total dinámica de 205.46 Pies, que en dependencia de la misma, la eficiencia de la bomba obtenida en la curva característica, el caudal disponible a 30 psi y multiplicando por un factor de relación bomba motor, se obtuvo una potencia de 17.49Hp, pudiendo establecer que la bomba cuenta con la capacidad necesaria para abastecer el diseño actual establecido en campo.

En relación a la carga total dinámica en campo con la carga total que nos muestra la curva característica se tiene una diferencia de carga de 44.54 pies, lo que indica que la bomba no está trabajando a su máxima eficiencia. (Ver anexo 12, pág. 58).

7.2.3. Resultados agronómicos de diseño de riego del área de estudio

En la tabla 4, se presentan los datos agronómicos de diseño de los sistemas de riego sometidos a estudio, obtenidos del documento monográfico (Navas, Padilla, & Perez, 2019) titulado “Diseño e instalación de un laboratorio de riego presurizado con fines académicos en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI).

Tabla 4. Datos de diseño agronómico

Sistema de riego por mini aspersión							
P. Trabajo	Q_e(lph)	K_c	Área	E_e (m)	E_l (m)	I_a (mm/hr)	T_r (hr)
2 bar	382 lph	1.2	0.26ha	9m	10m	3.81mm/hr	2hr
Sistema de riego por micro aspersión							
P. Trabajo	Q_e(lph)	K_c	Área	E_e (m)	E_l (m)	I_a (mm/hr)	T_r (hr)
2 bar	97 lph	1.2	0.24ha	3.5m	3.43m	6.90mm/hr	2hr

Nota: P.Trabajo: Presión de trabajo; Q : Caudal del emisor; K_c : Coeficiente de cultivo; E_e : Espaciamiento entre emisor; E_l : Espaciamiento entre lateral; I_a : Intensidad de aplicación; T_r : Tiempo de riego.

Fuente: Autoría propia.

De los datos obtenidos se pudo establecer que el espaciamiento de los emisores para el sistema de riego por mini aspersión es de 9m con 10m entre lateral y para el caso del sistema de riego por micro aspersión es de 3.5m entre emisor y de 3.43m entre lateral. Así mismo, el área total de la zona de estudio a evaluar es de 0.50ha, con un tiempo de riego de 2 horas aproximadamente.

7.2.4. Determinación de presiones de los emisores de riego

En la tabla 5, se presenta una comparación entre los datos establecidos para los diferentes emisores según ficha técnica y lo obtenido en la visita de campo.

Tabla 5. Presiones del sistema

Mini aspersores					
Lateral	Modelo	Boquilla	P. Teórica (Bar)	P. inicial tomada en campo (bar)	P. final tomada en campo (Bar)
L1	Smooth Drive	Verde	1.72 – 2.76	1.3	1.3
L2	Smooth Drive	Verde	1.72 – 2.76	1.3	1.3
L3	Smooth Drive	Verde	1.72 – 2.76	1.3	1.2
Presión Promedio = 1.3 bar					

Micro aspersores					
Lateral	Modelo	Boquilla	P. Teórica (Bar)	P. inicial tomada en campo (bar)	P. final tomada en campo (Bar)
L1	Micro spincklers	Roja	1.5 – 1.20	1.24	1.1
L2	Micro spincklers	Roja	1.5 – 1.20	1.1	0.89
L3	Micro spincklers	Roja	1.5 – 1.20	1.1	0.96
Presión promedio = 1.06 bar					

Nota: P. Teórica: Presión teórica; P. Inicial: Presión inicial; P. Final: Presión final.

Fuente: Autoría Propia.

De los resultados obtenidos de la toma de presiones en diferentes puntos del sistema, se puede indicar que el nivel de presión para el sistema de riego por mini aspersión es deficiente, ya que se encuentra por debajo del rango, presentando una presión promedio de 1.3bar que según su ficha técnica debería estar entre los 1.72 – 2.76bares. De igual manera el sistema de riego por micro aspersión presento problemas de presión, encontrándose por debajo de su rango con un promedio de 1.06bar, el cual se encuentra comprendido entre los 1.5 – 1.20bar, provocando una mala rotación de los emisores, así como una deficiente distribución del agua, desfavoreciendo la necesidad hídrica del cultivo, (Ver anexo 17, 18, pág. 62).

7.2.5. Determinación de caudales de los emisores de riego

En la tabla 6, se presentan los resultados obtenidos del aforo de micro aspersores, reflejando el caudal erogado por los emisores de este sistema a diversos intervalos de tiempo.

Tabla 6. Resultado de aforo de micro aspersores

RESULTADO DE AFORO DE MICRO ASPERSORES					
Lateral	Modelo	Boquilla	Volumen (ltr)	Caudal Q_i (l/s)	Caudal Q_f (ltr)
L1	Micro sprincklers	Roja	1.5	0.035	0.015
L2	Micro sprincklers	Roja	1.5	0.036	0.035
L3	Micro sprincklers	Roja	1.5	0.036	0.035
Promedio = 0.032l/s = 115lph					

Fuente: Autoría propia.

En el caso del sistema de riego por micro aspersión, tras realizar la evaluación en los puntos críticos del sistema, se tiene que, el gasto promedio erogado por el sistema es 0.032l/s equivalente a 115lph a una presión promedio de 1.06 bar, el cual, se encuentra por encima de lo establecido en ficha técnica, el cual tendría que estar comprendido entre 83 – 97lph. Este aumento se debe a que el equipo de bombeo tiene mayor capacidad de caudal en relación al requerido por el sistema en funcionamiento. (Ver Anexo 17, pag.62).

En la tabla 7, correspondiente a los resultados de aforo realizado a mini aspersores, se presentan los caudales obtenidos a diferentes tiempos para este sistema.

Tabla 7. Resultado de aforo de mini aspersores

RESULTADO DE AFORO DE MINI ASPERSORES					
Lateral	Modelo	Boquilla	Volumen (ltr)	Q_i (l/s)	Q_f (l/s)
L1	Smooth Drive	Verde	0.5	0.081	0.078
L2	Smooth Drive	Verde	0.5	0.088	0.093
L3	Smooth Drive	Verde	0.5	0.095	0.093
Promedio = 0.088l/s = 317lph					

Fuente: Propia

De los resultados obtenidos del aforo realizado al sistema de riego por mini aspersión, el cual presenta una presión promedio de 1.33 bares; se obtuvo que los emisores erogan un caudal en promedio de 0.088 l/s equivalente a 317 l/h. Según la ficha técnica del fabricante (Ver anexo 18, pag.62), la presión de trabajo del emisor real es de 1.72 bares con un caudal del 382 l/h, considerando que los

emisores se encuentran trabajando en un 83%, debido a la cantidad de fugas que presenta el sistema en todo su recorrido.

7.2.6. Determinación del coeficiente de uniformidad por medio del método de Christiansen

En la tabla 8, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del sistema de riego por mini aspersión por medio del método de Christiansen, (Ver Anexo 14, pág. 59).

Tabla 8. Resultado de evaluación por medio del método de Christiansen

Evaluación del sistema de riego por mini aspersión por el método de Christiansen						
H	IG	La	Lp	Efa	CU%	
					Sin manipulación	Con manipulación
3.3mm	6.8	3.88mm/hr	1.7mm/hr	43.81%	-33.82%	40%

Nota: H: Presión del aspersor; IG: Intensidad de la gota; Lp: Intensidad de aplicación en campo; Efa: Eficiencia de aplicación; CU: Coeficiente de uniformidad.

Fuente: Propia

Del contenido de agua recolectado en campo de los distintos pluviómetros colocados a lo largo del área de estudio se obtuvo una lámina promedio de 3.3mm de agua para este sistema. De igual forma se realizó la evaluación del grosor de la gota en dependencia de la presión de trabajo del aspersor, donde se determinó un grosor de 6.8 consideradas como gotas gruesas.

En referencia a la ficha técnica del mini aspersor (Ver Anexo 18, pág. 62) y el marco de riego establecido, se obtuvo una intensidad de aplicación teórica de 3.88mm/hr. Según las condiciones de campo encontradas en la zona de estudio se calculó una intensidad de aplicación real de 1.7mm/hr. De los resultados obtenidos de la intensidad de aplicación tanto la real como la teórica, se estableció una eficiencia de aplicación del 43.81% útil para el cultivo.

En la evaluación por el método de Christiansen se realizó una primera prueba sin ninguna manipulación al sistema, en la cual se presentó una uniformidad de aplicación de agua correspondiente a un -33% considerando ser un resultado nulo,

sin embargo, al ejecutar una segunda prueba aplicando un cierto mantenimiento a los mini aspersores se obtuvo un coeficiente de uniformidad del 40% reflejando aun así ser un sistema deficiente.

7.2.7. Determinación del coeficiente de uniformidad por el método de Merriam y Keller

Del cálculo realizado de los datos levantados en campo, se determinó un coeficiente de uniformidad del 30% para el sistema de riego por micro aspersión (Ver Anexo 15, pág. 61), considerada como pobre según su clasificación (Ver Anexo 16, pág. 61).

VIII. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de las propiedades hidro-físicas de la muestra de suelo sometida a estudio, se puede concluir que el suelo encontrado se considera apto para el cultivo del plátano por su textura Franco limosa disponiendo de mayor aireación y mayor volumen de poros, con una baja capacidad de retención, una velocidad de infiltración equivalente a 7.5cm/hr, considerada como moderadamente rápida, así como un pH relativamente alcalino.

Tras realizar la evaluación a los sistemas de riego presentes en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), se obtuvieron presiones deficientes en comparación a lo requerido por el fabricante, relacionado estrechamente a baja presión que se encuentra trabajando en el equipo de bombeo, la presencia de ciertas fugas en algunos laterales, así como falta de algunos accesorios. De igual manera, se determinó que el caudal erogado por el sistema de riego por micro aspersión es superior a lo establecido en su ficha técnica, debido a la capacidad del equipo de bombeo y para el caso del sistema de riego por mini aspersión se establece que se encuentra trabajando en un 83% de su capacidad, con respecto a su caudal por las diferentes fugas presentes.

Así mismo se puede establecer que los sistemas sometidos a evaluación son deficientes, por lo que se considera realizar las debidas mejoras en las partes dañadas, ya que el equipo de bombeo con el que se está trabajando es adecuado para abastecer los sistemas, siempre y cuando se realice una manipulación en la llave de pase que existe en la descarga, esto para tener un mejor control en cuanto a presión y caudal en el sistema.

En conclusión se considera el sistema de riego por micro aspersión como el más óptimo para el cultivo de plátano, ya que este trabaja de una mejor manera en cuanto a distribución, humedeciendo las partes principales del sistema radicular, y existe un mayor acople en su radio de alcance, con respecto al sistema por mini aspersión, presenta diferentes problemas, como obstrucciones en las hojas lo que no permite que el radio de alcance humedezca por total las áreas requeridas del cultivo.

IX. RECOMENDACIONES

- Debido a que este tipo de suelo posee una retención de agua moderadamente rápida, se considera necesario el aumentar la lámina de riego aplicada para poder llevar el suelo a capacidad de campo.
- Realizar el mantenimiento periódico de los accesorios de los sistemas de riego presentes para que de esa manera se tenga mayor eficiencia de aplicación, así como el aumentar su durabilidad.
- Realizar reparaciones de fugas y cambios de accesorios dañados para una mejor aplicación de agua.
- Aumentar el diámetro de tubería en tramos de la conducción para reducir pérdidas por fricción.
- Aumentar la presión de trabajo a 40psi, manipulando la válvula de pase en la salida de sarta de descarga ya que de esa manera llegaría la presión adecuada a ambos sistemas, (Ver Anexo 13, pág. 59).

X. BIBLIOGRAFÍA

- Antunes B., A., Mora L, D., & Felmer E, S. (Enero de 2010). *Eficiencias en sistemas de riego por goteo en el secano*. INIA tierra adentro. Obtenido de <https://agua.org.mx>.
- Arias, N. A. (2018). *Relacion agua - suelo - labores culturales como medio para mejorar la competitividad de la produccion de la palma aceitera*. Lima: Cenipalma. Obtenido de <http://www.junpalmaperu.org>
- Avila Davila, L., M., M., Madrona Sanchez, P., Ruiz Canales, A., Bautista Capetillo, C., Gonzalez Trinidad, J., & Molina Martinez, J. (2019). *Analisis de la velocidad de infiltracion del agua en suelos saturados mediante lisimetros de pesca*. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es>
- Carbotecnia. (18 de Abril de 2022). Obtenido de <https://www.carbotecnia.info>
- Carmenates Hernández, D., Mujica Cervantes, C., Pelier, L., & Paneque Rondón, P. (2014). *Evaluacion de los parametros de manejo de los sistemas de microirrigacion mediante el criterio de Merrian y Keller*. Cuba: Universidad deiego de Avila . Obtenido de <http://scielo.sld.cu>
- Castillo Cerna, C. M. (2005). *SELECCIÓN Y CALIBRACIÓN DE INDICADORES LOCALES Y TECNICO PARA EVALUAR LA DEGRADACION DE LOS SUELOS, LADERAS EN LA MICRO CUENCA CUSCUMA EL TUMA - LA DALIA MATAGALPA*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni>
- Cayon Salinas, D. G. (2004). *Ecofisiologia y productividad del platano* .
- Copa B., R. (2014). *Propiedades hidrofisicas y quimicas del suelo para el mejoramiento del sistema de riego y uso de combustible*. La Paz, Bolivia: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo>

Corsan, *MATERAIL & PIPING SOLUTIONS*. (s.f.). Obtenido de <https://www.corzan.com>

DEBEM, *INDUSTRIAL PUMPS*. (s.f.). Obtenido de <https://www.debem.com>

Demin, P. E. (2014). Obtenido de <https://inta.gob.ar>

EcuRed. (s.f.). *Riego en el platano*. Obtenido de <https://www.ecured.cu>

FAO. (2020). Obtenido de <https://www.fao.org>

FESMEX. (2020). *Perdidas por friccion en tuberias*. Obtenido de <https://www.fesmex.com.mx>

FESMEX, *FLUID EQUIPMENT SUPPLY*. (s.f.). Obtenido de <https://www.fesmex.com.mx>

FranklinElectric . (2011). *Bombas sumergibles de acero inoxidable 6"*. Obtenido de <https://franklinagua.com>

Garcia Hernandez, M. A., Alejandra, G. H., Castellanos Vargas, I., Cano Santana, Z., & Pelaez Rocha, C. M. (2008). *Variacion de la velocidad de infiltracion medida en seis ecosistemas inalterados*. Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

Gutierrez, M., & Diaz, G. (2016). *Evaluacion de sistema de riego por aspersion en el Centro Nacional de Investigacion Agropecuaria y Biotecnologia INTA - CNIAB*. Managua: Universidad Nacional de Ingenieria, Facultad de Tecnologia de la Construccion. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni>

Guzman Gutierrez, S. M. (2010).

Evaluacion de la productividad del agua en el cultivo de banano (Musa AAA Simmonds) para la zona de Santa Martha por medio de la variacion de tres coeficientes de cultivo (Kc). Bogota: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co>

- Hernandez Samperi, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodologia de la investigacion. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de Mexico: McGraw-Hill INTERAMERICANA EDITORES, S.A de C.V.
- Hernandez-Sampieri, R. (2018). *Metodologia de la invetigacion lasrutas cuantitativa,cualitativa y mixta*. Mexico.
- Infoagro. (s.f.). Obtenido de <https://www.infoagro.com>
- InfoAgro. (15 de Junio de 2020). *InfoAgro, frutas tropicales*. Obtenido de <https://www.infoagro.com>
- Infoagro. (2022). Obtenido de <https://infoagronomo.net>
- INTA. (2019). Obtenido de <https://inta.gob.ni>
- INTAGRI. (2017). *Propiedades fisicas del suelo y el crecimiento de las plantas*. Obtenido de <https://www.intagri.com>
- MCA/Nicaragua. (2016). Obtenido de <https://docplayer.es>
- Muñoz, I., & Miranda, O. (1985). Manejo de suelos y velocidad de infiltracion del agua de riego en un parronal. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl>
- Navas, D., Padilla, P., & Perez, S. (2019). En *Diseño e instalacion de un laboratorio de riego presurizado con fines academicos en la FAE*.
- Padilla Duarte, E. C. (2019). *Guia de practicas de laboratorio de fundamentos del suelo*. Managua: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Pavon, R., & Galeano, C. (2013). Evaluacion del sistema de riego por mini aspersion.
- Raintec, A. (s.f.). Obtenido de <https://www.azudbrasil.com.br>
- Rivera, M. R. (s.f.). Manual practico para el cultivo sustentable del platano. Universidad de Puerto Rico. Obtenido de <https://www.uprm.edu>
- Rodriguez, U. N. (2014). Obtenido de <https://es.slideshare.net>

- Rojas Durand, G. (2018). Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/7157>
- Rosales, F., Alvarez, J., & Vargas, A. (2017). *Guia practica para la produccion de platano con altas densidades*. Bioersivity international. Obtenido de <https://docplayer.es>
- S/D. (s.f.). Obtenido de <http://media.admininhouse.com>
- S/D. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Lima, Peru. Obtenido de <https://iris.paho.org>
- S/D. (2019). *Necesidad de agua en los cultivos*. Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu>
- Senninger. (s.f.). *Smooth Drive aspensor*. Obtenido de <https://www.senninger.com>
- Shaxon, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El Significado de la porosidad del suelo. Roma: Organización de las Naciones Unidas por la Agricultura y la Alimentación. Obtenido de <https://www.fao.org>
- Tellez Garcia, E. I., & Cerrato Cortes, L. S. (2006). Caracterización Físico-Química y morfológica para el uso y manejo de suelos de la finca "La Puebla", comunidad "Santa Clara", comarca "Las Cortezas", municipio "Tisma", departamento de Masaya. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería .
- TRAXCO. (19 de Julio de 2016). *Riego por microaspersión en arboles*. Obtenido de <https://www.traxco.es>
- U.N.L.P. (2019). *POROSIDAD Y AIREACIÓN DENSIDAD REAL Y APARENTE*. Obtenido de <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar>
- UNA. (14 de Junio de S/D). *Guía práctica para el cultivo del plátano (Musa paradisiaca)*. Nicaragua: Programa de desarrollo del cultivo de plátano. Proyecto de desarrollo de la cadena de valor y conglomerado agrícola. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni>

Universidad de Granada. (s.f.). *Introduccion A La Edafologia*. Obtenido de <http://www.edafologia.net>

Urriola S, L. (2020). ¿Porque estudiar las propiedades fisicas del suelo? *Revista Semilla del Este*, 1.

XI. ANEXO

Anexo 1. Cálculos de determinación de propiedades hidro-físicas de los suelos.

➤ Textura de suelo

Lectura a los 40 segundos, para obtener el porcentaje de limo más arcilla (% Limo + % Arcilla):

Dónde:

Peso Suelo: 50gr

Li = 36.5

FC = 1.5

Lb = 0

$$L_{45} = L_i + F_c + L_b$$

$$L_{45} = 36.5 + 1.5 + 0$$

$$L_{45} = 38$$

$$\%Li + \%A = \frac{38 - 0}{50g} \cdot 100$$

$$\%Limo + Arcilla = 76\%$$

Lectura a las 2 horas ó 5 horas, para obtener el porcentaje de arcilla (%Arcilla):

Dónde:

Li = 10

FC = 1.5.

Lb = 0

$$L_2 = L_1 + F_c + L_E$$

$$L_2 = 10 + 1.5 + 0$$

$$L_2 = 11.5$$

$$\%A_1 = \frac{11.5 - 0}{50 \text{ g}} \cdot 100$$

%Arcilla: 23%

Cálculo para obtener el porcentaje de arena (%Arena):

$$\%Arena = 100 - \%Limo + Arcilla$$

$$\%Arena = 100 - 76\%$$

%Arena: 24%

Cálculo para obtener el porcentaje de limo (%Limo):

$$\%Limo = (\%Limo + Arcilla) - \%Arcilla$$

$$\%Limo = 76\% - 23\%$$

%Limo: 53%

➤ **Densidad aparente**

Volumen de cilindro

Datos:

Vc: Volumen del Cilindro (cm³)

Altura del cilindro: 10cm

Diámetro del cilindro: 4.5cm

$$V = \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times h$$

$$V = \left(\frac{\pi (4.5 \text{ cm})^2}{4} \right) \times 10 \text{ cm}$$

$$V_c = 159.043 \text{ cm}^3$$

➤ **Masa de suelo seco**

Datos:

Peso de la tara: 143.60gr

Peso suelo seco al horno: 303.55gr

$$M_s = 303.55 \text{ gr} - 143.60 \text{ gr}$$

$$M_s = 159.95 \text{ g}$$

➤ **Cálculo de la densidad aparente**

$$D = \frac{159.95 \text{ g}}{159.043 \text{ cm}^3}$$

$$D_a = 1.005 \text{ gr/cm}^3$$

➤ **Densidad Real**

Donde:

Dr = Densidad real (gr/cm³)

d1 = 0.997 °C.

d3 = 0.997 °C.

P1 = 136.35 (gr).

PP = 40.05 (gr).

P3 = 139.6 (gr).

PS = 7.55 (gr).

$$D = \frac{0.997C \times 0.997C \times 7.55g}{0.997C(136.35g - 40.05g) - 0.997C(139.6g - 7.55g - 40.05g)}$$

$$D_t = 1.75 \text{ gr/cm}^3$$

➤ **Capacidad de campo**

Dónde:

%Cc = Porcentaje gravimétrico de contenido de agua a capacidad de campo

Psht = 48.03gr

Psst = 42.73gr

Pt = 15.83gr

$$\%C = \frac{(48.03g - 42.73g)}{(42.73g - 15.83g)} \times 100$$

$$\%C_c = 20\%$$

➤ **Punto de Marchites Permanente (PMP)**

$$P = \frac{20}{1.84}$$

PMP = 11%

➤ **Velocidad de infiltración**

Donde:

F: velocidad de infiltración.

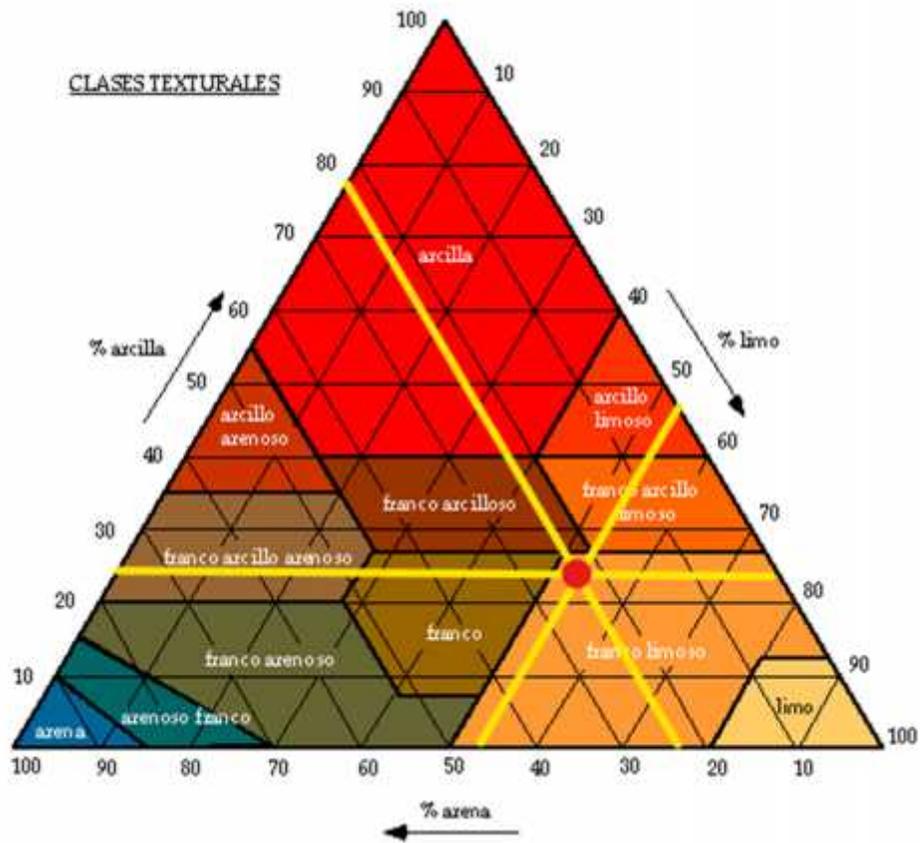
R: 15cm

h1 y h2: alturas específicas en los tiempos t1 y t2 respectivos.

$$F = \frac{R}{2} \frac{(2h1 + R)}{(t2 - t1)} \frac{1}{(2h2 + R)}$$

$$F = 7.5 \text{ cm/hr}$$

Anexo 2. Triángulo de textura del suelo



Fuente: (Universidad de Granada)

Anexo 3. Parámetros para la densidad Aparente del Suelo

Evaluación Aparente (Da)	Densidad gr/cm^3
Muy Baja	<1.0
Baja	1.0– 1.2
Media	1.2 – 1.45
Alta	1.45 – 1.60
Muy Alta	>1.60

Fuente: (Padilla Duarte, 2019)

Anexo 4. Parámetros para la densidad real

Densidad Real gr/cm ³	Evaluación
<2.40	Bajo
2.40 – 2.60	Medio
2.60 – 2.80	Alto
>2.80	Muy Alto

Fuente: (Padilla Duarte, 2019).

Anexo 5. Análisis físico de la Unidad Cartográfica 4 (UC4)

Densidades (gr/cc)CC			Partículas (%)			Clase Textural
Da	Dr		Arcilla	Limo	Arena	
1,02	1,55	37,1	35	40	25	Franco Arcilloso
1	1	42,63	37	40	25	Franco Arcilloso
1	1	39,65	27	42	31	Franco

Da: Densidad Aparente
Dr: Densidad Real

Fuente: (Tellez Garcia & Cerrato Cortes, 2006)

Anexo 6. Parámetros para la capacidad de campo

Capacidad de Campo % de volumen	Evaluación
< 20	Baja
20 – 40	Media
40 – 55	Alta
> 55	Muy Alta

Fuente: (Padilla Duarte, 2019).

Anexo 7. Capacidad de Retención de Agua Acumulada UC 4

Horizonte	Textura	Prof.(cm)	CC	PMP	Da	Total Hz
Ap	FA	28	46,38	18,552	0,8	6,233
Bw ₁	FA	12	56,05	22,42	0,99	3,995
Bw ₂	FA	5	56,46	22,584	0,99	1,677
Bw ₃	F	13	51,82	20,728	0,99	4,002

Fuente: (Tellez Garcia & Cerrato Cortes, 2006)

Anexo 8. Resultados obtenidos de prueba de velocidad de infiltración

hora	intervalos min	tiempo acum (min)	lectura	$R/2(t_2-t_1)$	$(2h_1+R)/(2h_2+R)$	f cm/min	f cm/hr	mm/hr
09:31	1		25	7.5			0.0	0
09:32	1	1	24.3	7.5	1.016	0.12	7.1	71.3168651
09:33	1	2	23.8	7.5	1.110	0.78	46.9	469.332538
09:34	1	3	20.7	7.5	1.048	0.35	21.2	212.380611
09:35	1	4	19.4	7.5	1.035	0.26	15.3	153.133869
09:36	1	5	18.5	7.5	1.040	0.29	17.6	176.493209
09:37	1	6	17.5	7.5	1.046	0.34	20.2	202.488147
09:38	1	7	16.4	7.5	1.030	0.22	13.4	133.767811
09:39	1	8	15.7	7.5	1.031	0.23	13.8	137.866363
09:40	1	9	15	7.5	1.037	0.27	16.3	162.913719
09:41	1	10	14.2	3.75	1.069	0.25	15.0	150.055593
09:43	2	12	12.8	3.75	1.074	0.27	16.1	160.782669
09:45	2	14	11.4	3.75	1.074	0.27	16.0	160.341795
09:47	2	16	10.1	3.75	1.067	0.24	14.5	145.211673
09:49	2	18	9	3.75	1.044	0.16	9.8	97.538492
09:51	2	20	8.3	3.75	1.113	0.40	24.0	240.227945
09:53	2	22	6.7	3.75	1.022	0.08	4.9	48.991049
09:55	2	24	24.3	3.75	1.053	0.19	11.6	116.154822
09:57	2	26	22.7	3.75	1.056	0.20	12.2	122.479215
09:59	2	28	21.1	3.75	1.055	0.20	12.1	121.214227
10:01	2	30	19.6	2.5	1.084	0.20	12.1	120.986855
10:04	3	33	17.5	2.5	1.068	0.17	9.9	99.2097038
10:07	3	36	15.9	2.5	1.059	0.14	8.6	85.7376208
10:10	3	39	14.6	2.5	1.094	0.22	13.5	134.842506
10:13	3	42	12.7	2.5	1.080	0.19	11.6	115.738621
10:16	3	45	11.2	1.5	1.120	0.17	10.2	101.803324
10:21	5	50	9.2	1.5	1.113	0.16	9.7	96.6226665
10:26	5	55	7.5	1.5	1.098	0.14	8.4	84.1191552
10:31	5	60	22.1	1.5	1.109	0.15	9.3	92.7997163
10:36	5	65	19.2	1.5	1.131	0.19	11.1	111.075168
10:41	5	70	16.1	1.5	1.093	0.13	8.0	79.6980576
10:46	5	75	14.1	1.5	1.113	0.16	9.7	96.6782238
10:51	5	80	11.9	1.5	1.096	0.14	8.3	82.5375838
10:56	5	85	10.2	1.5	1.172	0.24	14.3	142.982906
11:01	5	90	7.6	1.5	1.063	0.09	5.5	55.3075013
11:06	5	95	6.7	0.75	1.213	0.14	8.7	86.7771908
11:16	10	105	19.3	0.75	1.196	0.13	8.1	80.7034179
11:26	10	115	14.9	0.75	1.211	0.14	8.6	86.080602
11:36	10	125	11	0.75	1.276	0.18	11.0	109.629937
11:46	10	135	7	0.75	1.107	0.08	4.6	45.6913886
11:56	10	145	5.6	0.375	1.316	0.10	6.2	61.7482903
12:16	20	165	17.2	0.375	1.350	0.11	6.7	67.4779914
12:36	20	185	10.8	0.375	1.376	0.12	7.2	71.8058305
12:56	20	205	5.8	0.375	1.773	0.21	12.9	128.893728
						0.2	7.5	120.946332

Fuente: Propia.

Anexo 9. Datos de aforo del equipo de bombeo

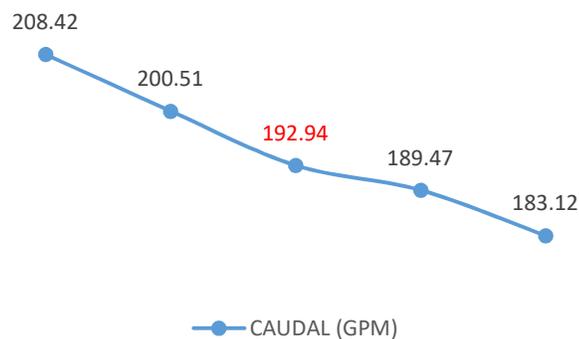
DATOS DE AFORO EQUIPO DE BOMBEO		
BOMBA SUMERGIBLE		
POTENCIA	20HP	
DESCARGA	4"	
RESULTADOS DE AFORO		
1. CAUDAL (GPM) EN DESCARGA LIBRE		
Volumen (m3)	Tiempo (seg)	Caudal (GPM)
10	7.60	208.42
2. CAUDAL (GPM) A 20 PSI		
Volumen (m3)	Tiempo (seg)	Caudal (GPM)
10	7.90	200.51
3. CAUDAL (GPM) A 30 PSI		
Volumen (m3)	Tiempo (seg)	Caudal (GPM)
10	8.21	192.94
4. CAUDAL (GPM) A 40 PSI		
Volumen (m3)	Tiempo (seg)	Caudal (GPM)
10	8.36	189.47
5. CAUDAL (GPM) A 50 PSI		
Volumen (m3)	Tiempo (seg)	Caudal (GPM)
10	8.65	183.12

Fuente: Propia

Anexo 10. Curva de gasto respecto a la presión del equipo de bombeo

En el grafico 2, se presenta gráficamente los resultados obtenidos del aforo realizado a la fuente de abastecimiento en el cual se obtuvieron diversos caudales a diferentes presiones.

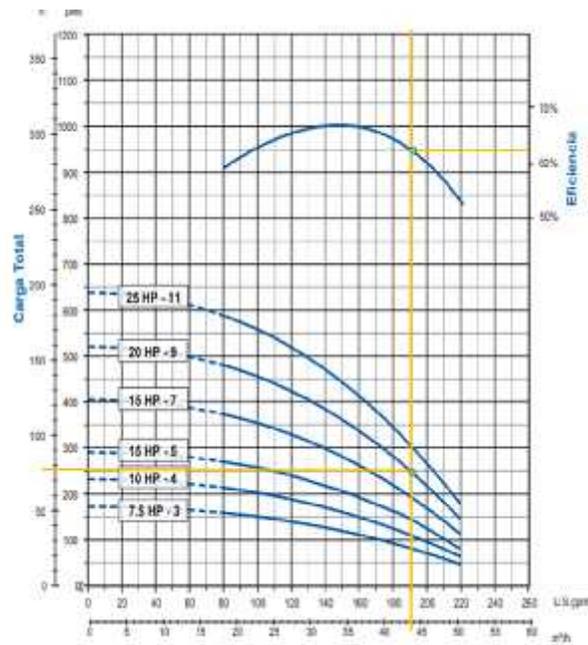
Grafico 2. Curva de gasto respecto a la presión del equipo de bombeo



Fuente:

Propia.

Anexo 11. Curva característica del equipo de bombeo



Fuente: (FranklinElectric , 2011)

Anexo 12. Cálculos Hidráulicos del sistema

➤ Perdidas por Fricción en el Sistema

$$h_f = 10.648 \left(\frac{Q}{C_{H-W}} \right)^{1.8} \frac{L}{D^{4.8}}$$

Datos:

$$Q_{ti} = 43.15 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$C = 150$$

Presión de Salida = 30 Psi

$$H_f \text{ Tramo Bomba - A} = 10.648 \left(\frac{0.0 \text{ m}^3/\text{s}}{1} \right)^{1.8} \frac{9.6 \text{ m}}{(0.1)^{4.8}}$$

$$H_f \text{ Tramo Bomba - A} = 1.39 \text{ m}$$

$$H_f \text{ Tramo A - B} = 10.648 \left(\frac{0.0 \text{ m}^3/\text{s}}{1} \right)^{1.8} \frac{6.0 \text{ m}}{(0.0)^{4.8}}$$

$$H_f \text{ Tramo A - B} = 2.05 \text{ m}$$

$$H_f \text{ Tramo B - C} = 10.648 \left(\frac{0.0 \text{ m}^3/\text{s}}{1} \right)^{1.8} \frac{1.0 \text{ m}}{(0.0)^{4.8}}$$

$$H_f \text{ Tramo B - C} = 3.20\text{m}$$

$$H_f \text{ Tramo C - D} = 10.648 \left(\frac{0.0 \text{ m}^3/\text{s}}{1} \right)^{1.8} \frac{4.0 \text{ m}}{(0.0)^{4.8}}$$

$$H_f \text{ Tramo C - D} = 0.12\text{m}$$

$$H_f \text{ Tramo D - E} = 10.648 \left(\frac{0.0}{1} \right)^{1.8} \frac{2.0 \text{ m}}{(0.0)^{4.8}}$$

$$H_f \text{ Tramo D - E} = 0.32\text{m}$$

$$H_f \text{ Tramo E - F} = 10.648 \left(\frac{0.0 \text{ m}^3/\text{s}}{1} \right)^{1.8} \frac{7.0 \text{ m}}{(0.0)^{4.8}}$$

$$H_f \text{ Tramo E - F} = 0.31\text{m}$$

Pérdidas Totales por fricción= 7.39m

- **Perdidas de Presión en todo el sistema (PSI)= 7.39m * 1.422**

Perdidas Presión (PSI)= 10.52 PSI

Presión al Final del Sistema: 30.00Psi – 10.52Psi

Presión Final= 19.48 PSI

- **Carga Total Dinámica**

$$C = H_s + H_f + H_z$$

$$C = 33.98\text{m} + 7.39 + 0.5\text{m} + 2\text{m} + 17.54 + 1.23$$

$$C = 62.64\text{m}$$

$$C = 205.46 \text{ p}$$

- **Potencia de la Bomba**

$$P = \frac{Q(\text{gl}) \cdot C(\text{p})}{3960 \cdot e}$$

$$P_c = \left(\frac{1.5 \text{ gal } 2.4 \text{ p}}{3 \text{ } 0.6} \right) 1.1$$

$$P = 17.49 = 20H$$

Anexo 13. Calculo hidráulico con una presión de salida de 40 psi

Calculos Hidraulicos Conduccion-Manifold-Lateral												
TRAMOS		Long. (m)	Caudal		Diámetro Nominal (Pulg.)	Diámetro Interno		C	Veloc. (m/s)	HF (m)	HF (PSI)	HFTOTAL
			GPM	LPS		Pulg.	mm					
Bomba	A	95.60	189.96	11.97	4	4.28	108.71	150	1.29	1.39	1.98	38.02
A	B	69.00	139.47	8.79	3	3.285	83.43	150	1.61	2.05	2.91	35.11
B	C	108.00	139.47	8.79	3	3.285	83.43	150	1.61	3.20	4.56	30.55
C	D	40.00	40.29	2.54	3	3.285	83.43	150	0.46	0.12	0.17	30.38
D	E	20.00	20.15	1.27	1.5	1.783	45.28	150	0.79	0.32	0.46	29.93
E	F	70.00	10.08	0.63	1.5	1.783	45.28	150	0.39	0.31	0.44	29.48
TOTAL:										7.39	10.52	

Fuente: Propia.

Anexo 14. Evaluación del sistema de riego por mini aspersion en el cultivo de plátano por el Método de Christiansen

- **Cálculo de la altura de la lluvia en cada Pluviómetro.**

Datos:

V: 24.8 (ml).

A: 74.81 (cm²)

$$H = 10 \frac{V}{A}$$

$$H = 10 \frac{24.8}{74.81}$$

$$H = 3.3 \text{ mm}$$

- **Cálculo del Grosor de las Gotas.**

Datos:

H: 1.34 (kg/cm²)

D: 2.78 (mm)

$$IG = 12.85 \frac{H^{1.3}}{D}$$

$$IG = P 12.85 \frac{(1.3)^{1.3}}{2.7}$$

$$IG = 6.8$$

➤ **Cálculo de la Intensidad de aplicación del aspersor unitario.**

Datos:

Qa: 0.097 (L/seg)

Ea: 9m

Ei: 10m

$$I_u = \frac{Q \cdot 3}{E \cdot E}$$

$$I_u = \frac{Q \cdot 3}{9 \cdot 1}$$

$$I_u = 3.88 \text{ mm/hr}$$

➤ **Cálculo de intensidad de aplicación en campo**

Datos:

X: 3.3 (mm)

T: 2hr

$$I_p = \frac{3.3}{2}$$

$$I_p = 1.7 \text{ mm/hr}$$

➤ **Cálculo de la eficiencia de aplicación de riego (Efa)**

Datos:

I_p: 1.7 (mm/hr)

I_a: 3.88 (mm/hr)

$$E_a = \frac{1.7}{3.88} \cdot 100$$

$$E_u = 43.81\%$$

- **Cálculo del coeficiente de Uniformidad por el método de Christiansen sin manipulación en el área de estudio**

$$CU\% = 100 \left(1 - \frac{305.3}{25 \cdot 9.1} \right)$$

$$CU\% = -33.82\%$$

- **Cálculo del coeficiente de Uniformidad por el método de Christiansen con manipulación en el área de estudio**

$$CU\% = 100 \left(1 - \frac{370}{25 \cdot 24.8} \right)$$

$$CU\% = 40\%$$

Anexo 15. Evaluación del sistema de riego por micro aspersión en el cultivo de plátano por el Método de Merriam y Keller

$$UD = \frac{6.6}{1.9} \cdot 100$$

$$UD: 30\%$$

Anexo 16. Clasificación del Coeficiente de uniformidad

Valor de la Uniformidad de Emisión	Clasificación.
Mayor de 90%	Excelente
De 80 a 90%	Muy buena
De 70 a 80%	Regular
Menor de 70%	Pobre

Fuente: (Carmenates Hernández, Mujica Cervantes, Pelier, & Paneque Rondón, 2014).

Anexo 17. Datos de ficha técnica de micro aspersor Micro Sprinklers

Microaspersores Micro-sprinklers				Diámetro mojado / Wetted diameter (m)					
Boquilla / Nozzle				Bañarinas / Swivels				Difusor / Sprayer	
Modelo Model	Orificio boquilla Nozzle size (mm)	Presión Pressure (bar)	Caudal Flow (l/h)	Largo Alcance* Long range 	Corto Alcance* Short range 	Con deflector* Stream deflector 	Invertida** Upside Down 		Nebulizador Mist sprayer 
							0.60 (m)	1.50	
Gris / Grey 30L	0,80	1,5	27	5,5	3,5	0,90	5,5	6,5	1,0
		2,0	31	5,5	3,5	1,80	5,5	6,5	1,0
Blanco / White 40L	0,90	1,5	35	6,0	3,5	1,20	6,0	6,5	1,1
		2,0	40	6,0	4,0	1,80	6,0	6,5	1,1
Marrón / Brown 50L	1,00	1,5	41	6,5	3,5	1,20	6,5	6,5	1,2
		2,0	48	6,5	4,0	1,80	6,5	6,5	1,2
Azul / Blue 60L	1,10	1,5	49	7,0	4,0	1,20	6,5	7,0	1,2
		2,0	57	8,0	4,0	1,80	6,5	7,5	1,2
Negro / Black 70L	1,20	1,5	60	7,5	4,0	1,20	6,5	7,0	1,3
		2,0	69	8,0	4,5	1,80	6,5	8,0	1,3
Verde / Green 80L	1,30	1,5	70	8,0	4,0	1,20	6,5	8,5	1,4
		2,0	81	8,5	4,5	1,80	6,5	8,5	1,4
Rojo / Red 100L	1,40	1,5	83	8,0	4,5	1,20	6,5	8,5	NR
		2,0	97	9,5	4,5	1,80	6,5	8,5	NR
Amarillo / Yellow 120L	1,65	1,5	100	8,5	5,0	1,65	6,5	8,5	NR
		2,0	127	9,5	5,5	1,80	8,0	9,0	NR
Violeta / Violet 100L	1,90	1,5	140	8,5	5,0	NR	7,0	8,5	NR
		2,0	164	9,0	6,0	NR	8,0	9,0	NR

Fuente: (Raintec, s.f.)

Anexo 18. Datos de ficha técnica de mini aspersor Smooth Drive

PRESIÓN BASE DEL ASPERSOR - EE.UU. (pies)	psi				PRESIÓN BASE DEL ASPERSOR - MÉTRICO (m)	bar			
	25	30	35	40		1,72	2,07	2,41	2,76
Boquilla #6 - Dorado (3/32")					Boquilla #6 - Dorado (2,38 mm)				
Caudal (gpm)	-	1,34	1,45	1,55	Caudal (l/h)	-	304	329	352
Diámetro del modelo LA a 1,5 pies de altura	-	65	67	68	Diámetro del modelo LA a 0,46 m de altura	-	19,8	20,4	20,7
Diámetro del modelo HA a 1,5 pies de altura	-	68	70	72	Diámetro del modelo HA a 0,46 m de altura	-	20,8	21,4	22,0
Boquilla #7 - Lima (7/64")					Boquilla #7 - Lima (2,78 mm)				
Caudal (gpm)	1,68	1,84	1,99	2,12	Caudal (l/h)	382	418	452	482
Diámetro del modelo LA a 1,5 pies de altura	63	67	68	69	Diámetro del modelo LA a 0,46 m de altura	19,3	20,4	20,6	20,9
Diámetro del modelo HA a 1,5 pies de altura	67	72	74	77	Diámetro del modelo HA a 0,46 m de altura	20,4	22,1	22,4	23,3
Boquilla #8 - Lila (1/8")					Boquilla #8 - Lila (3,18 mm)				
Caudal (gpm)	2,21	2,42	2,62	2,79	Caudal (l/h)	502	550	596	634
Diámetro del modelo LA a 1,5 pies de altura	65	68	69	71	Diámetro del modelo LA a 0,46 m de altura	19,7	20,7	20,9	21,5
Diámetro del modelo HA a 1,5 pies de altura	70	74	77	78	Diámetro del modelo HA a 0,46 m de altura	21,5	22,6	23,3	23,8

Fuente: (Senninger, s.f.)

Anexo 19. Recolección de muestra de suelo de la zona de estudio



Fuente: Propia.

Anexo 20. Muestras de suelo llevadas a laboratorio obtenidos de la zona de estudio



Fuente: Propia.

Anexo 21. Lectura de la suspensión con hidrómetro de Bouyoucus



Fuente: Propia.

Anexo 22. Prueba de velocidad de infiltración por el método de Porchet



Fuente: Propia.

Anexo 23. Medición de presión a micro aspersores



Fuente: Propia

Aneo 24. Prueba de coeficiente de uniformidad mediante método de Christiansen



Fuente: Propia.