



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE
PLÁTANO (*Musa Paradisiaca*) EN LA FINCA AGRÍCOLA EXPERIMENTAL
(FAE-UNI)”**

Para optar al título de Ingeniero Agrícola.

Elaborado por

Br. Mauro Roberto Guevara Román.

Br. Pedro Bladimirck Rivera Romero.

Tutor

MSc. Ing. José Mamerto Méndez Úbeda.

Asesor

Ing. Francisco Javier Fitoria Espinosa.

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2021

DEDICATORIA

A Dios nuestro creador:

Por ser nuestra fortaleza, nuestra guía, nuestro dotador de salud, amor y sabiduría.

A nuestras familias:

Por brindarnos todo su amor, apoyo, comprensión y por ser responsables de toda nuestra formación y nuestros logros, gracias son lo más importante en nuestras vidas.

A nuestros amigos (a).

Por todo el apoyo en los momentos difíciles en la maravillosa experiencia como estudiantes universitarios y por todos los consejos para seguir siempre adelante con los estudios.

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Por facilitarnos los recursos necesarios para la realización de este estudio a través del Proyecto Plátano de la fundación Taiwán.

Br. Mauro Roberto Guevara Román.

Br. Pedro Bladimirck Rivera Romero.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres.

Por darme apoyo en todo momento, siempre dar el esfuerzo para que nunca me faltase nada, acompañarme en tiempos difíciles y por siempre tener fe en mí, espero poder hacerlos sentir orgullosos

A mi hija, Olga María Guevara.

Por ser hacer de mi vida mucho más feliz y llenarme de amor y alegría.

A Josselin Arteaga Cáceres.

Por apoyarme en todo momento, por ser una gran compañera de vida y por estar para mí aun en los momentos difíciles.

A Olga María Balladares y María de los Ángeles Guevara Balladares.

Mi abuela que en paz descanse, por el gran amor y cariño con el cual siempre me trato, por siempre escucharme y motivarme en los momentos difíciles, a mi tía por siempre brindarme apoyo a mí y a mis padres siempre que los necesitamos, con amor y cariño.

Al MSc. Ing. José Méndez Úbeda.

Por brindarnos el apoyo para lograr realizar nuestra investigación y por la formación académica que nos brindó durante las clases de la universidad, aportando a nuestro desarrollo como profesionales.

Al Ing. Francisco Javier Fitoria Espinosa.

Por darnos acompañamiento y asesorarnos durante este trabajo, por ser un gran amigo y un gran compañero.

A mis profesores universitarios.

Al Lic. José Horacio Arguello, por guiarme y aconsejarme en tiempos difíciles de la universidad, al Ing. Alfredo José Sandino, por ser un gran amigo y profesor, formarme como un buen profesional y una gran persona teniendo siempre en cuenta buenos valores y al Ing. Horacio José Gonzales, por la excelente formación académica y profesional brindada durante sus clases.

A mis amigos(a).

Por apoyarme en tiempos de necesidad, por aconsejarme y motivarme para la culminación de mis estudios.

Br. Mauro Roberto Guevara Román

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por brindarme sabiduría, fortaleza y siempre llenarme de abundantes bendiciones.

A mi madre y mis abuelos.

Por brindarme apoyo, comprensión, por ser los responsables de mi formación profesional, mis logros alcanzados son más suyos que míos, gracias por ser mi fuente de inspiración y mis ganas de luchar día a día por mis sueños.

Al MSc. Ing. José Méndez Úbeda.

Por la tutoría de nuestro trabajo, aportando sus recomendaciones e indicaciones pertinentes en la realización del mismo.

Al Ing. Francisco Javier Fitoria Espinosa.

Por la asesoría de nuestro trabajo, aportando sus recomendaciones e indicaciones pertinentes en la realización del mismo.

A mis amigos (a).

Por todo el apoyo en los momentos difíciles en la maravillosa experiencia como estudiantes universitarios y por todos los consejos para seguir siempre adelante con los estudios.

Br. Pedro Bladimirck Rivera Romero

RESUMEN EJECUTIVO

El plátano es un fruto comestible, de varios tipos de grandes plantas herbáceas del género *Musa*. Es un fruto con cualidades variables en tamaño, color y firmeza, alargado, generalmente curvado y carnoso cubierto con una cáscara, que puede ser verde o amarilla cuando está madura. Los frutos crecen en piñas que cuelgan de la parte superior de la planta. El nombre científico de la mayoría de los plátanos cultivados es ***Musa paradisiaca***. En el presente estudio se evaluó el rendimiento productivo de las plántulas de plátano cultivadas in vitro de la variedad cuerno enano en 2 tipos de marcos de plantación y 4 tipos de sistemas de riego, de los cuales 2 son focalizados y 2 totalizados.

Se estableció el cultivo en un área de una hectárea, dividida en 8 secciones para cada una de las combinaciones de los factores estudiados, durante dicho proceso se realizaron labores de estudio y preparación de suelo, fertilización, manejo agronómico e instalación de los distintos sistemas de riego (mini aspersión, micro aspersión, goteo con cinta y goteo con botón) con el fin de crear condiciones óptimas e iguales para todas las secciones del experimento para que los datos obtenidos pudiesen ser comparados entre sí, además se calculó la lámina óptima de riego para cada uno de los sistemas antes mencionados.

La recolección de datos de las variables se realizó a partir de los 6 meses de edad con la finalidad de poder observar el desarrollo de la planta y posteriormente también medir las variables de producción. Para el análisis de dichas variables se utilizaron los programas estadísticos SPSS versión 25 y Minitab19, utilizando para el análisis los métodos de medias ponderadas, análisis de varianza para múltiples factores y diseño Taguchi para la determinación de factores óptimos de rendimiento, mostrando como resultado mejores rendimientos en cuanto al peso de la producción en los marcos de plantación 2x2 y riegos totalizados, mejor desarrollo de la plantación en los riegos totalizados y menor tiempo de floración en el tipo de riego por micro aspersión.

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. Cultivo de plátano	5
5.1.1. Origen.....	5
5.1.2. Taxonomía y Morfología	6
5.1.3. Manejo Agronómico.....	8
5.1.4. Principales plagas del plátano	10
5.1.5. Principales enfermedades del plátano.....	13
5.1.6. Parámetros de calidad del plátano	14
5.2. Suelo	16
5.2.1. Muestreo de suelo	16
5.2.2. Propiedades hidrofísicas del suelo	16
5.3. Sistema de riego	19
5.3.1. Generalidades	19
5.3.2. Riego por mini aspersion	20
5.3.3. Riego por micro aspersion.....	22
5.3.4. Riego por goteo con botón	23
5.3.5. Riego por goteo con cinta.....	24
5.4. Evapotranspiración (ETO).....	25
5.4.1. Métodos para determinar la evapotranspiración.....	26
5.4.2. Datos climáticos.....	27
5.4.3. Coeficiente de cultivo.....	27
5.5. Lamina de riego	27
5.5.1. Generalidades	27
5.5.2. Procedimiento para la determinación de la lámina de riego	28

5.5.3. Usos del software AquaCrop	28
5.5.4. Aplicaciones de AquaCrop	29
VI. DISEÑO METODOLÓGICO	30
6.1. Localización del área en estudio	30
6.1.1. Macro localización	30
6.1.2. Micro localización	30
6.2. Determinación de la lámina de riego óptima del cultivo de plátano considerando condiciones edafoclimaticas.	31
6.2.1. Estudio de suelo	31
6.2.2. Georreferenciación de barrenadas alteradas e inalteradas haciendo uso de un GPS.	32
6.2.3. Procesamiento de muestras en laboratorio.	32
6.2.4. Recolección de datos meteorológicos.	33
6.2.5. Diseño agronómico, diseño geométrico y diseño hidráulico de los sistemas de riego instalados.....	33
6.2.6. Evaluación de los sistemas de riego en software AquaCrop.	40
6.3. Establecimiento del cultivo de plátano a diferentes densidades de siembra considerando los métodos de riego.	45
6.3.1. Establecimiento.	45
6.3.2. Instalación de sistemas de riego.....	46
6.3.3. Ahoyado.	46
6.3.4. Preparación de la semilla de plátano.....	47
6.3.5. Siembra.	47
6.3.6. Aplicación de Productos Fitosanitarios	47
6.3.7. Manejo agronómico.	48
6.4. Determinación de riego y densidades de siembra óptima del cultivo de plátano a través de la medición de variables.	48
6.4.1. Medición de variables	48
6.4.2. Análisis de datos estadísticos.....	53
VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
7.1. Análisis de resultados de Propiedades Hidrofísicas del Suelo.....	58

7.2. Análisis de resultados de los diseños agronómico, geométrico e hidráulico.	60
7.2.1. Diseño agronómico.....	60
7.2.2. Diseño geométrico.....	61
7.2.3. Diseño hidráulico	62
7.3. Análisis de Resultados del software AquaCrop.....	66
7.4. Análisis de los resultados estadísticos obtenidos de la medición de variables.....	68
7.4.1. Variables de Desarrollo	68
7.4.2. Variables de Rendimiento.....	71
7.4.3. Proyección de rendimiento por hectárea	74
7.4.4. Estimación de comparación de los factores del estudio para variables de rendimiento	74
7.4.5. Análisis Taguchi para la determinación de diseño optimo	79
VIII. CONCLUSIONES.....	85
IX. RECOMENDACIONES.....	86
X. BIBLIOGRAFÍA.....	87
XI. ANEXOS.....	i

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distancias de siembra y población por hectárea.	9
Tabla 2. Valor nutricional del plátano.	15
Tabla 3. Metodos para la determinación de la Evapotranspiración potencial (ETo).	26
Tabla 4. Datos proporcionados por el Instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER).....	33
Tabla 5. Cálculo del diámetro de tuberías (para caudales máximos).....	37
Tabla 6. Formato de recolección de datos para la medición de variables de desarrollo.	50
Tabla 7. Formato de recolección de datos para la medición de variables de post cosecha.	52
Tabla 8. Matriz ortogonal Taguchi.	55
Tabla 9. Resultados de las propiedades hidrofísicas.	58
Tabla 10. Resultados del diseño agronómico.....	60

Tabla 11. Resultados del cálculo hidráulico en tubería de conducción.	62
Tabla 12. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para mini aspersión.	62
Tabla 13. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para micro aspersión.	63
Tabla 14. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para goteo botón considerando las densidades.	63
Tabla 15. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para goteo cinta considerando las densidades.	64
Tabla 16. Resultados de datos obtenidos del riego totalizado.	66
Tabla 17. Calendario de riego para el cultivo de plátano con riego totalizado.	66
Tabla 18. Resultados de datos obtenidos del riego focalizado.	67
Tabla 19. Calendario de riego para el cultivo de plátano con riego focalizado.	67
Tabla 20. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por mini aspersión.	69
Tabla 21. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por micro aspersión.	69
Tabla 22. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por botón.	70
Tabla 23. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por cinta.	70
Tabla 24. Valores promedios de todas las variables de rendimiento por cada uno de los experimentos.	73
Tabla 25. Proyección rendimiento por hectarea.	74
Tabla 26. Resultados AD y el P-valor.	75
Tabla 27. Resultados Bartlett y el P-valor.	76
Tabla 28. Análisis de la significancia de la combinación de los niveles de los factores tipo de riego y marco de plantación.	77
Tabla 29. Agrupación de los niveles de los factores tipo de riego y marco de plantación y su combinación.	78

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Platano (<i>Musa Paradisiaca</i>).	5
Figura 2. Hojas del cultivo de plátano.	6
Figura 3. Flor del cultivo de plátano.	7
Figura 4. Fruto.	7
Figura 5. Suelo Agrícola.	16
Figura 6. Muestreo de Suelo.	16
Figura 7. Sistema de Riego.	19
Figura 8. Sistema de riego por mini aspersión.	20
Figura 9. Micro aspersor.	22
Figura 10. Sistema de riego de goteo con botón.	23

Figura 11. Sistema de riego de goteo con cinta.	24
Figura 12. Esquema de Eto.	25
Figura 13. Esquema de Lámina de Riego.	27
Figura 14. Simulación en Software AquaCrop.	29
Figura 15. Macro localization.	30
Figura 16. Micro localización.	31
Figura 17. A) Barreno, B) Extractor de muestras inalteradas, C) métodos para la recolección de muestras alteradas.	32
Figura 18. GPS para georreferenciación de barrenadas.	32
Figura 19. Parámetros del Cultivo.	40
Figura 20. Evaluación de Simulación de Resultados.	41
Figura 21. Dimensiones del ahoyado.	47
Figura 22. Matriz de diseño taguchi.	53
Figura 23. Diseño geométrico del área en estudio.	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Peso promedio en kilogramos por cada combinación de factores.	72
Gráfico 2. Comportamiento de los efectos en las medias de las respuestas de las variables para el caso del tipo de riego y marco de plantación con menor valor.	80
Gráfico 3. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable número de dedos.	80
Gráfico 4 . Comportamiento de efectos principales en las medias de variable peso del racimo.	81
Gráfico 5. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable número de manos.	82
Gráfico 6. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable peso del dedo medio de la segunda mano del racimo.	83
Gráfico 7. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable longitud del dedo medio de la segunda mano del racimo.	84
Gráfico 8. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable longitud del dedo medio de la segunda mano del racimo.	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de insumos fitosanitarios requeridos.	i
Anexo 2. Tabla del programa de control y mantenimiento.	iii
Anexo 3. Recolección de muestras de suelo en campo Finca agrícola experimental.	iv

Anexo 4. Preparación del suelo finca agrícola experimental.....	iv
Anexo 5. Transporte y establecimiento en invernadero de la semilla de plátano. ...	v
Anexo 6. Ahoyado.....	v
Anexo 7. Instalación de sistemas de riego.....	vi
Anexo 8. Siembra.....	vi
Anexo 9. Estudios de suelo en laboratorio.....	vii
Anexo 10. Manejo agronómico.....	vii
Anexo 11. Toma de datos variables de crecimiento.....	viii
Anexo 12. Cosecha.....	viii
Anexo 13. Toma de datos variables de producción.....	ix

I. INTRODUCCIÓN

La producción de plátano en Nicaragua se realiza durante todo el año. Esta actividad se concentra en la región del Pacífico, principalmente en los departamentos de Rivas y Chinandega debido a la disponibilidad de infraestructura. Se estima que, en el 2002, se contaba con un área sembrada de plátano de 6.3 mil manzanas distribuidas en los departamentos de Granada, Rivas, Carazo, Masaya, León y Chinandega. Actualmente, se estima que el área total de producción es de 10 mil hectáreas. Es importante destacar el conocimiento de las necesidades de agua para cada cultivo, este conocimiento permitirá dar un uso adecuado y eficiente al recurso agua y un mejor empleo del sistema de riego.

En esta investigación se llevó a cabo la evaluación de 4 sistemas de riego y 2 densidades de siembra en plantas in vitro de plátano (variedad cuerno enano), a partir de la selección de plantas al azar, toma de variables de interés y su posterior análisis estadístico. Se determinó la lámina de riego óptima para el cultivo considerando condiciones edafoclimáticas del lugar, se realizaron estudios climáticos y de suelo, se diseñaron e instalaron los sistemas de riego (mini aspersión, micro aspersión, goteo con botón y goteo con cinta), los que se evaluaron en software AquaCrop y se estableció el cultivo utilizando 2 densidades de siembra ($1.3 \times 1.6 \times 3.20$, obteniendo 430 plantas con una longitud de surcos de 70 metros y 2×2 , obteniendo 280 plantas con una longitud de 70 metros), para un total de 2840 plantas en 1.34 Hectáreas (ha). Se seleccionaron plantas al azar en cada sistema de riego para realizarles toma de datos (variables de crecimiento y variables de producción), se recopiló y ordenó los datos levantados para realizar la evaluación y análisis en software estadístico SPSS y con diseños experimentales a través del método Taguchi, se estudiaron los factores que afectan el producto final del experimento, que en nuestro caso fueron las variables de rendimiento y se hizo el análisis de varianza ANOVA para rendimiento. Con esto se determinó el método de riego y densidad de siembra óptima para el cultivo.

II. ANTECEDENTES

En Nicaragua la agricultura bajo riego se inició en la década de los cincuenta para plantaciones de plátano y caña de azúcar, haciendo uso de sistemas de riego no tecnificados, pero a partir de la década de los noventa se comenzó a promover el riego tecnificado en el cultivo de caña de azúcar. En los últimos años se ha producido una expansión acelerada de las modernas técnicas de riego en la agricultura, dada por la necesidad de incrementar la eficiencia en el manejo del agua e intensificar los procesos productivos.

Actualmente instituciones como el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Ministerio Agropecuario y forestal (MAGFOR) proponen programas para el desarrollo y mejoramiento de los sistemas de riego y mecanización agrícola en las áreas disponibles de mayor potencial productivo.

La Finca Agrícola Experimental le pertenece a la Universidad Nacional de Ingeniería, se ha cultivado plátano tecnificado con riego por aspersión en el año 2012 y por micro aspersión en el año 2013. Cuenta con diversos pozos, uno de ellos proporciona el agua para abastecer del vital líquido al cultivo de plátano.

En 2019 y 2020 se realizó la instalación de los sistemas de riego por mini aspersión, micro aspersión, goteo por cinta y goteo por botón, en 1.34 Hectáreas (ha) que se utilizaron para la producción de plátano. En la finca se ha sembrado plátano tecnificado con sistemas de riego en años anteriores, pero no existe estudio alguno que evalué 4 métodos de riego y 2 densidades de siembra en el cultivo de plátano, por el cual se puede decir que este es el primer estudio de este tipo que se realizó en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI).

III. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el sistema productivo que genere mayores rendimientos en el cultivo de plátano, a través de la medición de variables y su posterior análisis en SPSS, con esto se logró conocer que método genera los mejores rendimientos productivos en el cultivo, de igual manera, se determinó la lámina de riego óptima y la frecuencia de riego que se debe de aplicar al cultivo, considerando las condiciones edafoclimáticas y las densidades de siembra.

Con los resultados que se obtuvieron por medio de la evaluación de los sistemas de riego en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), se puede obtener mejores rendimientos en producciones futuras, esto generará una mayor demanda de mano de obra en la zona por lo que las personas que viven en los sectores aledaños se verán beneficiados con una oportunidad laboral, también funcionará perfectamente como un laboratorio experimental en campo, donde los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola y el Técnico Superior en Tecnologías de Riego pueden realizar sus prácticas.

Los resultados de la evaluación de los sistemas de riego proporcionaran antecedentes para futuros trabajos de investigación sobre el uso y manejo de los sistemas de riego por mini aspersión, micro aspersión, goteo con botón y goteo con cinta en el cultivo de plátano en la finca y en la región. Los productores que están involucrados en la producción de plátano podrán tener como referencia el presente documento, para realizar una correcta elección del sistema de riego y la densidad de siembra a utilizar, optimizar sus recursos, hacer buen uso y manejo de los sistemas de riego y mejorar el rendimiento productivo de plátano en sus fincas.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Evaluar el sistema productivo que genere mayores rendimientos en el cultivo de plátano en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI).

4.2. Objetivos específicos

- Determinar la lámina de riego óptima para el cultivo de plátano considerando las condiciones edafoclimáticas de la zona en estudio.
- Establecer el cultivo de plátano en diferentes densidades de siembra, considerando los métodos de riego para la aplicación del agua.
- Determinar el método de riego y densidad de siembra óptima para el cultivo de plátano a través de la medición de variables y análisis estadísticos.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Cultivo de plátano

El plátano es una planta herbácea de gran tamaño, que en ciertas regiones se le conoce como banano. Este forma parte de la familia de las Musáceas y puede alcanzar una altura que oscila entre los 2 y 3 m, con un fuste de 20 cm de diámetro, compuesto por las vainas de las hojas, enrolladas de manera muy estrecha unas sobre otras y terminadas en un amplio limbo, de al menos 2 m de longitud y unos 30 cm de ancho, que en su ápice tienen forma redondeada.

Estas hojas en conjuntos conforman el

penacho o copa de la planta. Al mismo tiempo el término plátano se emplea para hacer referencia al fruto comestible que dicha planta ofrece. Se trata de una baya alargada, que puede llegar a medir, entre diez y quince centímetros de longitud, con una pequeña curvatura y de cáscara lisa con tonalidad amarilla (Infoagro).

5.1.1. Origen

Se considera que el plátano tiene su origen en el suroeste de Asia, Indochina, Malasia y Filipinas. Desde Indonesia se propagó hacia el sur y el oeste, alcanzando Hawái y la Polinesia. Los comerciantes europeos llevaron noticias del árbol a Europa alrededor del siglo III a. C., aunque no fue introducido hasta el siglo X. De las plantaciones de África Occidental los colonizadores portugueses lo llevarían a Sudamérica en el siglo XVI, concretamente a Santo Domingo.

Figura 1. Plátano (*Musa Paradisiaca*).



Fuente: Finca Agrícola Experimental.

5.1.2. Taxonomía y Morfología

- **Familia:** *Musáceas*.
- **Especie:** *Musa x paradisiaca* L.
- **Planta:** herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3,5-7,5 m de altura, terminado en una corona de hojas (Figura 1).
- **Rizoma o bulbo:** tallo subterráneo con numerosos puntos de crecimiento (meristemos) que dan origen a pseudotallos, raíces y yemas vegetativas.
- **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.
- **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.
- **Hojas:** se originan en el punto central de crecimiento o meristemo terminal, situado en la parte superior del rizoma. Al principio, se observa la formación del pecíolo y la nervadura central terminada en filamento, lo que será la vaina

Figura 2. Hojas del cultivo de plátano.



Fuente: Finca agrícola experimental.

posteriormente. La parte de la nervadura se alarga y el borde izquierdo comienza a cubrir el derecho, creciendo en altura y formando los semilimbos. La hoja se forma en el interior del pseudotallo y emerge enrollada en forma de cigarro. 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 pecíolo

de 1 m o más de longitud y un limbo elíptico alargado, ligeramente decurrente hacia el peciolo, un poco ondulado y glabro (Figura 2).

- **Flores:** flores amarillentas, irregulares y con seis estambres, de los cuales uno es estéril, reducido a estaminodio petaloideo. El gineceo tiene tres pistilos, con ovario ínfero. El conjunto de la inflorescencia constituye el

Figura 3. Flor del cultivo de plátano.



Fuente: Finca agrícola experimental.

“régimen” de la platanera. 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 (Figura 3).

- **Fruto:** baya oblonga. Durante el desarrollo del fruto éstos se doblan geotrópicamente, según el peso de este, determinando esta reacción la forma del racimo. 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. Los plátanos comestibles son de partenocarpia vegetativa, o sea, desarrollan una masa de pulpa comestible sin ser necesaria la polinización. Los óvulos se atrofian pronto, pero pueden reconocerse en la pulpa comestible (Figura 4) (Infoagro).

Figura 4. Fruto.



Fuente: Finca agrícola experimental.

5.1.3. Manejo Agronómico

➤ Siembra

El plátano se puede sembrar en cualquier época del año con la condición de que haya suficiente humedad en el suelo. Con el propósito de lograr uniformidad en el desarrollo vegetativo de las plantaciones debe sembrarse en lotes homogéneos por tamaño de semilla.

La selección de la semilla para siembra se realiza utilizando aquellas cepas o semillas procedentes de semilleros de plantaciones sanas, pudiendo utilizarse como material de propagación cepas de plantas maduras, cepas de plantas no maduras (esta es la mejor para plantarla) y cepas de hijos de espada. Todas ellas deben sanearse eliminando las raíces viejas y desinfectarse posteriormente.

Una vez elegida la semilla se procede a la apertura y preparación de los hoyos, cuyo tamaño dependerá del tamaño de la misma. En general, se recomiendan huecos de 0,30-0,40 x 0,30-0,40 x 0,30-0,40 m. Es conveniente agregar 2-3 kg de abono orgánico en el fondo del hoyo para mejorar el desarrollo de las raíces. Posteriormente, se procede a la colocación del cormo en el hueco y se tapa con el resto de suelo que se sacó de allí. El suelo de relleno se apisona para evitar que queden cámaras de aire que faciliten pudriciones de las raíces por encharcamiento (Biblioteca virtual MAG).

En general, si se incrementa la densidad de siembra se eleva el rendimiento bruto, pero disminuye el número de dedos por mano y racimo, hay un menor peso del racimo y la maduración es más lenta. Por tanto, una mayor densidad de siembra debe compensarse con una mayor fertilización y, en general, un mejor manejo.

Tabla 1. Distancias de siembra y población por hectárea.

Distancia de siembra (m)	Siembra en triángulo (plantas ha⁻¹)	Siembra en cuadro (plantas ha⁻¹)
2,6 x 2,6	1700	1479
2,7 x 2,7	1600	1372
2,8 x 2,8	1500	1276
3 x 3	1666	1100

Fuente: (Biblioteca virtual MAG).

➤ **Fertilización**

Las primeras fases de crecimiento de las plantas son decisivas para el desarrollo futuro, por tanto, es recomendable en el momento de la siembra utilizar un fertilizante rico en fósforo. Cuando no se haya realizado abonado inicial, la primera fertilización tendrá lugar cuando la planta tenga entre 3 y 5 semanas, recomendándose abonar al pie en vez de distribuir el abono por todo el terreno, ya que esta planta extiende poco las raíces.

En condiciones tropicales, los compuestos nitrogenados se lavan rápidamente, por tanto, se recomienda fraccionar la aplicación de este elemento a lo largo del ciclo vegetativo.

A los dos meses, es recomendable aportar urea o nitrato amónico, repitiendo el tratamiento a los 3 y 4 meses. Al quinto mes se debe realizar una aplicación de un fertilizante rico en potasio, por ser uno de los elementos más importantes para la fructificación del cultivo.

En plantaciones adultas, se seguirá empleando una fórmula rica en potasio (500 g de sulfato o cloruro potásico), distribuida en el mayor número de aplicaciones anuales, sobre todo en suelos ácidos. Se tendrá en cuenta el análisis de suelo para determinar con mayor exactitud las condiciones actuales de fertilidad del mismo y elaborar un adecuado programa de fertilización.

El uso de abonado orgánico es adecuado en este cultivo no sólo porque mejora las condiciones físicas del suelo, sino porque aporta elementos nutritivos. Entre los efectos favorables del uso de materia orgánica, está el mejoramiento de la estructura del suelo, un mayor ligamiento de las partículas del suelo y el aumento de la capacidad de intercambio (Biblioteca virtual MAG).

➤ **Riego**

El plátano requiere grandes cantidades de agua y es muy sensible a la sequía, ya que ésta dificulta la salida de las inflorescencias dando como resultado, racimos torcidos y entrenudos muy cortos en el raquis que impiden el enderezamiento de los frutos. La sequía, también produce obstrucción foliar, provocando problemas en el desarrollo de las hojas.

Una humedad apropiada del suelo es esencial para obtener buenas producciones, particularmente durante los meses secos del año, en los que se debe asegurar un riego adecuado. Sin embargo, debe tenerse precaución y no regar en exceso, ya que el plátano es extremadamente susceptible al daño provocado por las inundaciones y a suelos continuamente húmedos o con un drenaje inadecuado.

Los sistemas de riego más empleados son el riego por goteo y por aspersión. En verano, las necesidades hídricas alcanzan aproximadamente unos 100 m³ de agua por semana y por hectárea y en otoño la mitad. En enero no se riega y en febrero, una sola vez. Los riegos se reducen cuando los frutos están próximos a la madurez (Infoagro, 2020).

5.1.4. Principales plagas del plátano

➤ **Thrips (*Hercinothripsfemoralis*)**

Las características principales de *Hercinothripsfemoralis* son su pico chupador raspador con sus alas plumosas y en número de dos pares, de color marrón oscuro. Su tamaño es de 1.5 mm. Las larvas son de color amarillento translúcido y no son voladoras.

Hercinothrips femoralis ataca directamente al fruto, produciendo daños que fácilmente se confunden con los de la araña roja. El daño se inicia en los plátanos con una zona de color plateado, que después pasa a color pardocobrizo y termina en color casi negro.

Sus ataques son más frecuentes en las épocas lluviosas (Mayo - Octubre), ya que condiciones de humedad del 70 % ó 80 % favorecen su desarrollo. Un momento adecuado para combatir esta plaga es antes del inicio del invierno (Marzo y Abril), cuando la población de thrips es baja.

➤ **Ácaro rojo del plátano (*Tetranychus telarius* y *Tetranychus urticae*)**

Es una araña roja típica de forma globosa. No segregan muchos hilos de seda. Sólo lo hacen para sostener al huevo en el envés de la hoja para que éste no caiga al suelo. Se considera una importante plaga en el cultivo de plátanos y bananos en los cuales los daños se centran en las hojas por la actividad de la alimentación, las que luego se van decolorando, posteriormente pasan a color pardo o gris, en ataques severos provoca la defoliación del árbol. Esta suele localizarse en el envés de las hojas a lo largo del nervio central, cerca del racimo, notándose su presencia por unos puntitos de color rojo junto con las telas de araña y los huevos. Después pasan al racimo, causando daños en la fruta con la aparición de zonas de color blanco-plateado, que poco a poco se van haciendo más oscuros.

➤ **Chinches**

Las chinches y sus ninfas dañan las plantas al perforar la superficie inferior de las hojas y succionar los jugos de la planta, es una especie chupadora que causa amarillamiento, madurez precoz de la hoja, espolífaga, aparece en brotes repentinos lo cual puede ser por dos causas diferentes: sequia o una inadecuada aplicación de insecticidas.

Cuando las ninfas mudan, la piel desechada permanece adherida a la superficie inferior de la hoja. Los daños se pueden ver en la superficie superior de la hoja en

forma de numerosas manchas pálidas y pequeñas que pueden unirse unas con otras. A diferencia de los tisanópteros o trips y de otras plagas que producen un daño similar, conocido como punteado o graneado, las chinches cubren extensamente la superficie inferior de la hoja con excremento oscuro.

➤ **Nematodos *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* y *Meloidogyne***

Los nematodos fitoparásitos constituyen uno de los principales problemas fitosanitarios que afectan el cultivo de plátano a nivel mundial. Son lombrices microscópicas que viven en el suelo y atacan el exterior de las raíces, al succionar en la superficie de las células corticales de las raíces, provocan lesiones en forma de manchas de color pardo oscuro o rojizas, dañando el cormo en el cual producen zonas necróticas por la muerte de los tejidos. Una planta dañada cae fácilmente bajo el efecto del viento. El daño da lugar a una disminución de la producción. Los daños se manifiestan en las plantaciones por un amarilleo de las hojas, la muerte de las ramas bajas, agallas en las raíces y sobreproducción de raicillas.

➤ **Barrenador de la raíz del plátano (*Cosmopolites sordidus*)**

También conocido como picudo negro, en la actualidad es considerado como una de las plagas más importantes en todas las regiones del mundo donde se cultiva plátano.

El ataque se manifiesta por un alargamiento de las hojas y una disminución en el tamaño de los frutos, y en general un aspecto enfermizo de la planta. Si este es severo puede dar lugar a la caída de la planta.

El daño que produce es el resultado de la destrucción del tejido de los cormos por las larvas perforadoras. Especialmente los brotes tiernos de la planta muestran síntomas de marchitamiento y mueren, mientras que a las plantas de más edad les detiene su crecimiento. Los adultos no nocivos se alimentan de material vegetal en descomposición, activos durante la noche y viven en el suelo (IPSA.GOB.NI.).

5.1.5. Principales enfermedades del plátano

➤ Mal de panamá o “veta amarilla”.

Es la enfermedad más grave que ataca a la platanera y está causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cúbense*. Las principales variedades comerciales, especialmente “Gros Michel”, son atacadas por *Fusarium*.

Es fácil de apreciar la enfermedad, pues causa síntomas llamativos de amarilleo, seca de hojas y muerte de rodales de plantas.

La enfermedad se transmite frecuentemente por “cabezas” o “ñames” de plantas enfermas, con las que se plantan nuevas huertas o se replantan otras en cultivo. Dentro de una parcela, la enfermedad se propaga de una planta a otra por el suelo y a través de las raíces. La vía normal es que el hongo penetre por las raicillas laterales, que están sobre las raíces más viejas, y de éstas pase al rizoma. El hongo también puede penetrar por las raíces muertas o heridas, de las cuales pasará al rizoma.

➤ Sigatoka Negra

Es considerada la enfermedad foliar más destructiva y de mayor valor económico en los cultivos de banano y plátano y que puede causar pérdidas de hasta un 50% en el rendimiento. Es causada por el hongo *Mycosphaerella Fijensis*. El primer síntoma de esta enfermedad es en la hoja, el cual aparece como manchitas amarillentas o parduzco, luego esto se tornará a rallas parduzcas. Bajo condiciones favorables se desarrollan lesiones necróticas oscuras. Cuando varias rallas se expanden y se unen se forma un largo tejido necrótico de color café en la hoja.

Cuando la enfermedad es dejada sin control da como resultado pocas hojas funcionales, el tamaño de la fruta y el número de manos son reducidos. Sin medidas de control la Sigatoka Negra puede reducir hasta en un 50 % el peso del racimo y causar pérdidas del 100 % de la producción debido al deterioro en la calidad.

El control químico es la medida más favorable para controlar la enfermedad y la plaga. Se puede utilizar para el control dos tipos de fungicida: fungicidas protectores y fungicidas sistémicos (IPSA.GOB.NI.).

5.1.6. Parámetros de calidad del plátano

Los plátanos de todas las categorías deben presentar las siguientes características y parámetros de calidad para su comercialización para consumo, según la NORMA DEL CODEX PARA EL BANANO (PLÁTANO) (CODEX STAN 205-1997) los requisitos mínimos son:

- Verdes, sin madurar
- Enteros - Consistentes
- Sanos, se excluirán los productos atacados por podredumbres o alteraciones que los hagan impropios para el consumo
- Limpios, exentos de materias extrañas visibles
- Exentos de daños producidos por parásitos
- Con el pedúnculo intacto, sin pliegues ni ataques fúngicos y sin desecar
- Desprovistos de restos florales
- Exentos de deformaciones y sin curvaturas anormales de los dedos.
- Exentos de magulladuras
- Exentos de humedad exterior anormal
- Exentos de olores o sabores extraños

Además, las manos y manojos deberán:

- Alcanzar el grado apropiado de madurez fisiológica, de conformidad con las características peculiares de la variedad;
- soportar el transporte y la manipulación; y
- llegar en estado satisfactorio al lugar de destino, de forma que puedan madurar satisfactoriamente. (IPSA.GOB.NI)

➤ **Valor nutricional**

El plátano es bien conocido por ser fuente importante de potasio. El potasio ayuda a mantener una presión arterial adecuada y con ello a prevenir enfermedades cardiovasculares.

También es rico en vitaminas B6, ácido fólico y vitamina C; es fuente de fibra, principalmente fibra de tipo soluble, la más presente es la inulina. Los azúcares y almidón del plátano maduro brindan energía inmediata y de corto plazo. Este también contiene compuestos fenólicos y flavonoides, fitoquímicos asociados con beneficios a la salud como protección contra el cáncer y otras enfermedades crónicas. (Abcagro)

Tabla 2. Valor nutricional del plátano.

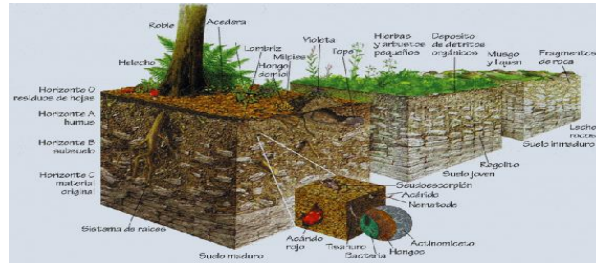
Ítems	valor nutricional
Cantidad	100 g
Calorías	89
Grasas totales	0.3 g
Ácidos grasos saturados	0.1 g
Colesterol	0 mg
Sodio	1 mg
Potasio	358 mg
Carbohidratos	23 g
Fibra alimentaria	2.6 g
Azúcares	12 g
Proteínas	1.1 g
Vitamina C	8.7 mg
Hierro	0.3 mg
Vitamina B6	0.4 mg
Magnesio	27 mg
Calcio	5 mg
Vitamina D	0 IU
Vitamina B12	0 µg

Fuente. (USDA)

5.2. Suelo

El suelo agrícola (Figura 5) es aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o

Figura 5. Suelo Agrícola.



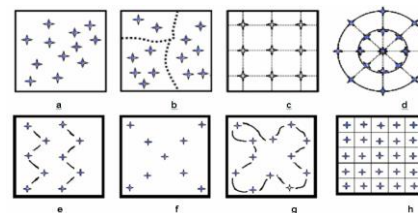
Fuente: (Úbeda, 2018).

agricultura. El suelo agrícola debe ser en primer lugar un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo que sean luego cosechados y utilizados por el hombre, por lo cual también debe ser apto por sus componentes para el ser humano (EcuRed., 2015).

5.2.1. Muestreo de suelo

El muestreo es el primer paso de un análisis físico-químico del suelo (Figura 6), y el más crítico, ya que constituye la fuente de error más común. Al muestrear para una recomendación de fertilización o para el diseño de un sistema de riego, el punto central es obtener una muestra que represente precisamente el lote donde fue tomada. El muestreo del suelo es la forma en que se obtiene la información para su correspondiente estudio. En la agricultura los análisis de suelos se realizan a profundidades variables, si el estudio requiere información detallada y compleja (Méndez & López, 2011).

Figura 6. Muestreo de Suelo.



Fuente: (Úbeda, 2018).

5.2.2. Propiedades hidrofísicas del suelo

Las propiedades hidrofísicas del suelo son porcentaje de humedad (%H), capacidad de campo (Cc), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Densidad Aparente (Da), Densidad Real (Dr), Textura del Suelo por el método hidrométrico de Bouyoucos, pH, Conductividad Eléctrica.

➤ **Porcentaje de humedad (%H)**

Se denomina porcentaje de humedad en el suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno, la determinación de la humedad en el suelo es de gran importancia debido a que constituye un factor determinante en la información, conservación, fertilidad y productividad del mismo. El conocimiento de la humedad y su dinamismo en el suelo es la base de la caracterización hidrofísicas del suelo (Méndez & López, 2011).

➤ **Capacidad de Campo (Cc)**

La capacidad de campo es una propiedad hidrofísica de gran importancia ya que con la misma encontramos la capacidad de retención de agua en el suelo, así como nos sirve de base para el cálculo del agua disponible y la porosidad de aireación del suelo factores determinantes del rendimiento de los cultivos (Méndez & López, 2011).

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

Se considera PMP a la cantidad que queda en el suelo expresada en porcentaje base suelo seco, en el momento en que las plantas sufren de marchitez irreversible o permanente, es decir, es el agua que la planta no es capaz de absorber (Méndez & López, 2011).

➤ **Densidad Aparente (Da)**

Se conoce como Da la importancia de conocer el estado físico del suelo, ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos como por ejemplo la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente. La densidad aparente es la base para el cálculo de la porosidad total, el peso de su hectárea surco, la humedad en base al volumen y la norma de riego (Méndez & López, 2011).

➤ **Densidad Real (Dr)**

La densidad real (Dr) o densidad de la fase sólida del suelo es la real entre la masa del suelo seco y la masa de igual volumen de agua. El valor de la Dr depende de la naturaleza de los minerales y de la cantidad de sustancias orgánicas. Para la mayoría de los suelos el valor medio de la densidad de su fase sólida es de 2.65 gramos (gr) / centímetro cúbico (cm³) variando en función de las causas indicadas. Cuando más humus, contiene el suelo tanto es la densidad real (Méndez & López, 2011).

En la determinación de la densidad real lo más importante es obtener con presión el volumen de los sólidos del suelo sobre la base de la extracción del aire, del suelo al vacío al mediante y orgánica (Méndez & López, 2011).

➤ **Textura del Suelo por el método hidrométrico de Bouyoucos.**

La textura del suelo está compuesta en combinaciones de arena, limo y arcilla que integran la distribución del tamaño de partículas en una muestra de suelo. Las clases texturales la distribución se definen por la dominación en el suelo de las propiedades de una o más fracciones. Cuando no aparece dominación alguna tenemos la clase textural franca (Méndez & López, 2011).

➤ **pH**

El pH se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de iones de hidrógeno, una solución con pH menor de 7 será ácida, si el pH es superior de 7 recibe el nombre de básica o alcalino, un pH igual a 7 corresponda a la neutralidad.

La importancia de medir por lo general el pH de un suelo radicular en la disponibilidad de los nutrientes del suelo por ser parte de las plantas para absorberlo, ya que muchos nutrientes tienen la máxima solución a pH de 6-7 por encima y por debajo de tal rango (Méndez & López, 2011).

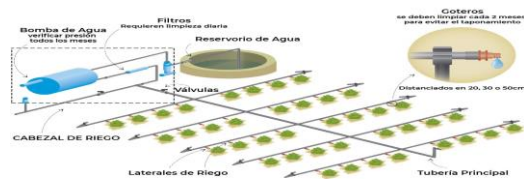
➤ Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica. Esta relación con la presencia de iones disueltos en el agua, los cuales son partículas cargadas eléctricamente. Cuando mayor sea la cantidad de iones disueltos mayor será la conductividad eléctrica del agua (Méndez & López, 2011).

5.3. Sistema de riego

Se denomina Sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas (Garcia & Briones).

Figura 7. Sistema de Riego.



Fuente: (Garcia & Briones).

5.3.1. Generalidades

Se denomina Sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas (Garcia & Briones).

Estas estructuras, o bien conocidos como sistemas de riego es el encargado de suministrar la cantidad de agua necesaria (lámina de riego) al cultivo con el buen uso y manejo del sistema se pueden llegar a rendimientos máximos en cualquier cultivo que opte por implementar cualquier sistema de riego.

Por medio de la aplicación de las prácticas agrícolas como cosecha de agua, conservación del ecosistema y suelos agrícolas, con la aplicación de los sistemas de riego se puede optimizar el uso y conservación de los recursos hídricos con los que se cuentan en la zona de aplicación del sistema de riego, la aplicación del agua en los cultivos es un factor determinante en la producción agrícola.

5.3.2. Riego por mini aspersión

El sistema de riego por mini aspersión es un método de riego mediante dispersión de agua de gotas. Para realizar este método pulveriza en de pulverización se utilizan unos accesorios llamados aspersores como emisores de agua (Figura 8).

Para tener una mejor idea, puedes imaginar que este sistema de regadío

simula una lluvia, mediante los pulverizadores o aspersores el agua se eleva y cae pulverizada en forma de gotas sobre la superficie requerida.

➤ Componentes

Para la operación del sistema de irrigación por aspersión se necesitan elementos desde la toma de agua hasta la distribución de agua.

Dentro de elementos básicos tenemos: la captación de agua, las líneas de distribución o conducción de agua, reservorio, mangueras y aspersores.

De la misma forma la presión de agua es una variable importante a considerar.

- **La presión en un sistema de riego por aspersión**

El objetivo de la presión es llegar con la misma fuerza hasta los pulverizadores de agua o aspersores para poder tener un riego uniforme en toda el área de regadío.

Al mismo tiempo la presión del agua debe tener la potencia necesaria para poder dar el movimiento que necesitan los aspersores de agua, bien sean fijos o móviles. Se deben instalar bombas de agua o un grupo de bombeo si por algún motivo no se logra la presión necesaria.

Figura 8. Sistema de riego por mini aspersión.



Fuente: Finca agrícola experimental.

- **Líneas o red de tuberías**

Está compuesto por todos los ramales de tuberías, desde los ramales principales, ubicados en líneas principales, para alimentar a los ramales secundarios en donde se encuentran conectados los aspersores de agua.

- **Aspersores de agua**

Dentro del mundo de la agricultura se utilizan en mayor proporción los aspersores tipo giratorios, son aquellos que giran alrededor de su eje y permiten un riego circular a su alrededor. El giro es gracias a la presión del agua.

- **Reservorios de agua**

Se utilizan para almacenar el agua necesaria para cierta cantidad de riegos, a este reservorio se conectan los sistemas de bombeos o bombas de agua para impulsar a la presión requerida.

- **Ventajas**

- ✓ Tiene un menor consumo de agua que los sistemas de riego por inundación.
- ✓ Presenta una gran adaptabilidad a terrenos irregulares, con grandes diferencias de cota en su superficie.
- ✓ Permite dosificar el agua con una buena precisión.
- ✓ Su distribución sobre el material vegetal depende del viento, aunque a bajas velocidades es muy homogénea.

- **Desventajas**

- ✓ El consumo de agua es menor comparado con otros sistemas de riego, como el riego por inundación.
- ✓ Es adaptable a terrenos irregulares, no tienen problemas en cuanto al tipo de suelos, ni sus nivelaciones poco perfectas. No necesita preparación de la tierra.
- ✓ La pulverización de agua es muy homogénea a bajas velocidades de aire. No se recomienda utilizar en zonas con alto viento.

- ✓ Se utiliza con muy buena eficiencia en aplicaciones de riego anti heladas, debido a que crea un clima húmedo etc. (sistemas de riego por aspersion)

5.3.3. Riego por micro aspersion

Figura 9. Micro aspersor.



Fuente: Finca agrícola experimental.

Consiste en aplicar agua en forma de lluvia fina mediante dispositivos (llamados micro aspersores) que la distribuyen en un radio no superior a los 3 metros.

Atendiendo su funcionamiento hidráulico, los dispositivos de micro aspersion pueden ser de largo conducto, de orificio, de remolino o auto compensante.

El riego por micro aspersion es homólogo a la aspersion, en la cual el micro aspersor se diferencia de las variadas formas de aspersion convencional debido a que el caudal y la presión de cada aspersor es baja (Figura 9).

➤ **Ventajas**

- ✓ Mayor uniformidad de riego más que en goteo
- ✓ Mayor facilidad de inspección para corregir problemas
- ✓ Los micros aspersores son mucho menos propensos a las obstrucciones que los goteros debido al mayor diámetro de paso y a la más alta velocidad de agua.
- ✓ Control de microclimas
- ✓ Ahorro de agua etc. (TODO RIEGO.)

➤ **Desventajas**

- ✓ Necesita que el emisor se encuentre siempre en posición vertical para funcionar eficientemente.
- ✓ Es afectado por pisoteo de personal en épocas de cosecha.
- ✓ Mayor costo de instalación.
- ✓ El viento puede influir en la uniformidad de riego.

5.3.4. Riego por goteo con botón

El sistema de riego por goteo también conocido con el nombre de riego gota a gota (Figura 10), es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua, es un medio eficaz y pertinente de aportar agua a la planta, ya sea en cultivos en línea (García & Briones).

Figura 10. Sistema de riego de goteo con botón.



Fuente: Finca agrícola experimental.

➤ Componentes

- ✓ Reservorio: Usado comúnmente para regar el cultivo.
- ✓ Bomba de pozo profundo: Utilizada para tomar agua de los acuíferos para alimentar el reservorio o ser usada directamente. Esta agua puede contener arena o elementos biológicos.
- ✓ Controlador de riego: Dispositivo electrónico que activa las válvulas en campo de acuerdo con la programación establecida por el usuario.
- ✓ Sistema de inyección de fertilizantes y equipo auxiliar (inyección de cloro, inyector de ácido, inyector de sales nutritivas) Componentes de un sistema de riego localizado.
- ✓ Reguladoras de presión y caudal, alivio de aire y doble propósito; manómetros, medidores de flujo y válvulas anti retorno o cheque.
- ✓ Válvulas de control de filtros (retro lavado).
- ✓ Emisores de riego: Goteros, micro aspersores, cintas de riego, micro tubos.
- ✓ Unidad de bombeo es el principal componente de un sistema de riego presurizado, debe otorgar la presión y caudal suficiente al sistema en función de las necesidades que demanda cada instalación en particular.

5.3.5. Riego por goteo con cinta

Figura 11. Sistema de riego de goteo con cinta.



Fuente: Finca agrícola experimental.

La cinta de riego recibe su nombre al ser una manguera de pared ultra delgada. Posee la capacidad de enrollarse y hacerse plana, lo que conlleva al término “cinta”. Ésta cuenta con goteros a cada cierta distancia para distribuir agua y nutrientes a cada planta de la producción.

➤ **Características**

✓ Calibre

Una de las principales características de la cinta de riego por goteo es el calibre, también llamado cédula, y se reconoce como el grosor de su pared, es medido en milésimas de pulgada y comúnmente se hace referencia a él como “cintilla de riego calibre 5 mil” o “cintilla de goteo calibre 6 mil”, según sea el calibre.

El calibre de la cinta de Riego afecta directamente en el tipo de uso y tiempo de vida, los calibres delgados por lo general se aplican sobre el terreno y uso de un solo ciclo. En los calibres más gruesos normalmente se aplican desde los 15 cm hasta los 30 cm con el fin de utilizarse hasta por 7 ciclos.

✓ Espaciamiento

El espaciamiento entre emisores (goteros) se define directamente por el tipo de cultivo y la distancia de plantación. Las distancias rondan desde 10, 15, 20 y 30 cm.

✓ Diámetro

La presión aplicada para el caudal de riego dependerá de su diámetro, el cual puede ser $\frac{5}{8}$ ó $\frac{7}{8}$, éste representa el diámetro interno de la cintilla de riego, siendo $\frac{5}{8}$ igual a 0.625” o 16 mm y el $\frac{7}{8}$ es 0.875” o 20 mm. Ten en cuenta que a mayor diámetro tendremos mayor longitud de línea regante.

Así que recuerda, una vez que determines los parámetros que tu cultivo requiere podrás identificar las especificaciones como el calibre, separación de emisores y diámetro que necesitas en tu cintilla de riego para un desempeño óptimo en tu cultivo. Si requieres mayor asesoría con respecto a tu proyecto de riego por goteo

➤ **Ventajas**

- ✓ Hay un mejor aprovechamiento del agua por parte de la planta, ya que ésta se deposita donde se necesita.
- ✓ Hay poco crecimiento de malezas, pues el agua va al pie de la planta.
- ✓ Se disminuye el ataque de plagas y enfermedades causadas por exceso de humedad.
- ✓ Disminuye la mano de obra por control de malezas y por manejo de tuberías.

➤ **Desventajas**

- ✓ Si no se usa agua limpia los goteros pueden obstruirse con facilidad.
- ✓ Las cintas ya traen las perforaciones por lo que las distancias de siembras dependen de ellas.
- ✓ El costo de establecimiento del sistema puede resultar alto (inversión inicial), más aún si se trata de áreas grandes.
- ✓ Se necesita de cierto nivel de conocimientos para el diseño e instalación del sistema Limita algunas labores culturales como el aporque para no correr el riesgo de dañar la cinta.

5.4. Evapotranspiración (ETO)

Dos factores importantes poder comprender como se da este término de evapotranspiración son la evaporación y la transpiración de la planta. La evaporación es un fenómeno físico que pasa que pasa en el agua a líquido de vapor se produce desde:

Figura 12. Esquema de Eto.



Fuente: (FAO, 2006).

La superficie del suelo y vegetación inmediata después de la precipitación (Figura 12).

Desde el suelo, el agua infiltrada que se evapora de la parte más superficial del suelo, puede tratarse como aguas recién filtradas, o de áreas de descargas, de agua que se acerca a la superficie del suelo después de un largo recorrido en el subsuelo.

5.4.1. Métodos para determinar la evapotranspiración

Existen numerosos métodos para determinar la evapotranspiración con una aproximación suficiente para cualquier estudio hidrogeológico, normalmente estas fórmulas calculan mes a mes para datos medios para una serie en años. Después mensual con la evapotranspiración y las precipitaciones mensuales se hace un balance mes a mes del agua en el suelo.

Tabla 3. Metodos para la determinación de la Evapotranspiración potencial (ET_o).

Autor	Medidas Necesarias	Otros datos
Jensen-Heise	Temperatura (media y mensual), altitud y radiación Solar.	De la latitud por una tabla se obtiene el número teórico de horas sol.
Hagreaves	Temperatura. Radiación solar.	Tabla de número teórico de sol, la radiación solar se puede estimar.
Blanney-Criddle	Temperatura.	La radiación solar se puede estimar con la temperatura máximas y mínimas diarias.
Turc	Temperatura. Horas reales del día.	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente.
Penman	Temperatura, horas reales del día, velocidad del viento y humedad relativa.	Por tablas se obtienen parámetros necesarios.

Fuente: (Úbeda, 2018).

5.4.2. Datos climáticos

A su vez es de suma importancia los datos climatológicos que influyen en este fenómeno los cuales son:

- ✓ Temperatura.
- ✓ Humedad.
- ✓ Presión atmosférica y la latitud en relación con ella, a menor presión (y/o mayor altitud) más evaporación.
- ✓ Viento, entre mayor es la presencia del viento, más evaporación.

5.4.3. Coeficiente de cultivo

El uso eficiente del agua en la agricultura es fundamental, especialmente en las regiones semiáridas donde la escasez de agua es intensa. El objetivo de este estudio es estimar los requerimientos de agua y coeficientes de cultivo en sus diferentes etapas fenológicas.

Según (Célia S. dos Santos, 2017) los coeficientes de cultivo (K_c) varían entre 0,40 a 1,15 en las diferentes etapas fenológicas.

5.5. Lamina de riego

Es la cantidad en volumen de agua en una determinada superficie de terreno, aplica al riego agrícola, es decir la cantidad de agua que se aplica al cultivo en un determinado intervalo de tiempo (Garcia & Briones).

Figura 13. Esquema de Lámina de Riego.



Fuente: (Garcia & Briones).

5.5.1. Generalidades

Como consecuencia del consumo de agua por el cultivo, se genera una disminución constante de la humedad en la zona de mayor concentración radical. Se hace obligatoria la aplicación de riego como medio para reponer la consumida por la planta en sus diferentes procesos y así llevar el suelo a su capacidad de campo máxima (Soubannier, 1985).

El técnico debe preocuparse por conocer tanto la cantidad de agua que el cultivo consume diariamente como la que el suelo tiene capacidad de retener a disposición a la planta. En esta forma se le hará fácil calcular la dosis de agua y las fechas de aplicación, teniendo en cuenta que la planta durante su desarrollo, está supeditada a una serie de variaciones que se presentan en cuanto a la humedad del suelo (Soubannier, 1985).

5.5.2. Procedimiento para la determinación de la lámina de riego

Para determinar la lámina de riego para aplicar a cualquier cultivo agrícola, se debe realizar el siguiente procedimiento en campo:

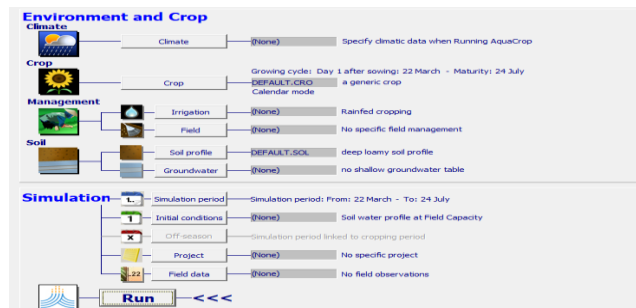
- ✓ Realizar muestreo de suelo en la zona de estudio, para hacer análisis de propiedades hidrofísicas de las muestras en laboratorio.
- ✓ Si el estudio en curso ya cuenta con un sistema de riego instalado, se tiene que medir caudales y presión del sistema para poder determinar la necesidad hídrica del cultivo.
- ✓ Si no existe un sistema de riego instalado (como es el caso del presente estudio), es necesario conocer los requerimientos físico-químicos del cultivo para realizar los diseños agronómico, geométrico e hidráulico (con el diseño agronómico se determina la lámina de riego óptima).
- ✓ Conocer los datos climatológicos históricos de la zona de estudio, con esta información se puede calcular la evapotranspiración la cual juega un papel de vital importancia en la determinación de una lámina de riego.
- ✓ Evaluación en software AquaCrop (o cualquier software del que la persona (as) encargadas de del estudio puedan auxiliarse) para poder analizar la simulación del sistema, tiempo de riego y calendario de riego.

5.5.3. Usos del software AquaCrop

AquaCrop es un software de simulación del comportamiento del agua por medio de los sistemas de riego aplicado interacciones entre cultivo, planta y el suelo (Figura 14). Desde la zona radicular, la planta extrae agua y nutrientes, se toma en cuenta el manejo del campo (descripción de perfil de suelo) y el manejo del riego dado que afectan la interacción. El sistema descrito está vinculado a la atmósfera

a través del límite superior que determina la demanda evaporativa (evapotranspiración) y aporta CO₂ y energía para el crecimiento del cultivo. El agua drena desde el sistema hacia el subsuelo y la capa freática a

Figura 14. Simulación en Software AquaCrop.



Fuente: Manual AquaCrop, 2017.

través del límite inferior. Si la capa freática es somera, el agua puede desplazarse hacia arriba en el sistema mediante el ascenso capilar (FAO, 2017).

5.5.4. Aplicaciones de AquaCrop

AquaCrop puede utilizarse como una herramienta de planificación o para ayudar en las decisiones sobre manejo tanto para agricultura de regadío como de secano.

AquaCrop es en particular útil para:

- ✓ Entender la respuesta del cultivo a los cambios ambientales (herramienta educativa)
- ✓ Comparar los rendimientos alcanzables y reales en un campo, finca, parcelas y en aplicación del aporte del recurso hídrico a los cultivos.
- ✓ Identificar las restricciones que limitan la producción de cultivos y la productividad hídrica (herramienta de comparación).
- ✓ Diseñar estrategias en condiciones de déficit hídrico con el objeto de maximizar la productividad del agua a través de esta herramienta.
- ✓ Prácticas de cultivo y manejo: por ejemplo, ajustar la fecha de siembra, selección de la variedad, manejo de la fertilización, uso de acolchados del suelo, cosecha de agua de lluvia.
- ✓ Estudiar el efecto del cambio climático sobre la producción de alimentos, al ejecutar AquaCrop con condiciones climáticas tanto históricas como futuras.

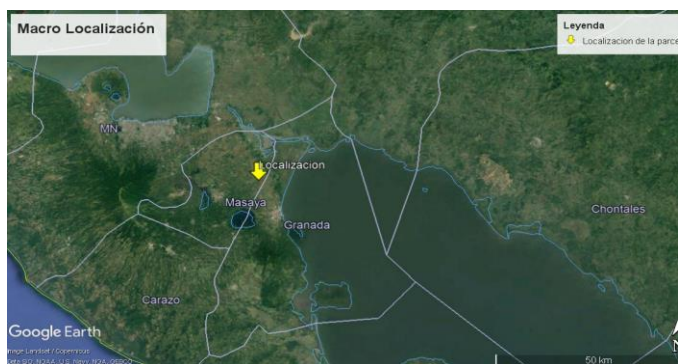
VI. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología empleada en este estudio consistió en la solicitud de datos meteorológicos, investigación documental de los requerimientos hídricos del cultivo, en conjunto con el trabajo en campo (investigación de las condiciones hidrofísicas del área destinada al riego), procesamiento de datos en laboratorio de edafología, simulación de sistema de riego en software AquaCrop, establecimiento del cultivo a diferentes densidades de siembra considerando los métodos de riego, instalación de los sistemas de riego, ahoyado, preparación de la semilla para su posterior siembra, aplicación de productos fitosanitarios, manejo agronómico, definición de las variables que permitieron realizar la evaluación de los sistemas de riego y densidades de siembra que se utilizaron para la producción de plátano, selección de plantas al azar para estudiar, medición de variables de crecimiento y producción, procesamiento y análisis de resultados.

6.1. Localización del área en estudio

6.1.1. Macro localización

Figura 15. Macro localización.



Fuente: Google Earth, 2019.

El estudio se realizó en la finca agrícola experimental de la universidad nacional de ingeniería (FAE-UNI) ubicada en el departamento de Masaya, el cual limita al norte con el río Tipitapa, al sur con el departamento de Carazo, al este con el departamento de

granada y al oeste por el departamento de Managua. Su forma territorial es de un trapecio, con un área de 593 km^2

6.1.2. Micro localización

La finca está ubicada en la comunidad santa clara, departamento de Masaya, tiene una extensión de 1.12 km^2 . Se enmarca entre las coordenadas geográficas

86°08' y 86°10', longitud oeste 13°27' y latitud norte 13°29' a una altura entre 40 y 60 msn.

Figura 16. Micro localización.



Fuente: Google Earth, 2019.

Esta limita al norte con la comarca “los Veinticuatro”, al sur con la comarca “La Bolsa”, al este con la comarca “San Guillermo” y al oeste con la comarca “Las Cortezas”.

6.2. Determinación de la lámina de riego óptima del cultivo de plátano considerando condiciones edafoclimáticas.

6.2.1. Estudio de suelo

El estudio, descripción, recolección de muestras de suelo en campo es el primer paso en la determinación de una lámina de riego puesto que, una vez conociendo propiedades hidrofísicas de suelo de la zona de estudio se pueden tener un alto rango de aplicar la cantidad de agua necesaria y aprovechable para el cultivo, no causar un estrés hídrico al cultivo, suministrar por medio el sistema de riego la lámina de agua exacta y de esta manera optimizar el recurso en la finca.

➤ Muestreo de suelo

En la recolección de muestras de suelo se realizaron los siguientes procedimientos en campo.

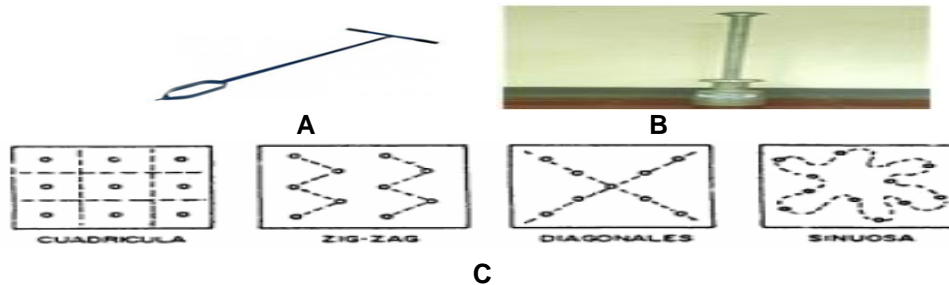
- **Muestra de suelo alteradas**

Para la recolección de las muestras alteradas se utilizó el método del Zig-Zag y la recolección de muestras en campo se realizó con un barreno (Figura 17).

- **Muestra de suelo inalteradas**

Para la recolección de las muestras inalteradas el sondeo se realizó por el método de Zig-Zag y la recolección de muestras en campo se realizó con el muestreador de impulsión para densidad aparente (Figura 17).

Figura 17. A) Barreno, B) Extractor de muestras inalteradas, C) métodos para la recolección de muestras alteradas.



Fuente: Propio.

6.2.2. Georreferenciación de barrenadas alteradas e inalteradas haciendo uso de un GPS.

Se utilizó un GPS 60 marca Garmin (Figura 18), para hacer el levantamiento de la parcela donde se estableció el cultivo, georreferenciar la fuente de agua (pozo) y los puntos en donde se realizaron las barrenadas, con esto se generaron mapas con la ayuda de la herramienta Google Earth, 2019 y posteriormente se realizó el diseño geométrico de los sistemas de riego instalados en la parcela.

Figura 18. GPS para georreferenciación de barrenadas.



Fuente: Propio.

6.2.3. Procesamiento de muestras en laboratorio.

Una vez que se realizó la recolección de las muestras de suelo alteradas e inalteradas en la finca Agrícola Experimental, se procedió a realizar los análisis de las muestras en laboratorio. Por diferentes métodos se determinó el resultado de las propiedades hidrofísicas del suelo tales como: Cc, PMP, Textura, pH, Dr, Da, %humedad.

Para la realización de los análisis en laboratorio se utilizaron las guías prácticas del laboratorio de edafología, donde se nos explica el procedimiento a seguir para realizar dichos análisis.

6.2.4. Recolección de datos meteorológicos.

Se recolectaron los siguientes datos meteorológicos en las oficinas del Instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER) (tabla 4).

Tabla 4. Datos proporcionados por el Instituto Nicaragüense de estudios territoriales (INETER).

Datos meteorológicos a utilizar.	
Datos mensuales	Datos diarios
Temperatura máxima	
Temperatura media	
Temperatura mínima	
% de humedad máxima	Precipitación (mm/día)
% de humedad media	
% de humedad mínima	
Velocidad del viento medio	
Horas de luz	

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.5. Diseño agronómico, diseño geométrico y diseño hidráulico de los sistemas de riego instalados.

➤ Diseño agronómico

El diseño agronómico es la antesala para realizar el diseño geométrico de un área de riego. En base a los resultados obtenidos mediante los cálculos se procede a plasmarlo en el plano Basándose en la producción vegetal permitirá conocer el caudal de agua necesario para cubrir las necesidades hídricas del cultivo.

- **Determinación de las necesidades hídricas:**

La planta solo utiliza una pequeña parte del agua disponible en sus procesos metabólicos, el resto se pierde por la transpiración del propio vegetal y por

evaporación del suelo, fenómeno conocido como evapotranspiración del cultivo (ETc). La Cantidad de agua a aportar debe ser igual a la ETc para así compensar dichas pérdidas.

Para el cultivo de riego debemos asegurarnos que de nuestro sistema podrá satisfacer las necesidades del cultivo en las condiciones más desfavorables.

❖ **Formulas a utilizar**

✓ Caudal requerido

$$QR = \frac{Area \times Df \times 10}{Jornada}$$

Donde:

QR= Caudal requerido (M^3/Hr)

Df= Déficit del cultivo (mm/hrs)

Factor = 10

Jornada = Horas

✓ Intensidad de aplicación

$$Ia = \frac{Qi(lph)}{Ei \times Es} = \frac{mm}{hr}$$

Donde:

Ia= Intensidad de aplicación (mm/hrs)

Qi = Caudal del emisor (lph)

Ei = Espaciamiento entre emisor (metros)

Es = Espaciamiento entre surco (metros)

✓ Caudal por hectárea

$$QHA = Ia \times 10$$

Donde:

QHA = Caudal por hectárea (M^3/hrs)

Ia= Intensidad de aplicación (mm/hrs)

Factor = 10

- ✓ Caudal total

$$QT = Area \times QHA$$

Donde:

QT = Caudal total (M^3/hrs)

QHA = Caudal por hectárea (M^3/hrs)

Área = Hectáreas

- ✓ Turnos de riego

$$T = \frac{QT}{QR}$$

Donde:

T = Turnos de riego

QT = Caudal total (M^3/hrs)

QR = Caudal requerido (M^3/hrs)

- ✓ Área por turnos de riego

$$AT = \frac{\text{Área}}{T}$$

Donde:

AT = Área por turnos de riego (HA)

T = Turnos de riego

Área = Hectáreas

- ✓ Tiempo de puesta

$$TP = \frac{DF}{Ia}$$

Donde:

TP = Tiempo de puesta (horas)

DF = déficit del cultivo (mm/día)

Ia = Intensidad de aplicación (mm/hrs)

- ✓ Jornada de riego

$$JR = TR \times TP$$

Donde:

JR = Jornada de riego (horas)

TP = Tiempo de puesta (horas)

TR = Turnos de riego

- ✓ Lamina de aplicación

$$La = Df \times FR$$

Donde:

La = Lamina de aplicación (mm)

Df = Déficit del cultivo (mm/hrs)

FR = Frecuencia de riego (días)

➤ **Diseño geométrico**

El diseño geométrico fue fundamental para la instalación de los sistemas de riego en la finca agrícola experimental, se realizaron los siguientes pasos para diseñar el área de trabajo:

- ✓ Se realizó el levantamiento en campo de la parcela y la fuente de agua (pozo), haciendo uso de un GPS 60 marca Garmin (Figura 18).
- ✓ Se montaron los puntos levantados con el GPS en el programa Google Earth y se guardó como un formato KMZ.
- ✓ El archivo KMZ que se obtuvo se abrió en el programa GLOBAL MAPPER para pasarlo a formato DWG y de esta manera obtuvimos el polígono georreferenciado en AutoCAD.
- ✓ confirmar la dirección de siembra si esta será Norte - Sur o Este -Oeste para tirar la dirección en donde serán ubicados los laterales de riego.
- ✓ En la dirección de siembra que se confirmó en el polígono del área, se midió la parte más larga esta información es de suma importancia para determinar el largo de nuestro lateral de riego.

- ✓ Se realizó el resto del diseño geométrico considerando el diseño agronómico realizado anteriormente.

➤ **Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico contempla el dimensionamiento de toda la red de tubería, se calcularon las pérdidas de carga de las diferentes combinaciones de diámetros y otras variables hidráulicas (presión, pérdidas de carga, caudal, etc.) de la red de distribución; se disminuyeron las pérdidas de agua y se maximizaron las eficiencias de conducción, distribución y aplicación en todo el sistema de riego, esto en función de las necesidades hídricas del cultivo y de los demás parámetros del diseño agronómico.

- **Formulas a utiliza**

- ❖ **Cálculo del diámetro de tubería de conducción con Hazen Williams**

Tabla 5. Cálculo del diámetro de tuberías (para caudales máximos).

Diámetro de tubería y caudal máximo permisible			
Diámetro nominal (Pulgadas)	Diámetro interno (mm)	Caudal máximo (mc)	Caudal Máximo (gpm)
1/2	18.82	2.50	11
3/4	24.62	4.28	18.83
1	30.36	6.51	28.64
1 1/2	45.22	11.72	51.57
2	56.63	22.66	99.70
2 1/2	68.56	33.21	146.12
3	84.58	50.56	222.46
4	108.72	83.55	367.62
6	160.08	181.13	796.97
8	202.22	307.05	1351.02

Fuente: (Bustillo, 2020).

- ✓ **Cálculo de pérdidas por fricción Hazen Williams**

$$hf = \left(\frac{10.69}{C^{1.852}} \right) \times \left(\frac{L}{D^{4.87}} \right) \times Q^{1.852}$$

Donde:

Hf= Perdida de carga (m)

L= Longitud de la tubería (m)

D= Diámetro interno (m)

Q= caudal (m^3/s)

✓ **Cálculo de la velocidad en función del caudal**

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

Donde:

Q= caudal (m^3/s)

V= velocidad promedio (m/s)

S= Área de la sección transversal (m^2)

✓ **Cálculo del diámetro de tubería secundaria con Hazen Williams**

Se calcula haciendo uso de la tabla 6

✓ **Cálculo de pérdidas por fricción Hazen Williams**

$$hf = \left(\frac{10.69}{C^{1.852}} \right) \times \left(\frac{L}{D^{4.87}} \right) \times Q^{1.852}$$

Donde:

Hf= Perdida de carga (m)

L= Longitud de la tubería (m)

D= Diámetro interno (m)

Q= caudal (m^3/s)

✓ **Perdidas corregidas con factor de Christiansen**

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

Donde:

F= coeficiente de Christiansen

n= Número de salidas

β = coeficiente que depende de la distancia de la primera salida con relación al inicio de la tubería

✓ **Aplicar factor de salida de Christiansen**

$$N^0SL = L.T.S/Esurco$$

Donde:

N^0SL = Numero de salidas laterales

L.T. S= Longitud de la tubería secundaria

Esurco = espacio entre surco

✓ **Perdidas por fricción corregidas por Christiansen**

$$hfc = hf \times factor$$

Donde:

hfc = Perdidas por fricción corregidas por Christiansen

Hf = Perdida de carga (m)

F= factor de Christiansen

✓ **Cálculo de la velocidad de tubería secundaria en función del caudal**

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

Donde:

Q= caudal (m^3/s)

V= velocidad promedio (m/s)

S= Área de la sección transversal (m^2)

✓ **Cálculo del lateral de riego con Hazen Williams**

$$Q_{Lateral} = \frac{\text{numero de goteros} \times \text{caudal del emisor}}{1000 \times 3600}$$

✓ **Perdidas por fricción corregidas por Cristiensen**

$$hfc = hf \times \text{factor}$$

Donde:

hfc = Perdidas por fricción corregidas por Cristiensen

Hf = Perdida de carga (m)

F = factor de Cristiensen

✓ **Cálculo de la velocidad del lateral en función del caudal**

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

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

V = velocidad promedio (m/s)

S = Área de la sección transversal (m^2)

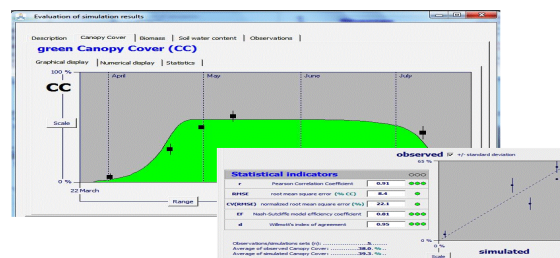
6.2.6. Evaluación de los sistemas de riego en software AquaCrop.

➤ **Cobertura del dosel verde (CC) –Paso 1**

Revisar si los parámetros del cultivo están adecuadamente ajustados al medio ambiente y a la variedad:

Una primera revisión debería consistir en verificar si los parámetros no conservativos del cultivo fueron ajustados apropiadamente a la

Figura 19. Parámetros del Cultivo.



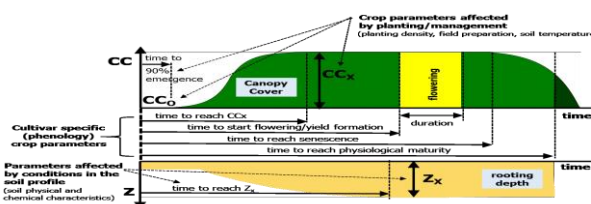
Fuente: (FAO, 2017).

variedad seleccionada, el modo de plantación, manejo de campo o condiciones en el perfil del suelo como se muestra en la (Figura 19).

✓ **Comparar CC observada con simulada:**

Los parámetros conservativos y ajustados no conservativos del archivo del cultivo describen el desarrollo potencial del dosel (CC) en ausencia de todo estrés. Cuando la humedad del suelo, la salinidad del suelo y/o el estrés por

Figura 20. Evaluación de Simulación de Resultados.



Fuente: (FAO, 2017).

fertilidad del suelo afectan el desarrollo del cultivo, la CC simulada (CC_{sim}) será distinta de su valor potencial. Comparar por tanto CC_{sim} con los datos recogidos en el campo (CC_{obs}). Para el estudio de la evaluación de la CC, deben hacerse varias observaciones (distribuidas en forma aleatoria en el campo) varias veces durante el ciclo de crecimiento. CC_{obs} puede estimarse a ojo en el campo, al evaluar las secciones sombreadas en una regla graduada colocada en la superficie del suelo cerca del mediodía, o derivándola de fotografías del dosel tomadas desde arriba con una cámara digital.

➤ **Transpiración del cultivo (Tr) – Paso 2**

La transpiración del cultivo (Tr) se calcula al multiplicar la evapotranspiración de referencia (ET_o) con el coeficiente de transpiración del cultivo y tomar en cuenta el efecto del estrés por frío e hídrico con la ayuda de coeficientes de estrés. El coeficiente de transpiración del cultivo es proporcional a la cobertura del dosel verde. El factor proporcional y los umbrales y formas de las funciones de estrés son parámetros conservativos del cultivo y no deben ajustarse.

• **Verificar la evapotranspiración de referencia (ET_o):**

AquaCrop se ejecuta con ET_o estimado con el método de FAO Penman-Monteith. Para verificar si ET_o está bien calculada, los valores (diarios) de ET_o utilizados para simulaciones pueden compararse con los valores promedio mensuales

especificados en el programa New_LocClim para el lugar particular. Los dos conjuntos deberían tener el mismo orden de magnitud.

- **Verificar el contenido inicial de humedad del suelo (al inicio del período de simulación):**

Las simulaciones del balance hídrico del suelo son sensibles a las condiciones iniciales. Si el contenido de humedad del suelo al inicio de las simulaciones no está bien definido, el contenido estimado de humedad del suelo en los siguientes días también podría encontrarse fuera de rango. Dado que el contenido de humedad del suelo simulado en la zona radicular afecta de manera significativa el desarrollo del cultivo (CC), la transpiración (Tr), la producción de biomasa (B) y el rendimiento (Y) el contenido inicial de humedad del suelo debe estar bien estimado. (Condiciones iniciales al inicio del período de simulación) proporciona guías para un estimado adecuado del contenido inicial de humedad del suelo.

- **Verificar el balance hídrico del suelo:**

El contenido de humedad del suelo en la zona radicular (W_r) afecta el desarrollo del dosel y la transpiración del cultivo. Al tomar en cuenta los flujos de entrada y de salida se simula la variación de la W_r durante el período de crecimiento. Si la transpiración y/o la cobertura de dosel no están bien simuladas, verificar:

- ✓ **El tamaño del depósito de la zona radicular**, el cual lo determinan el perfil del suelo y las características del cultivo. El tipo de suelo y las variaciones de las características físicas con la profundidad del suelo están especificados en el archivo del suelo. El desarrollo y la profundidad máxima de la zona radicular están especificados en el archivo del cultivo.
- ✓ **La precipitación diaria**. Dado que la variabilidad temporal y espacial de la precipitación es bien alta, los datos deben haberse recogido en el sitio o cerca de él, y preferiblemente a diario.
- ✓ **Aplicación de la lámina de riego y momento de las aplicaciones**. La lámina de riego se refiere a la cantidad de riego neto. No debe haberse

agregado agua adicional aplicada al campo para compensar las pérdidas de transmisión o la distribución desigual del agua de riego al campo.

- ✓ **La escorrentía superficial**, que la determinan las características del perfil del suelo y el manejo de campo. La Curva Número (CN), y la conductividad hidráulica del extracto de suelo saturado están especificadas en el archivo de suelo. Ajustar, si es necesario, CN tomando en cuenta la pendiente, el uso de la tierra y la cobertura. Las prácticas en la superficie del campo que afectan la escorrentía están especificadas en el archivo del manejo.
- ✓ **El ascenso capilar** que depende de manera significativa de la profundidad de la capa freática, la cual puede variar a través del período de simulación y está especificada en el archivo de la capa freática. Si es necesario, calibrar 'ascenso capilar' en el menú **Soil profile characteristics** (Características del perfil del suelo).
- **Comparar el contenido de humedad del suelo observado con el simulado retenido en la zona radicular (W_r):**

Al medir (o recoger muestras representativas del suelo) a varias profundidades, puede determinarse el contenido de humedad del suelo en la zona radicular. La calidad de la simulación puede evaluarse al comparar $W_{r\text{sim}}$ con el contenido de humedad del suelo medido en días particulares a lo largo del ciclo de crecimiento. Esto corresponde con una evaluación de la evapotranspiración del cultivo, dado que es el único flujo de agua que no podía verificarse directamente.

➤ **Producción de biomasa – Paso 3**

La producción de biomasa, se obtiene al multiplicar la suma acumulativa de (Tr/ET_o), por la productividad del agua para biomasa normalizada (WP^*).

- **Comparar biomasa aérea observada con la simulada:**

Al ejecutar una simulación, los datos de campo observados y los resultados de la simulación se grafican juntos. Si las evaluaciones en los pasos anteriores indican

una simulación correcta de CC y Tr, las diferencias detectadas entre la biomasa simulada y la biomasa observada en el campo podrían ser resultado de:

- ✓ **Deficiente muestreo de la biomasa:** recoger datos de campo de la biomasa consiste en un muestreo destructivo en una serie de áreas pequeñas seleccionadas al azar en el campo, varias veces durante el ciclo de crecimiento. Las áreas de muestreo deben ser suficientemente grandes (al menos 1 m²) y representativas de las condiciones en el campo. Para obtener biomasa aérea seca, las muestras deben permanecer en un horno bien ventilado durante 48 horas a 65°C. Toda biomasa perdida en el campo por el viento o removida por animales debe estimarse.
- ✓ **ocurrencia de eventos no simulados por AquaCrop:** tales como plagas y enfermedades, y daño por tormentas de granizo.

➤ **Rendimiento del cultivo (Y) – Paso 4**

El rendimiento del cultivo (Y) se obtiene al multiplicar la biomasa aérea total, producida en el momento de la maduración del cultivo, por un Índice de cosecha. Si durante el ciclo de crecimiento se desarrollan estreses, el HI ha sido ajustado para los estreses al momento de la ejecución (multiplicador $\neq 1$), lo que hace que el HI difiera del índice de cosecha de referencia. Los parámetros conservativos del cultivo y la simulación correcta del balance hídrico del suelo deben garantizar un ajuste correcto para el HI.

- **Verificar el índice de cosecha de referencia (Hlo):**

Si después de todas las verificaciones anteriores el rendimiento final observado todavía sigue siendo distinto al rendimiento simulado, la falta de precisión podría deberse al valor seleccionado para el índice de cosecha de referencia (Hlo). Esto podría ser el caso cuando el cultivo simulado es una clase de variedad distinta al cultivo especificado en el archivo del cultivo. Debido a la mejora genética vegetal y la biotecnología, es probable que el Hlo aumente en el futuro. Por otro lado, es probable que las variedades locales análisis e interpretación de resultados.

6.3. Establecimiento del cultivo de plátano a diferentes densidades de siembra considerando los métodos de riego.

6.3.1. Establecimiento.

➤ Selección del terreno.

Para la selección del terreno en la finca agrícola experimental, se hizo uso del estudio de suelo realizado en el año 2006, con este se determinó en que parte de la finca se encontraban suelos con texturas Franco y franco arcilloso-limoso, posteriormente se realizó un muestreo de suelo de la parcela seleccionada y se llevó a cabo su estudio en laboratorio, con esto se verificó que la textura de suelo presente en el lugar era la deseada.

Se realizó un reconocimiento del lugar y se encontró instalada una parte del sistema de riego que abasteció de agua al cultivo (riego por mini aspersion y tubería de conducción), posteriormente se realizó el diseño y la instalación de los sistemas de riego faltantes y se verificó que el acceso a la parcela donde se estableció el cultivo estuviese en perfectas condiciones.

➤ Preparación del terreno.

Para la preparación del terreno se consideraron los siguientes aspectos

- **Subsoleo**

Una vez seleccionado el terreno se realizó la labor de subsoleo, para romper las capas compactas del suelo, cabe destacar que esta actividad se realizó en dependencia de las condiciones físicas del suelo y el sistema de riego a implementar.

- **Arado**

Se realizaron uno o dos pases de arado de disco, debido a que el subsoleo deja terrones grandes y se requirió de un suelo más suelto para realizar las labores de siembra.

- **Pase de tiburón**

Se realizó el pase de tiburón para establecer los surcos de siembra en cada método de riego, considerando el diseño geométrico del área en estudio.

- **Establecimiento de la plantación.**

Se realizó el diseño de marco de siembra posterior a la siembra.

- **Marcos de siembra.**

Se sembraron 2840 plantas por hectárea haciendo uso del siguiente arreglo, para cada uno de los métodos de riego.

- a) $1.3 \times 1.6 \times 3.20$, doble surco, para un total de 430 plantas con una longitud de surcos de 70 mts.
- b) 2×2 , surcos lineales, para un total de 280 plantas con una longitud de surcos de 70 mts.

Las 2 densidades de siembra se aplicaron en cada uno de los sistemas de riego.

6.3.2. Instalación de sistemas de riego.

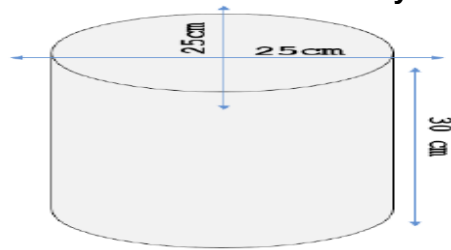
Para la instalación de los sistemas de riego por micro aspersión, goteo con botón y cinta se llevaron a la parcela a estudiantes de 5to año de la carrera de ingeniería agrícola los cuales realizaron sus prácticas de la asignatura diseño de sistemas de riego, estos se encargaron de instalar los sistemas de riego siguiendo las recomendaciones del docente de la práctica de campo. Dicha actividad se realizó siguiendo el diseño de riego antes realizado.

6.3.3. Ahoyado.

Las dimensiones del hoyo de siembra fueron de $25 \times 25 \times 30$ cm (figura 21), se tomó en cuenta las recomendaciones de la Guía Técnica de plátano INTA, la cual establece estas dimensiones cuando se siembran plantas in vitro. (GUIA TECNICA 1 DE PLATANO INTA , 2019)

Para realizar la labor de ahoyado se contrataron 2 hombres y se solicitó el apoyo de estudiantes de 4to año de la carrera de ingeniería agrícola los cuales realizaron una práctica de campo y entregaron un informe técnico de dicha práctica.

Figura 21. Dimensiones del ahoyado.



Fuente: (GUIA TECNICA 1 DE PLATANO INTA , 2019).

6.3.4. Preparación de la semilla de plátano.

Plántulas cultivadas in vitro fueron la semilla a utilizar en el experimento. La propagación de plantas in vitro es una biotecnológica que se realiza en un ambiente controlado, a partir de yemas jóvenes y sanas, protegiendo el tejido vegetal de ataques de microorganismos, permitiéndole llegar al campo libre de enfermedades por lo cual no se tomaron medidas de desinfección en las plántulas.

6.3.5. Siembra.

Una vez realizadas las labores de establecimiento, instalación de sistemas de riego y ahoyado se procedió a realizar la labor de siembra, la cual se efectuó los días 07 de mayo de 2020 y 09 de mayo de 2020, para esta labor se contrataron 3 hombres.

Al momento de la siembra la desinfección del terreno fue un factor importante, se aplicó Mancozeb (anexo 1). Depositándose al fondo de cada hoyo previo al momento de la siembra, esto garantizo de que la semilla se estableciera en un suelo libre de cualquier tipo de hongo, virus o parasito que afectara su desarrollo.

6.3.6. Aplicación de Productos Fitosanitarios

Para evitar y controlar plagas y enfermedades en el estudio, se realizó la aplicación de productos fitosanitarios de acorde a las etapas de crecimiento del cultivo, las fechas de aplicación y los costos de los productos a aplicar están referidos en la tabla de insumos que se utilizó en el establecimiento de los 1.34 ha de plátano (anexo 1).

6.3.7. Manejo agronómico.

En este proceso se llevaron a cabo las labores de control mantenimiento del cultivo. Se realizó control de malezas de manera manual dentro del área del cultivo, este se realizó semanalmente hasta que la planta obtuvo una edad de 6 meses de haber sido plantada, así mismo se llevó a cabo la inspección del estado de salud de las plantas y el control de incidencia de plagas y/o enfermedades con la misma frecuencia.

Durante el desarrollo de la planta se controló el follaje y la cantidad de hijos de la misma, se eliminaron hojas rotas o parte del follaje en exceso para permitir la aireación, mantener calidad del proceso fotosintético y permitir la entrada de luz solar para evitar la proliferación de hongos, esto se realizó con una frecuencia de 2 veces al mes; la cantidad de hijos deseados para evitar la competencia entre los mismos fue de 1 por planta, haciendo necesario el proceso de deshijado una vez cada 3 semanas a partir de los 3 meses de edad de la plántula, se dejó el hijo que presento las mejores características biológicas.

En el proceso de cosecha se recolectaron los especímenes seleccionados para el muestreo del experimento, luego de los estudios y toma de datos se almacenamiento junto a toda la producción del experimento para su posterior venta. En la tabla de referida en anexo 2 se muestran estas actividades.

6.4. Determinación de riego y densidades de siembra óptima del cultivo de plátano a través de la medición de variables.

6.4.1. Medición de variables

El estudio se basó en la comparación de rendimientos entre los 4 distintos sistemas de riego y los 2 marcos de plantación que se utilizaron en el experimento, dando como ello 8 ensayos, de los cuales se tomaron variables cuantitativas de cada uno de ellos.

Para la medición de variables se levantó un muestreo sobre la población total equivalente al 9% para las variables de desarrollo, estos se distribuyeron de manera uniforme según la densidad de siembra del cultivo, tomando un total de 36

muestreos para el marco de plantación 1.3X1.6X3.2 y un total de 30 muestreos para el marco de plantación 2X2, dando un total de 66 muestreos por cada sistema de riego implementado.

Para la selección de los especímenes a los cuales se les llevo el control de seguimiento se evitó seleccionar a todos aquellos que se encontraban en los límites exteriores del marco de plantación individual, utilizando como sistema de selección la uniformidad de distribución de las plántulas, así mismo se evitó tomar datos de las 6 primeras y 3 últimas filas de cada uno de los ensayos. A cada espécimen seleccionado se le tomó datos que permitieron darle seguimiento durante toda la fase del estudio que correspondió al tipo de riego, tipo de marco de plantación, número de surco y número en la fila.

Las variables que se midieron para la comparación entre los distintos sistemas de riego fueron las variables de desarrollo de las plántulas y las variables de la producción.

➤ **Medición de variables de desarrollo**

Las variables de desarrollo son todas aquellas ligadas al crecimiento de la planta con respecto al tiempo, estas fueron tomadas a partir de los 5 meses de edad y se realizaron un total de 6 levantamientos entre el lapso de tiempo de los 5 meses desde que se sembró la plántula y el periodo de cosecha. Las variables de crecimiento a tomar en cuenta fueron diámetro del pseudotallo (Dpt), Altura del pseudotallo (Apt), numero de hojas (Nh) y días a floración (Nf).

La toma de estos datos se realizó con la ayuda de un formato de recolección de datos (tabla 6), donde se incluyeron los datos de identificación del espécimen para su posterior seguimiento.

Tabla 6. Formato de recolección de datos para la medición de variables de desarrollo.

TABLA DE LEVANTAMIENTO RIEGO POR MINI ASPERSION (DESARROLLO)										
Fecha del Levantamiento	Edad en Meses	Marco de Plantación	Surco del Levantamiento	Numero de Planta del Levantamiento	Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)	Floración	Hoja a parición	fecha de parición

Fuente: Elaboración propia.

- **Diámetro del pseudotallo**

El procedimiento para medir el diámetro fue mediante el uso de una cinta de medir flexible, esta se tomó a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo y se anotó su dato en centímetros.

- **Altura del pseudotallo**

El procedimiento para medir el diámetro fue mediante el uso de una cinta métrica, se midió la altura de la planta desde el ras del suelo hasta el final del tallo sin tomar en cuenta cualquier hoja bandera. Este dato se recolecto en centímetros.

- **Numero de hojas**

Se contaron el número de hojas completamente desarrolladas en la planta y se procedió a marcar con un espray de pintura en un área visible las 2 últimas hojas completamente desarrolladas, para evitar perder el número total de hojas nuevas en dado caso estas sean cortadas.

- **Día de floración**

Se llevó registro de la fecha aproximada de la aparición de la bellota, este dato se tomó en días, en algunos casos se registraron datos aproximados en base a experiencia en el campo, debido que la floración apareció durante alguno de los días que no se realizó toma de datos al cultivo.

- **Medición de Variables de post cosecha**

Las variables de post cosecha son todas aquellas ligadas al producto de la planta, estas fueron tomadas después de haber cosechado el racimo y son las que dieron los parámetros de rendimiento de cada uno de los ensayos, estas variables son Numero de manos (Nm), Numero de dedos (Nd), Diámetro de dedo medio (Ddm), Longitud de dedo medio (Ldm), Peso de dedo medio (Pdm) y Peso del racimo (Pr).

La toma de estos datos se realizó con la ayuda de un formato de recolección de datos (tabla 7), donde se incluyeron los datos de identificación del espécimen para su posterior seguimiento. Para la toma de datos de rendimiento solo se tomaron los datos de 15 especímenes escogidos al azar por cada ensayo del experimento.

- **Número de manos**

Se contabilizó el número de manos que tiene el racimo. La unidad de medida es adimensional.

- **Número de dedos**

Se contabilizó el número de dedos que posee el racimo. La unidad de medida es adimensional.

- **Diámetro del dedo medio**

Se midió con ayuda de una cinta flexible el diámetro del dedo central de la segunda mano del racimo, luego se promedió. La unidad de medida del dato es en milímetros.

Tabla 7. Formato de recolección de datos para la medición de variables de post cosecha.

TABLA DE LEVANTAMIENTO RIEGO POR MINI ASPERSION (POST COSECHA)

Marco de Plantación	Surco del Levantamiento	Numero de Planta del Levantamiento	Peso del Racimo (kg)	N° manos	Peso del dedo medio 2da mano (g)	Longitud del dedo medio 2da mano (cm)	Perímetro del dedo medio 2da mano (mm)	Diámetro del dedo medio 2da mano (mm)	Fecha del Levantamiento	Edad en Meses
----------------------------	-------------------------	------------------------------------	----------------------	----------	----------------------------------	---------------------------------------	--	---------------------------------------	-------------------------	---------------

Fuente: Elaboración propia.

- **Longitud del dedo medio**

Se midió con ayuda de una cinta la longitud del dedo central de la segunda mano del racimo, luego se promedió. La unidad de medida del dato es en centímetros.

- **Peso del dedo medio**

Se pesó con ayuda de una tara de precisión el peso del dedo central de la segunda mano del racimo, luego se promedió. La unidad de medida del dato es en gramos.

- **Peso del racimo**

Se pesó con ayuda de una báscula el peso total del racimo, luego se promedió. La unidad de medida del dato es en kilogramos.

6.4.2. Análisis de datos estadísticos

Para el análisis de las variables de desarrollo y las variables de producción se utilizaron softwares estadísticos para cada una de las fases de análisis.

➤ Fase 1 Recopilación y consolidado de datos estadísticos

Se procedió a utilizar el programa estadístico SPSS con el fin de generar un registro de datos que permita desde el mismo una hoja de trabajo con cada una de las variables levantadas en campo, para poder determinar el comportamiento de las mismas en su posterior análisis, así mismo se determinó la varianza de cada uno de los datos, mínimos y máximos y se generó una tabla final de resultado con los promedio de cada una de las variables para cada uno de los ensayos a través del tiempo de cada uno de los registro de datos.

Así mismo en esta fase se graficaron dichos promedios para tener una herramienta de comparación grafica simple entre cada uno de los ensayos.

➤ Fase 2 Diseño experimental Taguchi

Figura 22. Matriz de diseño taguchi.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Fuente: (Granada).

Se utilizó un diseño de experimentos ortogonales para el estudio de los factores que afectan el producto final del experimento, que en nuestro caso fueron las variables de rendimiento. El diseño Taguchi se basa en un conjunto pequeño de matrices del diseño. Estas matrices definen diseños

ortogonales, es decir, sus columnas son ortogonales. Los diseños factoriales 2^k son un ejemplo de diseños ortogonales. Taguchi utiliza los valores 1 y 2 para denotar los niveles bajo y alto, respectivamente, en lugar de la notación usual \pm , puesto que considera la posibilidad de más de dos niveles en cada factor. En la metodología de Taguchi se consideran diseños ortogonales fraccionarios, es decir, se reduce el número de filas de la matriz del diseño mediante identificación de factores principales y de factores de interacción. Esto permite una mayor viabilidad

del estudio de tratamientos. Por ejemplo, para el diseño 27 de 7 factores con dos niveles, Taguchi considera la siguiente matriz de diseño (figura 22).

En la matriz (figura 22) es referida como matriz del diseño L8. Tiene siete columnas ortogonales y ocho filas, en contraste con los $2^7 = 128$ experimentos que constituirían la matriz del diseño de un diseño factorial completo de siete factores con dos niveles. Esta matriz L8 puede ser utilizada también para el estudio de un número inferior de factores, cuando no se asignan a algunas de las columnas factores principales. Con un conjunto relativamente pequeño de diseños, Taguchi proporciona un catálogo reducido de modelos que permiten abordar un número relativamente alto de experimentos en ingeniería.

Por ejemplo, Taguchi considera los siguientes diseños ortogonales fraccionarios con dos niveles: L4, L8, L12, L16, L32 y L64. El listado de diseños con tres niveles incluye; L9, L18, L27 y L81. En general, un diseño LN está definido mediante una matriz del diseño con N filas y permite considerar hasta $N - 1$ factores. Para seleccionar un diseño ortogonal se utiliza el siguiente método. Notemos primero que un diseño LN tiene asociados $N - 1$ grados de libertad. Entonces, un diseño apropiado para el desarrollo de un estudio es el más pequeño cuyos grados de libertad están justo por encima de los grados de libertad asociados con todos los factores e interacciones.

El objetivo de este experimento fue generar datos estadísticos comparativos que nos permitieron determinar la influencia e impacto que tienen cada uno de los sistemas de riego y marcos de plantación en el rendimiento del cultivo.

El arreglo para la matriz ortogonal fue de L16 (Diseño de matriz para 16 experimento) de 4 niveles para 2 factores (Tipo de riego y marco de plantación); debido a que solo uno de estos factores tiene 4 niveles, el cual corresponde a sistema de riego, se procedió a realizar la complementación de los otros 8 experimentos en el arreglo ortogonal añadiendo como nivel complementario el valor 0 para el resto de combinaciones, para que estos no tuvieran influencia en

los resultados finales de los análisis, dicho experimento se realizó en el programa Minitab versión 19.

Para efecto de ordenamiento la matriz quedo de la siguiente forma:

Tabla 8. Matriz ortogonal Taguchi.

Matriz Ortogonal Taguchi	
TIPO DE RIEGO	MARCO DE PLANTACION
MINI	1.3x1.6x3.2
MINI	2x2
MINI	0
MINI	0
MICRO	1.3x1.6x3.2
MICRO	2x2
MICRO	0
MICRO	0
BOTON	1.3x1.6x3.2
BOTON	2x2
BOTON	0
BOTON	0
CINTA	1.3x1.6x3.2
CINTA	2x2
CINTA	0
CINTA	0

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el interés del experimento consistió en determinar el ensayo con mejor rendimiento, el análisis de las variables por este método se concentró en determinar que combinación de factores dio el valor más grande, por lo que la resolución de la matriz se basó en la expresión $-10x\text{Log}_{10}\left(\frac{\text{Sum}\left(\frac{1}{Y^2}\right)}{n}\right)$

➤ **Fase 3 Análisis de varianza ANOVA para rendimiento**

Utilizando las variables promediadas de rendimiento de los ensayos se procedió a realizar el análisis estadístico comparativo, estos datos se registraron en una hoja de notas para proceder a utilizar el programa Minitab 19 en el cual la significancia de los tratamientos y sus fuentes de variación para cada variable se realizó mediante la metodología de medias repetidas en el tiempo o longitudinales vía

modelos mixtos y se usó un modelo aditivo lineal para categorizar las medias según variables a través del test de Tukey al ($\alpha=0.05$) de confianza. Para estos análisis se tomó cada ensayo de manera individual como un tratamiento específico.

- **Medias repetidas vía modelos mixtos**

$$Y_1 = X_1\beta + Z_1b_1 + \varepsilon_1$$

Donde:

$$Y_1 = (Y_{I1}, Y_{I2}, \dots, Y_{In}), \quad i = 1, \quad N, \text{ el vector } (n_i \times 1)$$

De medias repetidas del i-esimo individuo

X_i y Z_i Son matrices conocidas de dimensión $(n_i \times 1)$ y $(n_i \times p)$ y $(n_i \times k)$ respectivamente

b_i Es un vector aleatorio de dimensión $(k \times 1)$, cuyas componentes se denominan efectos aleatorios

ε_i Es un vector $(n_i \times 1)$ que contiene los errores aleatorios (intra-sujeto)

β_i Un vector $(p \times 1)$ de parámetros

- **Modelo aditivo lineal (M.A.L), para un B.C.A.**

El modelo aditivo lineal nos ayuda a identificar:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

$i = 1, 2, 3 \dots t$ **tratamientos**

$j = 1, 2, 3 \dots r$ **repeticiones**

Y_{ij} = La j-esima observación del i-esimo tratamiento

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

T_i = Efecto del i-esimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento.

B_j = Efecto debido al j-esimo bloque.

E_{ij} = Es el error asociado a Y_{ij}

VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Análisis de resultados de Propiedades Hidrofísicas del Suelo

En la tabla 9 se muestran los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo de la finca agrícola experimental, realizados en laboratorio de Edafología.

Tabla 9. Resultados de las propiedades hidrofísicas.

Formato de análisis de resultados finca agrícola experimental (FAE-UNI)					
Propiedades	Sistema	Beaker	Resultado	Clasificación	
Da	Riego por goteo con botón	BB	0.23	Muy baja	
	Riego por mini aspersión	B1	0.24	Muy baja	
	Riego por micro aspersión	B61	0.25	Muy baja	
	Riego por goteo con cinta	B4	0.23	Muy baja	
Dr		N°6	1.85	Bajo	
	Riego por goteo con botón	BB	58.21		
	riego por mini aspersión	B1	39.18		
	Riego por micro aspersión	B61	32.99		
Humedad %	Riego por goteo con cinta	B4	60.71		
		S.NO1	Arcilla:32.48%	Franco arcillosa limosa	
			Limo: 63.12%		
			Arena: 4.4%		
Textura					
	Porosidad	Riego por goteo con botón	BB	87.63	Muy Alta
		riego por mini aspersión	B1	86.80	Muy Alta
		Riego por micro aspersión	B61	86.33	Muy Alta
Riego por goteo con cinta		B4	87.58	Muy Alta	
C.C		S-12	13.77	Bajo	
	PMP		7.48502994		
		pH		7.28	Muy ligeramente alcalino
Conductividad eléctrica			233.5		

Fuente: Elaboración Propia.

La parcela donde se realizó el estudio posee suelos con texturas franco arcillo-limosa, la cual favorece a la plantación ya que este posee las características hidrofísicas que el cultivo de plátano requiere, se posee un pH de 7.28 el cuales muy ligeramente alcalino, las plantaciones de plátano requieren de pH neutro por lo cual el pH presente en la parcela de estudio es tolerable por la plantación. De igual manera se muestran los resultados de las demás propiedades hidrofísicas de la parcela estudiada (Tabla 9).

7.2. Análisis de resultados de los diseños agronómico, geométrico e hidráulico.

7.2.1. Diseño agronómico

Tabla 10. Resultados del diseño agronómico.

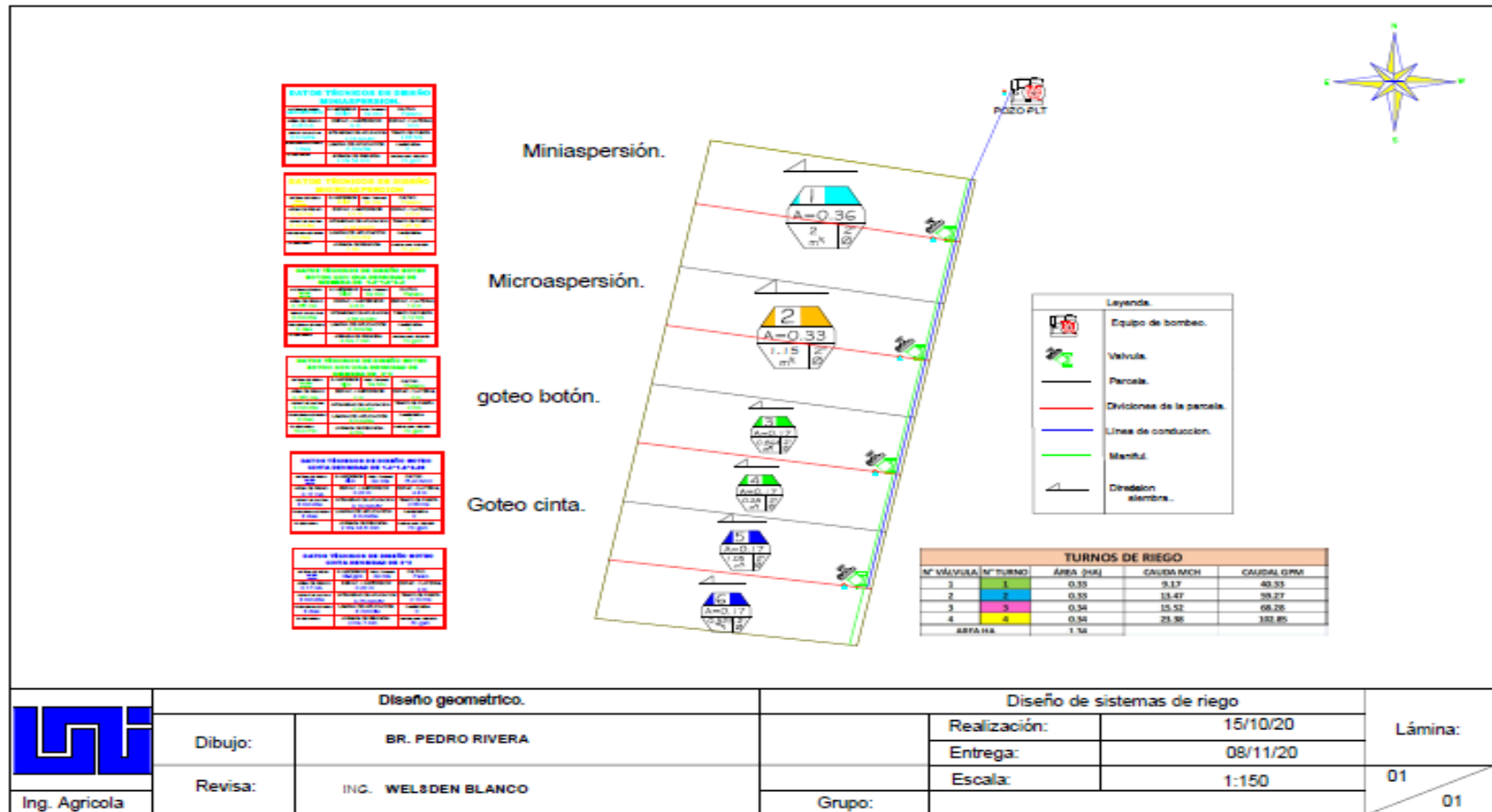
Ítems	Diseño agronómico de los sistemas de riego							
	Primer turno	Segundo turno	Tercer turno			Cuarto turno		
	Mini aspersión	Micro aspersión	Marco de 1.3 X 1.6 X 3.2	Marco de 2 x 2	Total	Marco de 1.3 X 1.6 X 3.2	Marco de 2 x 2	Total
Área (HA)	0.36	0.33	0.17	0.17	0.34	0.17	0.17	0.34
Tiempo de puesta operación (hrs)	2.57	1.75	2.79	3.58		2.29	1.91	
Jornada de riego (hrs)	2.57	1.75	2.79	3.58		2.29	1.91	
Intensidad de aplicación (mm/hr)	2.78	4.08	2.56	2		3.13	3.75	
Caudales por turno (mch)	10	13.47	4.36	3.4	7.76	5.31	6.38	11.69
Lamina de riego	7.15	7.15			7.15			7.15

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 10, se presentan los resultados del diseño agronómico de los sistemas de riego instalados en la Finca agrícola experimental, recalcando los ítems: tiempo de puesta, jornada de riego, intensidad de aplicación, caudales por turno y la lámina de riego óptima a aplicar en cada turno de riego que es de 7.15 mm para el cultivo de plátano.

7.2.2. Diseño geométrico

Figura 23. Diseño geométrico del área en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

7.2.3. Diseño hidráulico

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos en el diseño hidráulico de los sistemas de riego por minia aspersión, micro aspersión, goteo por botón y goteo con cinta.

Tabla 11. Resultados del cálculo hidráulico en tubería de conducción.

CALCULO HIDRAULICO EN TUBERIA DE CONDUCCION														
Tramo	Longitud (mts)	Caudal (mch)	Diámetro Pulg.	mm	C	Perdida (mts)	Velocidad (m/s)	Área	Q	Q 1.852	C 1852	D - 4.87	Perdida Psi	Caudal máximo
	184.72	15.90	2"	56.63	150	9.46	1.75	0.002519	4.414	15.639	10718.179	2.90E-09	13.46	69.96
Total, perdida						9.46							13.46	
Hf corregida						3.43								

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11, se presentan los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico de la tubería de conducción considerando los diseños agronómico y geométrico antes desarrollados.

Tabla 12. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para mini aspersión.

CALCULO HIDRAULICO EN LATERAL PARA MINI ASPERSION													
Trazos	Longitud (mts)	Caudal (mch)	Diámetro Pulg.	mm	C	Perdida (mts)	Velocidad (m/s)	Área	Q Lts/seg	Q 1.852	C 1852	D - 4.87	Perdida Psi
	70	2	1 1/2"	22.54	150	6.50	1.35	0.000399	0.539	0.319	10718.18	2.60E-07	9.24
Sumas - perdida						6.50							

Hf corregida 2.35

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 12, se presentan los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico del lateral para mini aspersión tomando en consideración los diseños agronómico y geométrico antes desarrollados.

Tabla 13. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para micro aspersión.

CALCULO HIDRAULICO EN LATERAL PARA MICRO ASPERSION													
Tramos	Longitud (mts)	Caudal (mch)	Diámetro Pulg	mm	C	Perdida (mts)	Velocidad (m/s)	Área	Q Lts/se g	Q 1.852	C 1852	D -4.87	Perdida Psi
	70	1	0.5	12.7	150	31.01	2.19	0.0001267	0.277	0.093	10718.18	4.20E-06	44.09
Sumas - perdida						31.01							
Hf corregida						11.22							

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 13, se presentan los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico del lateral para micro aspersión tomando en cuenta los diseños agronómico y geométrico antes desarrollados.

Tabla 14. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para goteo botón considerando las densidades.

CALCULO HIDRAULICO EN LATERAL PARA GOTEO CON BOTON													
LATERAL PARA GOTEO BOTON DENSIDAD 1.3*1.6*3.2													
Tramo	Longitud (mts)	Caudal (mch)	Diámetro Pulg	mm	C	Perdida (mts)	Velocidad (m/s)	Área	Q Lts/se g	Q 1.852	C 1852	D -4.87	Perdida Psi
	70	0.8615	0.5	12.7	150	23.53	1.89	0.0001267	0.24	0.071	10718.18	4.20E-06	33.46
Sumas - perdida						23.53							

Hf corregida		8.52										
LATERAL PARA GOTEO BOTON 2*2												
Longitud (mts)	Caudal (mch)	Diámetro (Pulg mm)		C	Perdida (mts)	Velocidad (m/s)	Área	Q (Lts/seg)	Q (1.852)	C 1852	D -4.87	Perdida (Psi)
70	0.28	0.5	12.7	150	2.93	0.61	0.0001267	0.078	0.009	10718.18	4.20E-06	4.17
Sumas - perdida					2.93							
Hf corregida		1.06										

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14, se presentan los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico del lateral para goteo con botón tomando en cuenta los diseños agronómico y geométrico antes desarrollados.

Tabla 15. Resultados del cálculo hidráulico en lateral para goteo cinta considerando las densidades.

CALCULO HIDRAULICO EN LATERAL PARA GOTEO CON CINTA													
LATERAL PARA GOTEO CINTA DENSIDAD 1.3*1.6*3.2													
Tramos	Longitud (mts)	Caudal (mch)	Diámetro (Pulg mm)		C	Perdida (mts)	Velocidad (m/s)	Área	Q (Lts/seg)	Q (1.852)	C 1852	D -4.87	Perdida (Psi)
	70	1.05	0.5	12.7	150	33.94	2.3	0.0001267	0.291	0.102	10718.18	4.20E-06	48.26
Sumas - perdida					33.94								
Hf corregida		12.29											
LATERAL PARA GOTEO CINTA DENSIDAD 2*2													
Longitud (mts)	Caudal (mch)	Diámetro (Pulg mm)		C	Perdida (mts)	Velocidad (m/s)	Área	Q (Lts/seg)	Q (1.852)	C 1852	D -4.87	Perdida (Psi)	
70	0.525	0.5	12.7	150	9.4	1.15	0.0001267	0.146	0.028	10718.18	4.20E-06	13.37	

	7	0		7		8	06
Sumas - perdida			9.4				
Hf corregida			3.4				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15, se presentan los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico del lateral para goteo con cinta tomando en cuenta los diseños agronómico y geométrico antes desarrollados.

7.3. Análisis de Resultados del software AquaCrop

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos por medio de simulaciones en el software AquaCrop. Se realizaron 2 simulaciones, la primera considerando el riego totalizado y la segunda considerando el riego focalizado.

Tabla 16. Resultados de datos obtenidos del riego totalizado.

ítem	Año	lluvia (mm)	Eto (mm)	Irri (mm)	Infilt (mm)	BioMass (ton/ha)	Producción (ton/ha)
1	2005	1754	1373	497	1694	31.784	14.036
2	2006	959	1569	820	1542	31.88	14.11
3	2007	1476	1484	634	1701	31.84	14.232
4	2008	1950	1443	594	1785	31.822	14.349
5	2009	1298	1503	653	1580	32.345	14.256
6	2010	1926	1362	599	1850	32.056	14.495
7	2011	1732	1397	584	1772	32.217	14.536
8	2012	1229	1526	654	1584	32.686	14.475
9	2013	1315	1435	575	1581	32.869	14.53
Promedio		1515.4	1454.7	623.3	1676.6	32.2	14.3

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16, se presentan los datos obtenidos en la simulación del software AquaCrop, con el método de riego totalizado, considerando para ello, datos climatológicos de la zona, densidad poblacional del cultivo (2840 plantas/Ha), control de maleza en el cultivo (buen control de malezas); obteniendo como producto de la simulación en promedio biomasa de 32.2 Ton/Ha.

Tabla 17. Calendario de riego para el cultivo de plátano con riego totalizado.

evento	Día	fecha de aplicación de riego (día)	lamina de aplicación (mm)
1	1	07-may-13	90.3
2	3	09-may-13	15.5
3	9	15-may-13	16.2
4	12	18-may-13	17.3
5	15	21-may-13	16.7
6	20	26-may-13	20.2
7	100	14-ago-13	40.7
8	207	29-nov-13	51.3
9	226	18-dic-13	54.4
10	243	04-ene-14	54.3
11	259	20-ene-14	52.6
12	272	02-feb-14	52.7
13	284	14-feb-14	47.7
14	313	15-mar-14	44.8

Fuente: Elaboración propia

La simulación se realizó del año 2005 al año 2013, tomando como fecha de siembra el 07 de mayo y como fecha de cosecha 01 de abril, el cultivo requiere una lámina de riego promedio de 623.3 mm con riego totalizado, los cuales se deben aplicar en 14 eventos de riego tabla 17

Tabla 18. Resultados de datos obtenidos del riego focalizado.

ítem	Año	lluvia (mm)	Eto (mm)	Irri (mm)	Infilt (mm)	BioMass (ton/ha)	Producción (ton/ha)
1	2005	1754	1373	590	1760	33.239	14.298
2	2006	959	1569	927	1589	33.448	14.383
3	2007	1476	1484	674	1696	33.457	14.4
4	2008	1950	1443	657	1758	33.332	14.428
5	2009	1298	1503	756	1606	33.832	14.549
6	2010	1926	1362	591	1812	33.525	14.562
7	2011	1732	1397	590	1763	33.831	14.612
8	2012	1229	1526	821	1672	34.241	14.728
9	2013	1315	1435	601	1564	34.417	14.802
Promedio		1515.4	1454.7	689.7	1691.1	33.7	14.5

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18, se presentan los datos obtenidos en la simulación en el software AquaCrop con el método de riego focalizado, considerando para ello, datos climatológicos de zona, densidad poblacional del cultivo (2840 plantas/Ha), control de maleza en el cultivo (buen control de malezas); obteniendo como producto de la simulación en promedio biomasa de 33.7 Ton/Ha, un 1.5 más que el método de riego totalizado

Tabla 19. Calendario de riego para el cultivo de plátano con riego focalizado.

evento	Día	fecha de aplicación de riego (día)	lamina de aplicación (mm)
1	1	07-may-13	88
2	6	12-may-13	0.3
3	8	14-may-13	8.6
4	11	17-may-13	6.5
5	18	24-may-13	6.9
6	19	25-may-13	7.1
7	21	27-may-13	10.1
8	35	10-jun-13	9.9
9	41	16-jun-13	13.6
10	71	16-jul-13	14
11	90	04-ago-13	18.3
12	96	10-ago-13	16.5

13	101	15-ago-13	15.8
14	106	20-ago-13	17.6
15	115	29-ago-13	18.2
16	199	21-nov-13	20.9
17	205	27-nov-13	22.9
18	211	03-dic-13	22.2
19	219	11-dic-13	21.4
20	227	19-dic-13	21.1
21	235	27-dic-13	24.2
22	241	02-ene-14	21.4
23	250	11-ene-14	21.5
24	256	17-ene-14	22.9
25	262	23-ene-14	22.9
26	268	29-ene-14	23.1
27	273	03-feb-14	20.3
28	278	08-feb-14	19.9
29	284	14-feb-14	21.3
30	290	20-feb-14	19
31	312	14-mar-14	18.3

Fuente: Elaboración propia.

La simulación se realizó del año 2005 al año 2013, tomando como fecha de siembra el 07 de mayo y como fecha de cosecha 01 de abril, el cultivo requiere una lámina de riego promedio de 689.7 mm con riego focalizado, los cuales se deben aplicar en 31 eventos de riego tabla 19, en este método se aplicaron 66.4 mm más que el método de riego totalizado.

7.4. Análisis de los resultados estadísticos obtenidos de la medición de variables

7.4.1. Variables de Desarrollo

En el análisis de resultados cuantitativos del experimento se realizó un consolidado de los datos obtenidos en el campo. Los datos presentados corresponden a los promedios de cada una de las variables por cada muestreo de datos realizado a través del tiempo, esto con el fin de poder visualizar el comportamiento del crecimiento de las plantas en cada una de las combinaciones de factores del experimento. Los valores de resultado se compararán según el tipo de riego implementado para poder observar la incidencia que tiene el factor de marco de plantación en los mismos.

En la tabla 20 se muestran los valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por mini aspersión, como podemos observar el crecimiento de las plantas fue mayor en los marcos de plantación 1.3x1.6x3.2 aunque la variabilidad del diámetro final fue mínimo.

Tabla 20. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por mini aspersión.

PROMEDIO VARIABLES DE DESARROLLO							
Levantamiento	Edad en días	RIEGO POR MINI ASPERCION MARCO 1.3x1.6x3.2			RIEGO POR MINI ASPERCION MARCO 2x2		
		Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)	Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)
1	155	177.03	9.87	42.88	143.47	9.2	37.71
2	212	231.23	7.3	51.47	190.3	6.83	43.58
3	250	251.07	3.93	57.6	220.67	3.93	49.17
4	271	254.67	3.33	55.51	229.8	2.43	50.83
5	307	262.73	4.03	56.63	239.07	4.9	53.93
6	379	262.3	4.03	56.8	250.03	4.9	55.3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 21 se muestran los valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por micro aspersión, en este caso el desarrollo más rápido y mayor se registró en los marcos de plantación 2x2 y se presentó la misma condición que el diámetro de la planta no presenta una gran variabilidad.

Tabla 21. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por micro aspersión.

PROMEDIO VARIABLES DE DESARROLLO							
Levantamiento	Edad en días	RIEGO POR MICRO ASPERCION MARCO 1.3x1.6x3.2			RIEGO POR MICRO ASPERCION MARCO 2x2		
		Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)	Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)
1	155	169.78	10.94	41.49	175.1	10.8	41.83
2	212	230.97	7.14	49.72	233.07	6.8	50.4
3	250	251.44	3.92	56.17	256.97	3.77	56.9
4	271	253.31	3.31	55.61	264.4	2.63	56.77
5	307	255.92	3.56	56.42	261.03	3.13	58.3
6	379	256.44	3.56	56.42	262.7	3.13	58.4

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 se muestran los valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por botón. Las plántulas se desarrollaron más rápido y alcanzaron mayor envergadura en los marcos de plantación 1.3x1.6x3.2 y el diámetro no presentó una gran variabilidad.

Tabla 22. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por botón.

PROMEDIO VARIABLES DE DESARROLLO							
Levantamiento	Edad en días	RIEGO POR BOTON MARCO 1.3x1.6x3.2			RIEGO POR BOTON MARCO 2x2		
		Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)	Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)
1.00	155.00	172.64	9.36	39.65	149.93	9.00	37.27
2.00	212.00	225.39	6.81	48.30	211.40	7.43	47.46
3.00	250.00	241.36	3.69	52.44	231.55	4.28	53.48
4.00	271.00	246.22	2.75	54.11	239.80	2.87	54.35
5.00	307.00	247.47	3.89	55.86	245.80	3.62	55.77
6.00	379.00	255.14	3.89	56.47	247.77	3.62	55.77

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 se muestran los valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por cinta. Las plántulas se desarrollaron más rápido y alcanzaron mayor envergadura en los marcos de plantación 1.3x1.6x3.2 y el diámetro no presentó una gran variabilidad.

Tabla 23. Valores promedios de las variables de desarrollo del plátano en el sistema de riego por cinta.

PROMEDIO VARIABLES DE DESARROLLO							
Levantamiento	Edad en días	RIEGO POR CINTA MARCO 1.3x1.6x3.2			RIEGO POR CINTA MARCO 2x2		
		Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)	Altura de la Planta (cm)	Numero de Hojas Nuevas de la Planta	Diámetro del Tallo de la Planta a 1 metro (cm)
1	155	160.58	9.50	39.00	129.37	8.70	33.22
2	212	212.11	6.64	46.61	185.47	7.17	44.23

3	250	221.28	3.39	50.06	204.83	3.60	48.10
4	271	225.50	3.28	51.39	209.40	2.17	46.40
5	307	235.17	3.31	52.17	219.73	4.53	52.00
6	379	237.11	3.31	52.31	231.47	4.53	52.83

Fuente: Elaboración propia.

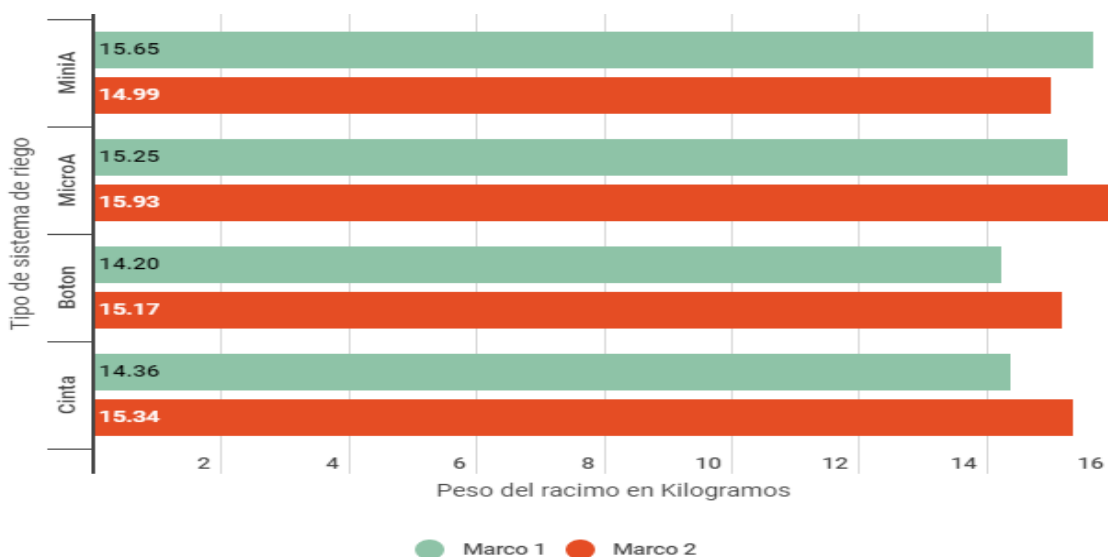
Como se puede observar en los datos anteriores podemos deducir que el factor marco de plantación tiene un impacto directo en el crecimiento de las plantas, a excepción del sistema de riego por micro aspersion, en los demás se puede apreciar que las plántulas tuvieron un mayor desarrollo en los marcos de plantación 1.3x1.6x3.2 metros. Cabe destacar que, según los datos mostrados, las plantas con mayor desarrollo promedio se encontraron en la combinación de factores Riego por mini aspersion en marco de plantación 1.3x1.6x3.2 m.

7.4.2. Variables de Rendimiento

Los datos de las variables de rendimiento fueron promediado para cada una de las combinaciones de los factores de estudio, esto con el fin de poder observar las medias comparativas para cada uno de los experimentos de manera individual, los resultados se elaboraron por medio de promedio simple de cada uno de los datos levantados en campo en el momento de la cosecha; a cada racimo seleccionado para el estudio se le realizo las respectivas mediciones para poder comparar entre si la eficiencia de cada uno de los experimentos

Una de las variables de mayor interés es el peso del racimo, ya que nos da un indicador de la cantidad de biomaterial producida en cada uno de los experimentos.

Gráfico 1. Peso promedio en kilogramos por cada combinación de factores.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 1 se puede observar el peso promedio en kilogramos por cada combinación de factores. A simple vista se podría decir que la combinación de factores más efectiva para la producción, asegurando que todos los experimentos fueron sometidos a las mismas condiciones edafoclimáticas, es el sistema de riego por micro aspersion con un marco de plantación de 2x2.

En la tabla 24 podemos observar los valores promedios para cada una de las variables de rendimiento, como podemos observar los datos más característicos en que todas las combinaciones superaron los 14 kg de peso por racimo y a excepción del riego focalizado en marcos de plantación 1.3x1.6x3.2 las demás alcanzaron los 15 kg de peso, también podemos observar que todas las combinaciones mostraron resultados satisfactorios como promedio de floración de 11 meses, numero de dedos promedio de 40 por racimo y medidas del plátano estandarizadas

Tabla 24. Valores promedios de todas las variables de rendimiento por cada uno de los experimentos.

TABLA PROMEDIO VARIABLES DE RENDIMIENTO										
Tipo de riego	Marco de plantación	Días a floración	No de dedos	Peso del Racimo (kg)	No manos	Peso del dedo medio 2da mano (g)	Longitud del dedo medio 2da mano (cm)	Perímetro del dedo medio 2da mano (mm)	diámetro del dedo medio 2da mano (mm)	Edad en meses
Mini Aspersión	1.3x1.6x3.2	264.87	40.47	15.65	7.40	386.06	29.80	50.36	16.03	11.07
Mini Aspersión	2x2	287.33	38.33	14.99	6.93	384.89	28.80	50.19	15.98	11.27
Micro Aspersión	1.3x1.6x3.2	250.80	41.87	15.25	7.67	350.95	26.23	48.73	15.51	11.00
Micro Aspersión	2x2	261.93	40.20	15.93	7.80	384.55	28.47	49.73	15.83	11.27
Botón	1.3x1.6x3.2	265.93	39.40	14.20	7.53	361.76	29.67	49.29	15.69	10.93
Botón	2x2	260.87	42.00	15.17	7.87	352.51	27.40	49.33	15.70	11.20
Cinta	1.3x1.6x3.2	269.07	39.40	14.36	7.33	371.01	27.60	48.71	15.50	10.80
Cinta	2x2	309.87	40.88	15.34	7.13	392.16	28.33	48.75	15.52	11.38

Fuente: Elaboración propia.

7.4.3. Proyección de rendimiento por hectárea

De los valores promediados de rendimiento por planta se procedió a realizar una proyección del rendimiento por hectárea de la plantación según el marco de plantación utilizado para cada uno de los experimentos. Para los marcos de plantación 1.3x1.6x3.2 se proyectar una densidad de 3840 plántulas por hectárea mientras en los marcos de plantación 2x2 se proyectó 2280 plántulas.

En la siguiente tabla se puede observar el peso promedio de la producción por hectárea de plantación, tomando como referencia el peso promedio del racimo multiplicándolo por la densidad de siembra de cada uno de los experimentos.

Tabla 25. Proyección rendimiento por hectárea.

PROYECCION RENDIMIENTO POR HECTAREA				
Tipo de riego	Marco de plantación	Peso Promedio Racimo (kg)	Cantidad de plantas por Hectárea	Rendimiento por Hectárea (kg)
Mini	1.3x1.6x3.2	15.65	3840	60096
Aspersión Mini	2x2	14.99	2280	34177.2
Aspersión Micro	1.3x1.6x3.2	15.25	3840	58560
Aspersión Micro	2x2	15.93	2280	36320.4
Botón	1.3x1.6x3.2	14.2	3840	54528
Botón	2x2	15.17	2280	34587.6
Cinta	1.3x1.6x3.2	14.36	3840	55142.4
Cinta	2x2	15.34	2280	34975.2

Fuente: Elaboración propia.

7.4.4. Estimación de comparación de los factores del estudio para variables de rendimiento

El estudio se basa en poder determinar cómo los factores de tipo de riego y marco de plantación influyen en los rendimientos productivos del cultivo del plátano. Para la realización de las medidas comparativas y determinar la influencia de los factores en la variabilidad de los resultados de las variables de rendimiento se procedió con el análisis de varianza múltiple.

➤ **Normalidad en los errores (residuos).**

Los residuos o errores son la diferencia entre los valores observados y los valores que predice el modelo. Para que un modelo sea considerado adecuado, es

necesario que sus residuos estén distribuidos normalmente, es decir que la varianza sea mínima.

Para el caso se plantea la siguiente hipótesis:

- Ho = Los errores tienen distribución normal
- H1 = Los errores no tienen distribución normal

El nivel de significancia para todos los estudios será del 5%, es decir $\alpha = 0.05$, para el modelo general lineal de análisis por ANOVA los resultados AD y el P-valor se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 26. Resultados AD y el P-valor.

NORMALIDAD EN LOS ERRORES (RESIDUOS)							
Estadístico de Prueba	Variables						
	Días a floración	No de dedos	Peso del Racimo (kg)	No manos	Peso del dedo medio 2da mano (g)	Longitud del dedo medio 2da mano (cm)	diámetro del dedo medio 2da mano (mm)
AD	0.616	0.435	0.459	0.587	0.236	1.202	0.44
P-Valor	0.107	0.295	0.258	0.123	0.784	Menor que 0.005	0.287

Fuente: Elaboración propia.

Con una significancia del 5% se concluye que los errores tienen una distribución normal para la mayor parte de los casos a excepción de la variable longitud del dedo medio de la 2da mano (cm) que se demuestra que los datos de errores en esta variable no tienen una distribución normal por lo cual el modelo no es apropiado para el análisis de esta respuesta.

➤ **Homogeneidad de la varianza**

El supuesto de homogeneidad de varianzas, también conocido como supuesto de homocedasticidad, considera que la varianza es constante (no varía) en los diferentes niveles de un factor, es decir, entre diferentes grupos. A la hora de realizar contrastes de hipótesis o intervalos de confianza es recomendado que el grupo de tamaño muestral sea grande, para evitar la variabilidad, por lo cual estas pruebas se realizaron con los 15 datos recolectados de las variables de

rendimiento para cada una de las combinaciones de los factores dando un total de 120 muestras.

Para el caso se plantea la siguiente hipótesis:

- Ho = Las varianzas son iguales (homogéneas).
- H1 = Al menos una varianza es diferente.

El nivel de significancia para todos los estudios es del 5%, es decir $\alpha = 0.05$, para el modelo se realizó la prueba de igualdad de varianza de Bartlett, para la obtención de los resultados Bartlett y el P-valor, la tabla 27.

Tabla 27. Resultados Bartlett y el P-valor

PRUEBA DE IGUALDAD DE VARIANZA BARTLETT							
Estadístico de Prueba	Variables						
	Días a floración	No de dedos	Peso del Racimo (kg)	No manos	Peso del dedo medio 2da mano (g)	Longitud del dedo medio 2da mano (cm)	diámetro del dedo medio 2da mano (mm)
Bartlett	17.49	7.47	5.76	24.37	8.8	19.52	18.35
P-Valor	0.014	0.382	0.568	0.001	0.267	0.007	0.01

Fuente: Elaboración propia.

Con una significancia del 5% se concluye que las varianzas solamente son homogéneas para las variables Número de dedos, Peso del racimo y peso del dedo medio de la segunda mano; mientras el resto de variables no presenta homogeneidad en la varianza de sus datos. Esto quiere decir que las variables no son homogéneas, por se concluye que al menos una varianza es diferente en las respuestas días a floración, numero de manos, longitud del dedo y diámetro medio del dedo. Lo cual refiere que las respuestas variaran según la combinación de factores para dichas respuestas.

➤ **Análisis de combinación de los niveles de los factores Tipo de riego y Marco de plantación**

El análisis de prueba de igualdad de la varianza se realizó con el fin de determinar si existe influencia entre la interacción de los niveles del modelo en los resultados, y determinar el grado de influencia que tiene cada uno de ellos.

Para el caso se plantea la siguiente hipótesis:

- Ho = No hay interacción entre los niveles Tipo de riego y Marco de plantación que influya en las variables productivas del experimento
- H1 = Existe interacción entre los niveles Tipo de riego y Marco de plantación que influya en las variables productivas del experimento

El nivel de significancia para todos los estudios es del 5%, es decir $\alpha = 0.05$, para el modelo general lineal de análisis de varianza, los resultados de la misma y el P-valor, se muestran individualmente por cada conjunto de respuestas, con el fin de determinar la influencia de los niveles en cada una de ellas.

Tabla 28. Análisis de la significancia de la combinación de los niveles de los factores tipo de riego y marco de plantación.

Tabla de Análisis de Varianza							
Factor	Días a Floración	Numero de dedos	Peso del racimo	Numero de Manos	Peso del dedo	Longitud del dedo	Diámetro del dedo
	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p
Tipo de riego	0.006	0.666	0.297	0.039	0.093	0.045	0.159
Marco de plantación	0.014	0.944	0.195	0.778	0.21	0.881	0.642
Tipo de Riego*marco de plantación	0.132	0.249	0.356	0.393	0.29	0.011	0.832

Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados del valor p en cada una de las variables podemos observar que el factor de tipo de riego tiene interacción con los resultados de días a floración, numero de manos del racimo, peso del dedo medio de la segunda mano y longitud del dedo medio de la segunda mano; es decir este nivel afecta directamente los valores de dichas variables.

Para el factor de marco de plantación encontramos que únicamente tiene interacción en los días de floración de las plantas y únicamente existe interacción de ambos niveles para la variable de longitud del dedo medio de la segunda mano por lo que podemos concluir que la combinación de ambos factores para todos sus niveles no tiene influencia en la variabilidad de los resultados.

Por lo cual podemos decir que los resultados obtenidos no variarían en muchos ámbitos sin importar el tipo de combinación de niveles por el cual optemos, por el cual para el estudio del experimento se concluye que se deberá elegir el experimento que tenga mejores resultados de rendimiento.

➤ **Análisis de agrupación óptima utilizando el método de Tukey**

La prueba de Tukey se realizará para la determinación de los niveles óptimos para las variables en los cuales ciertos niveles tienen influencia siguiendo la siguiente hipótesis:

- $H_0 = \mu = \mu$
- $H_1 = \mu \neq \mu$

En las siguientes tablas se muestran los valores comparativos medios en orden de la combinación de factores con mejores rendimientos para cada variable, están agrupados según las medidas promedio de cada uno del experimento. Las medias pertenecientes a un grupo indican que no existe diferencia significativa entre las mismas.

Tabla 29. Agrupación de los niveles de los factores tipo de riego y marco de plantación y su combinación.

Método de Tukey y una confianza de 95% para agrupación de resultados							
Tipo de riego*marco de plantación	Día a floración	Numero de dedo	Peso del racimo	Numero de manos	Peso del dedo	Longitud del dedo	Diámetro del dedo
mini 1.3x1.6x3.2	B	a	a	a	a	a	a
mini 2x2	a b	a	a	a	a	a b	a
micro 1.3x1.6x3.2	B	a	a	a	a	a	a
micro 2x2	B	a	a	a	a	a b	a
botón 1.3x1.6x3.2	B	a	a	a	a	a	a
botón 2x2	B	a	a	a	a	a b	a
cinta 1.3x1.6x3.2	a b	a	a	a	a	a b	a
cinta 2x2	a b	a	a	a	a	a b	a

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 29 podemos observar que no existe diferencia significativa en relación al tipo de riego vs marco de plantación para las variables número de dedos, peso del racimo, numero de manos, peso del dedo y diámetro del dedo, únicamente la

combinación de dichos factores influye en los días a floración de las plantas y la longitud final del dedo.

7.4.5. Análisis Taguchi para la determinación de diseño óptimo

El análisis del arreglo ortogonal de Taguchi es usado para producir los mejores parámetros para el diseño óptimo del proceso, con el mínimo número de experimentos (pruebas). Los resultados obtenidos para los arreglos ortogonales son analizados para obtener los siguientes objetivos:

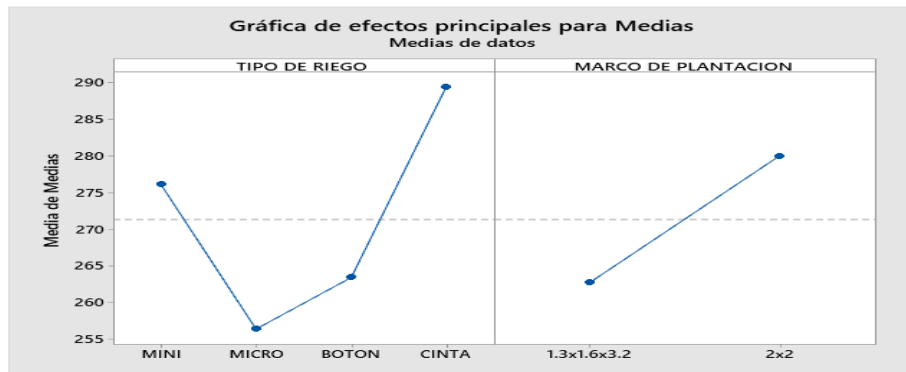
- Estimar la contribución de los factores individuales que influyen en la calidad en la etapa del diseño del producto
- Ganar la mejor condición para un proceso o un producto, así que las características en una buena calidad puedan ser sostenidas.

➤ Días a floración

Como se puede observar en la gráfica 2 se realizó el análisis Taguchi de diseño ortogonal según la señal de ruido, más pequeño es mejor, debido a que se busca el modelo para realizar una cosecha en el menor tiempo posible, se puede observar el comportamiento de los efectos en las medias de las respuestas de las variables y se puede apreciar para este caso el tipo de riego y marco de plantación con menor valor.

Los resultados muestran que la combinación óptima para reducir el número de días a floración desde la siembra de la planta es del nivel 2 para tipo de riego y nivel 1 para marco de plantación siendo este tipo de riego micro aspersión con marco de plantación 1.3x1.6x3.2.

Gráfico 2. Comportamiento de los efectos en las medias de las respuestas de las variables para el caso del tipo de riego y marco de plantación con menor valor.



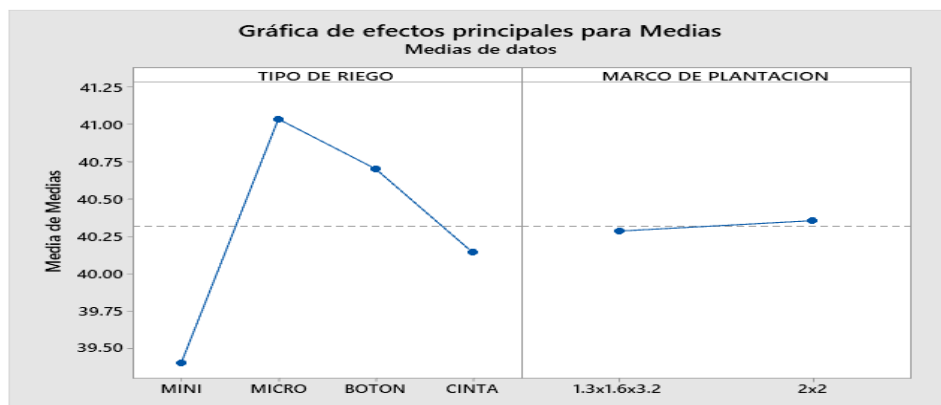
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Numero de dedos**

En la siguiente grafica se muestran los intervalos de las medias para número de dedos, en este caso debido a que se espera que el resultado de un mayor número de dedos la señal de ruido es considerada entre más grande mejor.

Como se puede observar en este caso los resultados muestran que el mayor número promedio se encuentra en el nivel 2 para el factor riego y el factor marco de plantación, aunque se debe destacar que el intervalo de varianza entre las respuestas medias de todos los arreglos es mínimo, por lo que se concluye que ambos factores no tendrán gran influencia en la variable número de dedos.

Gráfico 3. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable número de dedos.



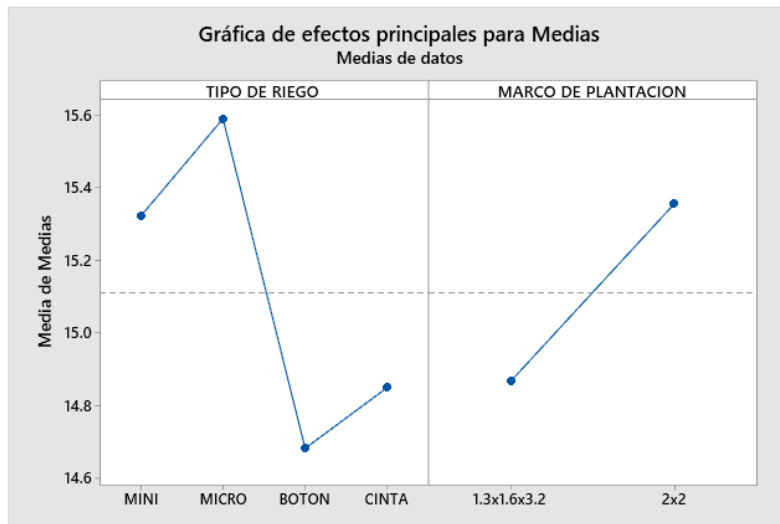
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Peso del racimo**

En la siguiente grafica se muestran los intervalos de las medias para el peso del racimo, en este caso debido a que se espera que el resultado de un mayor peso en la cosecha la señal de ruido es considerada entre más grande mejor.

Como se puede observar los niveles óptimos de diseño son el nivel 2 para el factor riego y el nivel 2 para el factor marco de plantación. En este caso se hace énfasis en la importancia del diseño ya que esta variable está directamente ligada al rendimiento del cultivo, el sistema de riego que produjo los racimos más pesados fue el de micro aspersión, teniendo mejores resultados que el otro tipo de riego totalizado y siendo muy superior en comparación a los riegos focalizados; el marco de plantación optimo es 2x2 metros, se considera la hipótesis de que esto es debido a que las plantas tendrían más espacio para desarrollarse, pero deberá tomarse en cuenta que con el marco de plantación 1, la densidad es un 70% mayor por lo que el régimen productivo compensa la varianza.

Gráfico 4 . Comportamiento de efectos principales en las medias de variable peso del racimo.



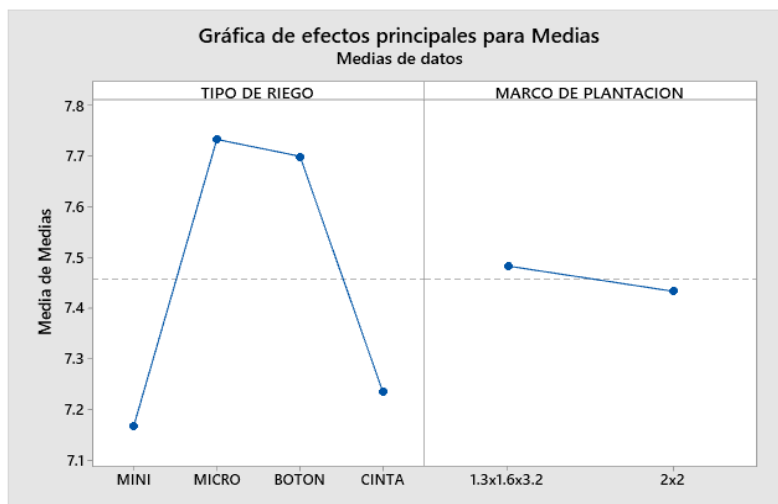
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Número de manos**

En la gráfica número 5 se muestran los intervalos de las medias para el número de manos del racimo, la señal de ruido es considerada entre más grande mejor para comparación y análisis de los valores.

Como se puede observar los niveles óptimos de diseño son el nivel 2 y 3 para el factor riego, a pesar que el modelo estipula que el nivel óptimo para el factor marco de plantación resulta ser el nivel 1, al analizar la varianza de las medias se concluye que el factor marco de plantación no tiene ninguna influencia en el número de manos, por lo cual se deja a criterio de diseño deseado para el factor tipo marco de plantación.

Gráfico 5. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable número de manos.



Fuente: Elaboración propia.

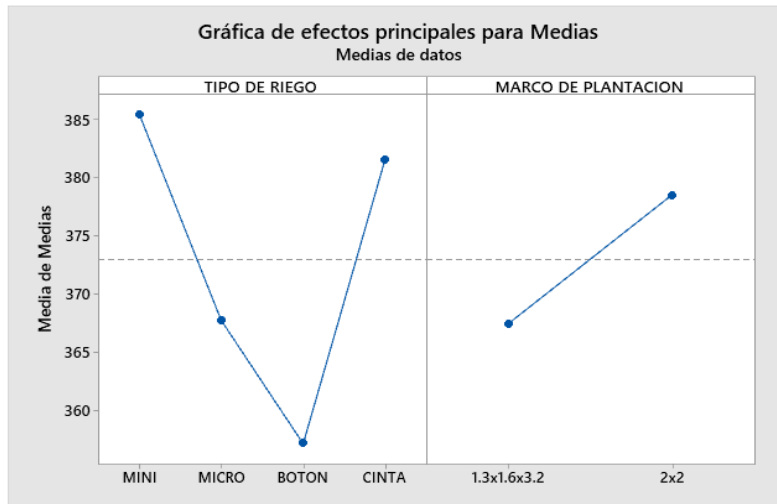
➤ **Peso del dedo medio de la segunda mano del racimo.**

En la siguiente grafica se muestran los intervalos de las medias para el peso del dedo medio de la segunda mano del racimo, e la señal de ruido es considerada entre más grande mejor para comparación y análisis de los valores.

Como se puede observar el diseño óptimo para la obtención de los dedos promedio más pesado resulta ser el nivel 1 y 4 del factor sistema de riego y el nivel 2 para el factor de marco de plantación; se considera la hipótesis que para el

nivel 2 del factor marco de plantación en valor de diseño resulta ser el más grande debido a que la densidad de siembra es menor, por lo cual la planta tiene menor competencia de recursos y mayor espacio para desarrollarse.

Gráfico 6. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable peso del dedo medio de la segunda mano del racimo.



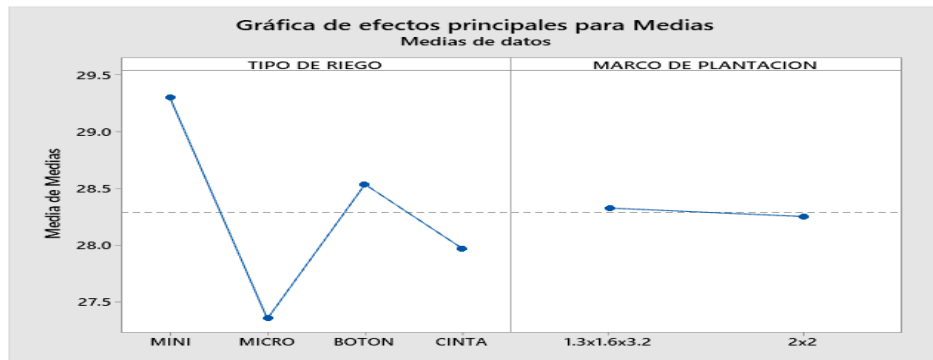
Fuente: Elaboración propia.

➤ **Longitud dedo medio de la segunda mano del racimo**

En la siguiente grafica se muestran los intervalos de las medias para la longitud del dedo medio de la segunda mano del racimo, e la señal de ruido es considerada entre más grande mejor para comparación y análisis de los valores.

Como se puede observar el diseño óptimo para la obtención de los dedos promedio más largos resulta ser el nivel 1 para el factor sistema de riego y el nivel 1 para el factor de marco de plantación; este último se considera que no tiene mayor incidencia en la longitud final del plátano ya que la varianza media entre ambos niveles es mínima. Como se puede observar el valor promedio más alto de longitud se encuentra en estos niveles.

Gráfico 7. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable longitud del dedo medio de la segunda mano del racimo.

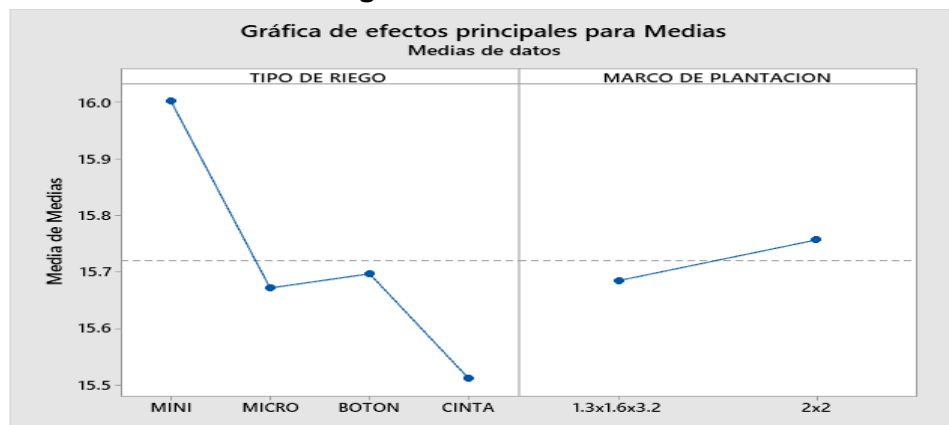


Fuente: Elaboración propia.

➤ **Diámetro dedo medio de la segunda mano del racimo**

En la siguiente grafica se muestran los intervalos de las medias para el diámetro del dedo medio de la segunda mano del racimo, e la señal de ruido es considerada entre más grande mejor para comparación y análisis de los valores, a pesar de generar este modelo en base al factor de ruido mayor, él diseño final quedara a Como se puede observar en la gráfica él diseño óptimo para la obtención de plátanos con mayor diámetro son el nivel 1 para el factor riego y el nivel 2 para el factor marco de plantación; este último se considera que no tiene mayor incidencia en la longitud final del plátano ya que la varianza media entre ambos niveles es mínima.

Gráfico 8. Comportamiento de efectos principales en las medias de variable longitud del dedo medio de la segunda mano del racimo.



Fuente: Elaboración propia.

VIII. CONCLUSIONES

- La lamina de riego óptima para el cultivo de plátano considerando las condiciones edafoclimáticas del sitio en estudio es de 7.15 mm, los cuales se aplicaron por cada turno de riego en dependencia del método de aplicación de agua y la densidad de siembra establecida.
- Se estableció el cultivo de plátano en las densidades de siembra de 1.3x1.6.x3.2 y 2x2, con 4 métodos de riego distintos para la aplicación de agua (mini aspersion, micro aspersion, goteo con botón y goteo con cinta), esto realizando los procedimientos antes descritos en la metodología para el establecimiento del cultivo.
- Los sistemas de riego con mayor rendimiento productivo son los riegos totalizados de mini aspersion y micro aspersion, siendo este último el de mayor eficiencia debido a que promedio los mayores pesos por racimo de manera individual y el menor tiempo de floración. La densidad de siembra optima es la del marco de plantación 1 (1.3x.1.6x3.2) debido a la densidad de plantas por hectárea dando como valor máximo 60096 kg/ha en el riego totalizado de mini aspersion.

IX. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis financiero sobre el costo-beneficio de cada uno de los experimentos para poder determinar la rentabilidad en base al rendimiento de cada uno de estos.

- Realizar un análisis de la homogeneidad de la distribución del agua para cada uno de los sistemas de riego.

- Evaluar la influencia e incidencia de plagas por otros cultivos aledaños o establecidos con anterioridad en la parcela del plátano y como estos afectan los rendimientos generales de estos.

X. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.). Recuperado el 21 de 05 de 2019, de Infoagro:
https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano2.htm

Abcagro. (s.f.). Obtenido de
http://www.abcagro.com/frutas/frutas_tropicales/platanos2.asp

Biblioteca virtual MAG. (s.f.). Recuperado el 22 de 05 de 2019, de
http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/manual_platano_04.pdf

Bustillo, I. W. (2020). *Plan de clases para curso de sistema de riego.* Managua.

Célia S. dos Santos, A. A. (2017). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de Platano. *Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental* , 900.

DARIO, M. (1979). *PROYECTO DE REABILITACIÓN Y DIVERSIFICACIONES AGRÍCOLAS PROYECTODE CAPACITACIÓN EN EXTENSIÓN AGRÍCOLA.* Tegucigalpa, D.C.

Dorronsoro, C. (5 de 11 de 2018). *edafologia.net.* Obtenido de www.edafologia.net: <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm>

EcuRed. (08 de 07 de 2015). *EcuRed.* Obtenido de EcuRed.:
https://www.ecured.cu/Suelo_agr%C3%ADcola

FAO. (2017). *AcuaCrop Manual.* E.E.U.U: Fao.

FAO. (2006). *Manual AcuaCorp.* E.E.U.U: FAO.

Garcia, I., & Briones, G. *Sistemas de Riego por aspersion y goteo. 2da Edición.* D.F.: Trillas. S. A de C. V.

Granada, U. d. *Desarrollo de la metodología de taguchi.*

Guerrero, M. (2010). *Guia tecnica del cultivo del platano; MAG-CENTA-FRUTALES.* El salvador.

(2019). *GUIA TECNICA 1 DE PLATANO INTA .* Managua.

Guiagronicaragua. (2016). Obtenido de Situacion del riego en Nicaragua MLE.EDI2016.Pdf: <http://guiagronicaragua.com/wp-content/uploads/2016/10/Situaci%C3%B3n-del-Riego-en-Nicargua-MLE-Edi2016.pdf>

Guiagronicaragua.com. (2015). Obtenido de La tecnología de riego en Nicaragua con sistemas de riego: <http://guiagronicaragua.com/retailers/casa-mcgregor-sistemas-de-riego/>

Infoagro. (s.f.). Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/platano/>.

Infoagro. (27 de 03 de 2020). Obtenido de https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

IPSA.GOB.NI. (s.f.). *Inocuidad alimentaria, normativas generales*. Obtenido de https://www.ipsa.gob.ni/Portals/0/1%20Inocuidad%20Alimentaria/Normativas%20Generales/ACTUALIZACION%20051217/Secci%C3%B3n%20Inocuidad%20Frutas%20y%20Vegetales/CXS_205s%20BANANO.pdf

IPSA.GOB.NI. (s.f.). Obtenido de <https://agricultura.gob.do/transparencia/index.php/base-legal2/otras-normativas/category/969-plagas-y-enfermedades-del-platano>

López, L., & Méndez, J. (2012). *Guía de Prácticas de Campo*. Managua: UNI:F.T.C. Departamento de Ingeniería Agrícola.

Mendez. (2012). *Guia de practicas de laboratorio*. Mangua: UNI-FTC-Ingeniería Agrícola.

Méndez, J., & López, L. (2011). *Guía de prácticas de campo y laboratorio de fundamentos del suelo*. Managua.: UNI-FTC-Ingeniería Agrícola-Laboratorio de Edafología.

Pinto, J., & Pinto, I. (6 de noviembre de 2009). *SlideShare*. Obtenido de Fundamentos del riego presurizado : <https://www.slideshare.net/xzibitwarcraft/r-i-e-g-o-p-o-r-g-o-t-e-o>

sistemas de riego por aspersion. (s.f.). Obtenido de <https://sistemasderiego.net/riego-por-aspersion/>

Soubannier, J. S. (1985). *Riego y Drenaje*. Costa Rica: Editorial Univercidad Estatal a Distancia .

TODO RIEGO. (s.f.). Recuperado el 20 de 04 de 2020, de <http://www.todorigo.com.ar/w/index.php/en/blog/item/152-riego-por-microaspersion>

Úbeda, J. (2018). *Catalogo de Analisis de suelo*. Obtenido de CRS: http://www.csrsestados.es/LABORATORIO/DESCARGAS/CATALOGO_ANALISIS_SUELOS.pdf

USDA. (*Departamento de agricultura de los Estados Unidos*). Estados Unidos.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de insumos fitosanitarios requeridos

Lista de Insumos Fitosanitarios Requeridos en el Establecimiento de 1.34 Ha de Plátano								
Descripción	Nombre del Producto	Dosis requerida	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total	Fecha Aplicación	
Pre-Siembra	Desinfección de Suelo	MANCOZEB FORMUNICA 80 WP kg/carbendazin	1 kg/Ha diluido en 300 lts de agua	1 kg	1	200	200	Martes, 5 de Mayo
Fertilizante Edáfico	Formula Sintética (18-46-0)	Formula Sintética (18-46-0)	60 g / planta	qq	4	1050	4200	Viernes, 22 de Mayo
	Formula completa	15-15-15	60 g / planta	qq	4	740	2960	Lunes, 6 de Julio
	Formula nitrogenada	Formula nitrogenada Sulfato de amonio	60 g / planta	qq	4	500	2000	Miércoles, 5 de Agosto
	Formula nitrogenada +.Fertilización Potásica	Formula nitrogenada Sulfato de amonio	60 g / planta	qq	4	500	2000	Viernes, 4 de Septiembre
	Formula nitrogenada +.Fertilización Potásica	Urea 46%/Sulfato de amonio + MOP	60 g / planta	qq	4	950	3800	Domingo, 4 de Octubre
	Formula completa	Nutri Suprema (15-4-23+ micronutrientes)	60 g / planta	qq	4	820	3280	Martes, 3 de Noviembre
	Formula completa	Nutri Suprema (15-4-23+ micronutrientes)	60 g / planta	qq	4	820	3280	Jueves, 3 de Diciembre
	Formula completa	15-15-15	60 g / planta	qq	4	740	2960	Sábado, 2 de Enero
Fertilizante Foliar	Fertilizante en formulación líquida con fitohormonas	formula de macro nutrientes, fitohormonas y aminoácidos (ACTIVA)	40cc/bomba 20 L	L	1	600	600	Domingo, 17 de Mayo
	Fertilizante orgánico - mineral para aplicación foliar formulado a base de micro elementos	ALBAMIN+MIPOTASIO	40cc/bomba 20 L	L	2	600	1200	Martes, 16 de Junio
	Micro nutriente altamente concentrados + cobalto y vitaminas	IMPULSADOR	70cc/20lt	L	1	1300	1300	Jueves, 16 de Julio

	Fertilizante en formulación líquida con fitohormonas	formula de macro nutrientes, fitohormonas y aminoácidos (ACTIVA)	40cc/bomba 20 L	L	1	600	600	Sábado, 15 de Agosto
	Fertilizante Foliar soluble que contiene macro y micro nutrientes	K-FOL+ ALBAMIN	100gr*20lt/70cc*20lt	kg/lt	2	500	1000	Lunes, 14 de Septiembre
	Fertilizante Foliar soluble que contiene macro y micro nutrientes	K-FOL	100gr*20lt/70cc*20lt	kg	1	400	400	Miércoles, 14 de Octubre
Fungicida	Fungicida, bactericida y bioestimulante	MANCOZEB FORMUNICA 80 WP kg/carbendazin	2 kg/Ha	kg	2	200	400	Sábado, 6 de Junio
a	Fungicida sistémico, preventivo y curativo. Ingrediente activo Benomil	Benomil 500GRS/ ARTAXX350/mz	1 kg/Ha	kg	1	600	600	Lunes, 6 de Julio
	Fungicida sistémico, preventivo y curativo. Ingrediente activo Benomil	Benomil 500GRS/ ARTAXX350/mz	1 kg/Ha	kg	2	600	1200	Miércoles, 5 de Agosto
	Fungicida de contacto con acción preventiva y amplio espectro	OPUS	1 L /Ha	L	1	1	1680	Viernes, 4 de Septiembre
	Fungicida sistémico, preventivo y curativo. Ingrediente activo Benomil	ASPEN 50 SC	300 cc/ Ha	L	1	3700	3700	Domingo, 4 de Octubre
Control	ABAMECTINA	ABAMECTINA FORMUNICA 1.8 EC frasco 100 cc	210cc / Ha	frascos de 150 cc	2	280	560	Cuando sea Requerido
	FARMACINA 5%	FARMACINA 5%	250 g/barril	Paquete 500 g	2	760	1520	Cuando sea Requerido
	Surfactante no - iónico adherente, agente acidificante y estabilizante	TRIOFOL PLUS	20 cc / bomba de 20 L	L	2	380	760	Cuando sea Requerido

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Tabla del programa de control y mantenimiento

Cronograma del Programa De Control y Mantenimiento				
	Actividad	Descripción	Frecuencia	Fecha
Control y Mantenimiento	Revisión y Control de Malezas	Control de seguimiento de malezas en el cultivo	4 Veces al Mes	Días 5, 13, 21 y 29 de cada mes
	Chequeo y revisión de aparición de plagas y/o enfermedades	Control de seguimiento de plagas y enfermedades en el cultivo	4 Veces al Mes	Días 5, 13, 21 y 29 de cada mes
	Deshoje	Control de calidad y cantidad del follaje de la planta	Cada 15 días a partir de los 150 días de establecido el cultivo	Día 15 y 30 de cada mes
	Deshijado	Eliminación de hijos no deseados de la plántula	Cada 21 días a partir de los 90 días	
	Enfundado	Embolsado para la protección del racimo para mejora de calidad del plátano	Única Vez	270 días después de establecido el cultivo
	Cosecha	Proceso de corte y almacenamiento del plátano	Única Vez	Al finalizar el ciclo productivo
Estudio de Variables de Crecimiento	Selección e identificación de especímenes a estudiar	Proceso en el cual se seleccionan los especímenes a los cuales se les dará seguimiento para el estudio de las variables del experimento	Única Vez	60 días después de establecido el cultivo
	Medición de variables de crecimiento de la planta	Proceso en el cual se procederá a la recolección de los datos de las variables a estudiar	Cada 15 Días	Primer muestreo a los 90 días de establecido el cultivo

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Recolección de muestras de suelo en campo Finca Agrícola Experimental



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Preparación del suelo Finca Agrícola Experimental



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Transporte y establecimiento en invernadero de la semilla de plátano



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. Ahoyado.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Instalación de sistemas de riego



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Siembra



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9. Estudios de suelo en laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10. Manejo agronómico



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. Toma de datos variables de crecimiento



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. Cosecha





Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. Toma de datos variables de producción



Fuente: Elaboración propia.