



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS Y BIOLÓGICAS
CARRERA AGROPECUARIA

Trabajo de Integración
Curricular previa la
obtención del Grado
Académico de Ingeniero
Agropecuario.

Proyecto de Investigación:

**“EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS NUTRICIONALES PARA
CORRECCIÓN DEL MAL DE BALASTRO EN EL CULTIVO DE BANANO
(*Musa acuminata*).”**

Autor:

JOSÉ MANUEL CASTILLO ESPINOZA

Director de Proyecto de Investigación:

DR. GREGORIO HUMBERTO VÁSCONEZ MONTÚFAR

Mocache – Los Ríos – Ecuador.

2023



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **JOSÉ MANUEL CASTILLO ESPINOZA**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

JOSÉ MANUEL CASTILLO ESPINOZA

C.I: 1206811984



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montúfar** Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **José Manuel Castillo Espinoza**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Evaluación de alternativas nutricionales para corrección del mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*)**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Dr. Gregorio Humberto Vásquez Montúfar
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito, **Dr. Gregorio Humberto Vásconez Montúfar**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de proyecto de Investigación titulado “**Evaluación de alternativas nutricionales para corrección del mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*)**” Presentado por el estudiante **José Manuel Castillo Espinoza**, egresado de la Carrera, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de URKUND el cual avala los niveles de originalidad en un 93% y similitud 7%, del trabajo investigativo. Válido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.

URKUND	
Documento	JOSÉ MANUEL CASTILLO ESPINOZA.pdf (D178062514)
Presentado	2023-11-07 13:53 (-05:00)
Presentado por	Gregorio Vásconez (gvasconez@uteq.edu.ec)
Recibido	gvasconez.uteq@analysis.urkund.com
Mensaje	JOSÉ MANUEL CASTILLO ESPINOZA Mostrar el mensaje completo
	7% de estas 35 páginas, se componen de texto presente en 6 fuentes.

Dr. Gregorio Humberto Vásconez Montúfar
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS Y BIOLOGICAS
CARRERA AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Evaluación de alternativas nutricionales para corrección del mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*)”

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Diana Veliz Zamora M. Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dr. Ana Álvarez Sánchez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Wilver Santana Alvarado M. Sc.

MOCACHE – LOS RIOS – ECUADOR

2023

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento primero a Dios por permitirme cumplir con este objetivo, por brindarme la constancia y motivación durante este proceso.

Quiero expresar mi profunda gratitud hacia mis padres y familiares, quienes me han brindado un apoyo incondicional en todo. A lo largo de mi vida, me han inculcado valiosos conocimientos y principios que han moldeado mi carácter desde una edad temprana. Su constante guía y enseñanzas han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal.

Gratitud al Dr. Gregorio Vásquez, quien asumió el rol de director de mi proyecto. Su profundo entendimiento académico y voluntad de compartir sus conocimientos resultaron invaluable para mí, y aprecio enormemente su dedicación.

Asimismo, deseo manifestar mi aprecio a la empresa Reybanpac, cuya colaboración generosa permitió la realización de mi investigación en sus instalaciones. Su respaldo financiero y cooperación destacan su compromiso con la investigación y el avance académico.

Agradecer a los Ingenieros, Tomás Narváez, Camilo Dulcey y Jean Carlos Onofre quienes contribuyeron en esta investigación con sus valiosos conocimientos y experiencia, sus orientaciones y asesoramiento fueron pilares determinantes en el éxito de esta labor.

A todas las personas mencionados anteriormente y a aquellos que, de una manera u otra, aportaron a este logro, les expreso mi sincera gratitud. Sus contribuciones y apoyo desinteresado jugaron un rol fundamental en el éxito de este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo investigativo:

A Dios que me ha bendecido toda mi vida, a mis amados padres, Víctor Castillo Porro y Dolores Espinoza Cerezo, les agradezco por ser mis pilares y por su constante aliento en cada paso que doy. Su amor incondicional y su ejemplo de perseverancia han sido mi mayor inspiración

.

A mis queridos hermanos, Víctor Castillo y Oscar Castillo, agradezco por estar siempre presentes y por su apoyo inquebrantable. Nuestra unión familiar ha sido una fuente de fortaleza y alegría a lo largo de mi vida.

A todos ustedes, mi familia, les agradezco por estar a mi lado en cada etapa de mi vida, por su comprensión y por ser mi mayor fuente de felicidad y motivación. Este logro también es suyo, y su amor y apoyo han sido fundamentales en mi camino de vida.

José Castillo Espinoza

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de las diferentes alternativas nutricionales para la corrección del mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*). Contrastando el efecto de la aplicación del Sulfato de magnesio aplicado al suelo sobre el síntoma de mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano, la influencia de los tratamientos en la concentración de las bases nutricionales (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+), pH en el suelo, efecto de la aplicación de nitrato de amonio sobre la sintomatología del mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano. El experimento realizo en las Haciendas Jota Jota y Zulema 1 pertenecientes a la empresa REYBANPAC. Se utilizo un Diseño De Bloques Completos al Azar (DBCA) y para la comparación de medias entre los tratamientos se realizó la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$). Se empleo cinco tratamientos con cuatro repeticiones. Se aplicaron los fertilizantes según los tratamientos, Testigo dosis (Finca), Sulfato de magnesio 150g por planta, Sulfato de calcio 150g por planta, $K_2O+MgO+CaO$ 175g por planta, Nitrato de amonio 100g por planta, las variables evaluadas fueron; Variables asociadas al mal de balastro (Incidencia y Grado de severidad), Variables morfológicas (Altura, Circunferencia, Emisión foliar y Número de hojas del hijo de sucesión), Variables químicas (concentración de bases intercambiables, CICE, pH, Concentración de macronutrientes a nivel foliar). En los resultados obtenidos se presentó que el tratamiento de Sulfato de magnesio es el que tuvo menor porcentaje de Incidencia de mal de balastro con un 11 %, para las Variables Altura el T3 presento una mayor promedio 3,32 m, Circunferencia del pseudotallo no existió diferencias estadísticas, Emisión foliar (mensual) y Número de hojas el T5 presento los mejores promedios 4,10 y 20,60 respectivamente en la variables químicas se observó diferencias estadísticas en la concentración de Mg en las bases de intercambio donde los tratamientos con Sulfato de magnesio y $K_2O+MgO+CaO$ presentaron un mayor contenido de 1,84 y 1,75 meq / 100g respectivamente, no se encontró diferencias significativas en la CICE, pH, Concentración de macronutrientes a nivel foliar.

Palabras Claves: Banano (AAA), Fertilización, Cationes, Aniones, CICE, Balastro, Nutrición.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of various nutritional strategies for mitigating bad ballast in banana cultivation (*Musa acuminata*). This study compared the impact of applying Magnesium Sulfate to the soil on bad ballast symptoms and banana plant development, as well as the influence of treatments on the concentration of nutritional bases (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+) soil pH, and the effects of ammonium nitrate application on bad ballast symptomatology and banana plant growth. The experiment was conducted at the Jota Jota and Zulema 1 farms, which are part of the REYBANPAC company. A Randomized Complete Block Design (DBCA) was employed, and the Tukey multiple range test was used for comparing means among the treatments ($p \leq 0.05$). Five treatments with four replicates were utilized. Fertilizers were applied based on the following treatments: Control (Farm dose), Magnesium Sulfate 150g per plant, Calcium Sulfate 150g per plant, $K_2O+MgO+CaO$ 175g per plant, Ammonium Nitrate 100g per plant. The evaluated variables included those related to bad ballast (Incidence and Severity), morphological variables (Height, Circumference, Monthly Leaf Emission, and Number of Sucker Leaves), and chemical variables (concentration of exchangeable bases, CICE, pH, Macronutrient concentration at the leaf level). The results revealed that the Magnesium Sulfate treatment had the lowest bad ballast Incidence percentage at 11%. Regarding the Height variable, T3 showed the highest average at 3.32 m. No statistical differences were observed in the Circumference of the pseudostem. For Monthly Leaf Emission and Number of Leaves, T5 presented the best averages at 4.10 and 20.60, respectively. In the chemical variables, statistically significant differences were found in the concentration of Mg in the exchangeable bases, with the Magnesium Sulfate and $K_2O+MgO+CaO$ treatments having higher content at 1.84 and 1.75 meq/100g, respectively. No significant differences were found in CICE, pH, or Macronutrient concentration at the leaf level.

Keywords: *Banana (AAA), Fertilization, Cations, Anions, CICE, Ballast, Nutrition.*

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Problema de la investigación.	3
1.1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.1.2 Formulación del problema	4
1.1.3 Sistematización del problema.....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 Justificación.	6
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1 Marco conceptual.....	8
2.1.1 Cambio iónico	8
2.1.2 Intercambio catiónico.....	8
2.1.3 Intercambio aniónico.....	8
2.1.4 Fertilización edáfica.....	9

2.1.5	<i>Análisis de Suelo.....</i>	9
2.1.6	<i>Análisis de tejido</i>	9
2.2	Marco referencial	10
2.2.1	<i>Origen del banano.....</i>	10
2.2.2	<i>Descripción botánica.....</i>	10
2.2.3	<i>Banano Williams</i>	11
2.2.4	<i>Nutrición en el cultivo de banano.....</i>	12
2.2.5	<i>Suelos.....</i>	13
2.2.6	<i>Desarrollo del sistema radical en Banano</i>	14
2.2.7	<i>Suministro de nutrientes del suelo hacia las plantas</i>	15
2.2.8	<i>Translocación, distribución, asimilación los nutrientes</i>	16
2.2.9	<i>Toma de nutrientes en plantas de banano.....</i>	17
2.2.10	<i>Deficiencia nutricional.....</i>	20
2.2.11	<i>Fertilizantes.....</i>	21
2.3	Investigación Relacionadas.....	24
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		26
3.1	Localización de la investigación.....	27
3.2	Características Climáticas del lugar de investigación.....	27
3.3	Tipo de investigación.....	28
3.4	Fuentes de recopilación de información.	28
3.5	Tratamientos.	28
3.6	Diseño de la Investigación.....	29
3.7	Croquis Experimental.	30
3.7.1	<i>Bloque I Y Bloque II “Hacienda Jota/Jota”</i>	30
3.7.2	<i>Bloque I Y Bloque II “Hacienda Zulema I”</i>	31
3.8	Manejo de los tratamientos	31
3.9	Manejo del Experimento.....	32

3.10	Variables.....	32
3.10.1	<i>Variables asociadas al mal de balastro</i>	32
3.10.2	<i>Variables morfológicas</i>	35
3.10.3	<i>Químicas y Sanitarias</i>	36
3.11	Recursos humanos y materiales	37
3.11.1	<i>Recursos Humanos</i>	37
3.11.2	<i>Materiales y equipos</i>	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		38
4.1	Resultados.....	39
4.1.1	<i>Variables asociadas al mal de balastro</i>	39
4.1.2	<i>Variables morfológicas</i>	44
4.1.3	<i>Análisis químicos de suelos</i>	49
4.1.4	<i>Análisis Químicos de Tejido</i>	55
4.1.5	<i>Análisis de Raíces</i>	60
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		65
5.1	Conclusiones.....	65
5.2	Recomendaciones	66
CAPITULO VI BIBLIOGRAFÍA		68
6.1	Bibliografía	68
CAPÍTULO VII ANEXOS.....		73
7.1	Anexos de análisis de varianza	75
7.2	Anexos del manejo de la investigación.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Información de la Investigación	27
Tabla 2	Características climática del lugar de investigación	27
Tabla 3	Código de los tratamientos	29
Tabla 4	Esquema del análisis de varianza utilizado en la investigación	29
Tabla 5	Croquis Experimental (I y II)	30
Tabla 6	Croquis Experimental (III y IV)	31
Tabla 7	Altura de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.	45
Tabla 8	Circunferencia de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	46
Tabla 9	Emisión foliar de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	47
Tabla 10	Número de hojas de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	49
Tabla 11	Rangos y concentraciones de macronutrientes a nivel foliar en el cultivo de banano.....	56
Tabla 12	Concentración de macronutrientes a nivel foliar al inicio del experimento.....	57
Tabla 13	Concentración de macronutrientes a nivel foliar después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.	59

Índice de Figura

Figura 1	Estado 1. Mal de Balastro	34
Figura 2	Estado 2. Mal de Balastro	34
Figura 3	Estado 3. Mal de Balastro	34
Figura 4	Porcentaje de Incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (madres).....	40
Figura 5	Porcentaje de Incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (hijos de sucesión).....	41
Figura 6	Comparación del porcentaje de incidencia del mal de balastro entre madre e hijo de sucesión.	42
Figura 7	Evaluación del grado de incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (madres).	43
Figura 8	Evaluación del grado de incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (hijos de sucesión).	44
Figura 9	Evaluación del contenido de bases intercambiables (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+) previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	50
Figura 10	Evaluación del contenido de bases intercambiables (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+) de acuerdo con el efecto de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	51
Figura 11	Evaluación de los niveles de la CICE previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.	52
Figura 12	Evaluación de los niveles de la CICE después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.	52
Figura 13	Evaluación de los niveles de pH previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	53
Figura 14	Evaluación de los niveles de pH después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.	54
Figura 15	Relación entre CICE y pH de acuerdo con el efecto de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	55
Figura 16	Evaluación de la concentración de macronutrientes a nivel foliar previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	57

Figura 17	Evaluación de la concentración de macronutrientes a nivel foliar después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.....	60
Figura 18	Porcentaje de raíces vivas previo a la aplicación de las alternativas nutricionales.	61
Figura 19	Porcentaje de raíces vivas después de la aplicación de las alternativas nutricionales.	61
Figura 20	Población de nematodos / 100 g de raíces previo a la aplicación de las alternativas nutricionales.....	62
Figura 21	Población de nematodos / 100 g de raíces después de la aplicación de las alternativas nutricionales.	63

CÓDIGO DUBLIN

Título:	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS NUTRICIONALES PARA CORRECCIÓN DEL MAL DE BALASTRO EN EL CULTIVO DE BANANO (<i>Musa acuminata</i>)				
Autor:	Castillo Espinoza José Manuel				
Palabras claves:	Banana (AAA)	Cationes	Aniones	Balastro	Nutrición
Fecha de publicación:					
Editorial:	Quevedo- UTEQ “La María”, 2023				
Resumen:	El estudio evaluó el efecto de diferentes alternativas nutricionales para corrección del Mal de Balastro en el cultivo de banano (<i>Musa acuminata</i>). Se contrastó la influencia de los tratamientos aplicados al suelo sobre los síntomas de Mal de Balastro y el crecimiento de las plantas de banano, así como su efecto en la concentración de nutrientes como potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{+2}), y el pH del suelo. El experimento se realizó en fincas de REYBANPAC, utilizando Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cinco tratamientos. Los resultados destacaron que el Sulfato de Magnesio redujo la incidencia del Mal de Balastro al 11%, y se observaron diferencias significativas en la concentración de magnesio en las bases de intercambio. No se encontraron diferencias en CICE, pH ni concentración de macronutrientes a nivel foliar.				
Abstract:	The study assessed the impact of various nutritional approaches in mitigating Bad Ballast in banana cultivation (<i>Musa acuminata</i>). It examined the influence of the treatments applied to the soil on Bad Ballast symptoms and banana plant growth, as well as its effect on the concentration of nutrients like potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), and soil pH. The experiment took place in REYBANPAC's farms, using a Randomized Complete Block Design (DBCA) with five treatments. The results highlighted that Magnesium Sulfate reduced the incidence of Bad Ballast to 11%, and significant differences were observed in the concentration of magnesium in exchangeable bases. No differences were found in Effective Cation Exchange Capacity (CICE), pH, or foliar macronutrient concentration.				
Descripción:	109 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm CD-ROM 6162				
URI:					

INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano es uno de los principales rubros agrícolas en Ecuador, generando importantes ingresos y empleos tanto en labores agrícolas como administrativas. En la primera mitad del 2023, Ecuador exportó un total de 190.066.336 cajas de banano, con un promedio de más de un millón de cajas por día. Reybanpac, la segunda compañía exportadora más grande, contribuyó con un 7,25% en las exportaciones totales de banano durante este período. A pesar de los desafíos geopolíticos y la post pandemia, el sector bananero ecuatoriano ha mostrado un crecimiento positivo en comparación con el año anterior. La Unión Europea sigue siendo el mercado más importante, con un crecimiento del 30,77% en sus importaciones durante el primer semestre del 2023. Esto destaca la relevancia de Reybanpac y otras empresas en el éxito del sector bananero ecuatoriano a nivel internacional (1).

Por su parte, el manejo nutricional del cultivo de banano desempeña un papel fundamental en la obtención de rendimientos óptimos. Reconocer y abordar los posibles factores que interfieren con el crecimiento y desarrollo de este cultivo es de vital importancia. Debido a su alta sensibilidad a los desequilibrios nutricionales, es crucial prevenir y corregir estos desequilibrios, ya que tienen el potencial de incidir negativamente en el rendimiento y la calidad del racimo. Mantener un equilibrio adecuado de nutrientes en el suelo resulta esencial para evitar bloqueos nutricionales, que se producen cuando un nutriente interfiere con la absorción de otro. En este sentido, garantizar un suministro equitativo y balanceado de nutrientes es un componente esencial para asegurar el éxito de la producción bananera (2).

La producción de banano (*Musa acuminata*) es fundamental para la seguridad alimentaria mundial. Sin embargo, enfrenta problemas fisiológicos como el " mal de balastro", que provoca manchas cloróticas en las hojas debido a deficiencias de nutrientes, que existen informes que se debe especialmente calcio y magnesio. Esto afecta el tamaño, la calidad de los frutos y reduce el rendimiento debido a la reducción de la fotosíntesis (3).

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de la investigación.

1.1.1 Planteamiento del problema

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad evaluar alternativas nutricionales para la corrección del mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*). Se ha reportado que este desorden ocurre principalmente en suelos con un pH bajo y una capacidad de intercambio catiónico baja.

La utilización continua de fertilizantes nitrogenados provoca la acidez del suelo debido a que en su proceso de nitrificación libera iones de hidrógeno (H^+) y empeora la capacidad de intercambio catiónico, lo que a su vez puede afectar el crecimiento y la producción del banano. Por lo tanto, el uso de alternativas nutricionales, se presenta como opciones para esta problemática, además la utilización y empleo de encalados permite contribuir a la corrección del pH y la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Sin embargo, la efectividad de estas alternativas nutricionales para la corrección del mal de balastro en el cultivo de banano no ha sido suficientemente estudiada y documentada.

En base de este contexto, se plantea que al menos una de las alternativas nutricionales para la corrección del mal de balastro en el cultivo de banano presentará una mayor eficiencia y reducirá dicha sintomatología en la plantación.

Diagnóstico

Un manejo agronómico ineficiente alteraría el suelo a nivel físico, químico y biológico, lo que afectaría negativamente la dinámica de absorción de nutrientes. Esto limitaría funciones fisiológicas importantes como la fotosíntesis debido a la poca concentración de elementos como el N y Mg por lo que en este caso el racimo de banano no tendrá el peso y el grado ideal de comercialización provocando una merma en la producción.

Pronóstico.

El objetivo de evaluar cada alternativa nutricional para la corrección del mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*), es determinar el efecto que cada tratamiento tendrá sobre la sintomatología del mal de balastro. Se espera identificar al menos una alternativa que sea efectiva en reducir los síntomas de mal de balastro.

1.1.2 Formulación del problema

¿Qué efecto tendrá el uso de alternativas nutricionales para corregir el mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*)?

1.1.3 Sistematización del problema

- ¿Cuál será el efecto de la aplicación de Sulfato de magnesio aplicado al suelo sobre el síntoma de mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano (emisión foliar, altura y circunferencia del hijo de sucesión)?
- ¿Como influirá el programa completo de fertilización sobre el síntoma de mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano?
- ¿Qué efectos tendrá la aplicación de Nitrato de amonio sobre la sintomatología del mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de las diferentes alternativas nutricionales para la corrección del mal de balastro en el cultivo de banano (*Musa acuminata*).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Contrastar el efecto de la aplicación de Sulfato de magnesio aplicado al suelo sobre el síntoma de mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano (emisión foliar, altura y circunferencia del hijo de sucesión).
- Determinar como el programa completo de fertilización influye sobre el síntoma de mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano.
- Determinar el efecto de la aplicación de nitrato de amonio sobre la sintomatología del mal de balastro y el desarrollo de las plantas de banano.

1.3 Justificación.

El banano es uno de los productos agrícolas más importantes a nivel mundial y es ampliamente cultivado en países tropicales como Ecuador, Costa Rica, Colombia y otros países de América Latina, lo que significa que una solución a los problemas del cultivo de banano puede tener un impacto significativo en la rentabilidad de la producción bananera.

La evaluación de alternativas nutricionales para la corrección del mal de balastro en el cultivo de banano es una investigación de suma relevancia que aborda una serie de desafíos críticos en la producción bananera. El mal de balastro implica pérdidas económicas significativas para los agricultores de banano debido a la reducción en el tamaño y calidad de la fruta, lo que afecta negativamente a la rentabilidad de las exportaciones. Este proyecto de investigación busca proporcionar soluciones para minimizar estas pérdidas y mejorar la viabilidad económica de los productores de banano.

Se estima que la aplicación de nutrientes como el magnesio disminuye el desarrollo de este síntoma; en Reybanpac el uso de Mg significa alrededor del 9% de programa de nutrición, representando entre 0,8 y 1 millón de dólares al presupuesto anual.

Esta investigación no solo aborda un problema específico en la producción de banano, sino que también contribuye al avance del conocimiento científico en el campo de la nutrición vegetal. La aplicación de alternativas nutricionales para corregir el mal de balastro tiene implicaciones más amplias en la agricultura, lo que hace que este estudio sea relevante para otros cultivos y sistemas agrícolas.

Por lo cual el enfoque de esta investigación es evaluar si la aplicación de alternativas nutricionales tiene un efecto positivo respecto a la sintomatología del mal de balastro en plantaciones comerciales de banano.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Cambio iónico

El cambio iónico se refiere a los procesos físicos – químicos que determina la solución fertilidad del suelo, donde ocurre el intercambio reversible de aniones y cationes entre la fase líquida y sólida. Este fenómeno implica que los iones presentes en la solución del suelo pueden ser atraídos por las partículas coloidales del suelo, mientras que los iones adsorbidos a la fase sólida pueden ser liberados a medida que la concentración en la solución disminuye (4).

2.1.2 Intercambio catiónico

La propiedad química del suelo en cuestión es la capacidad de intercambio catiónico (CEC), que es la cantidad total de cargas negativas disponibles en la superficie de las partículas del suelo. Se puede definir como la cantidad total de cationes intercambiables que el suelo puede retener o es capaz de retener. Conocer la CIC de un suelo es fundamental porque indica el potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes, y también afecta la cantidad y la frecuencia de la fertilización necesaria (5).

2.1.3 Intercambio aniónico

Es la capacidad química de los suelos para retener en su interior nutrientes, elementos o compuestos que tienen una carga negativa (aniones), tales como el nitrato (NO_3^-), ácido fosfórico ($\text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{HPO}_4^{2-}$), sulfato (SO_4^{2-}), molibdato (MoO_4^{2-}), ácido bórico e hidróxido de boro ($\text{H}_2\text{BO}_3^- - \text{B}(\text{OH})_4^-$). En contraposición con la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), esta capacidad es bastante limitada en los suelos, alcanzando apenas algunos centimoles (+) / kg en los minerales que poseen una mayor Capacidad de Intercambio Aniónico Debido a esta limitación, algunos nutrientes con carga negativa, como el nitrato, son particularmente susceptibles a ser arrastrados por el lavado (6).

2.1.4 Fertilización edáfica

Es la técnica de aplicación dirigida de fertilizante a la base de la planta, en el suelo, con el objetivo de que los nutrientes se desplacen lo más cerca de la región de absorción del sistema radicular y la planta pueda asimilarlos. Usualmente se utilizan fertilizantes sólidos granulados, que se aplican con poca frecuencia en el tiempo, permitiendo que los nutrientes permanezcan en el suelo durante un lapso prolongado mientras son absorbidos por la planta (7).

2.1.5 Análisis de Suelo

El análisis de suelo es un proceso por el cual se determina la composición química, física y biológica del suelo en una ubicación específica en un momento determinado. Se utilizan diferentes técnicas para medir propiedades como la acidez, la textura, los niveles de nutrientes, la materia orgánica y la presencia de microorganismos. El análisis de suelo es importante para evaluar la calidad y fertilidad del suelo, y para tomar decisiones informadas sobre el manejo de los cultivos y la aplicación de fertilizantes (8).

2.1.6 Análisis de tejido

El análisis fitoquímico, también conocido como análisis del tejido vegetal, se utiliza comúnmente para evaluar el estado nutricional de las plantas para así determinar la necesidad de fertilización u otros tratamientos. Se toman muestras de las hojas, peciolo, tallos o frutos de las plantas, y se realizan pruebas para medir la concentración de nutrientes y otros compuestos, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y manganeso (9).

2.2 Marco referencial

2.2.1 Origen del banano

Uno de los productos agrícolas más consumidos y demandados en todo el mundo es el banano. Esta fruta tuvo su origen en el Sureste Asiático. El banano llegó al continente americano durante la época de colonización española, gracias a la distribución y migración de los propios nativos. Es asombroso observar cómo una fruta que se originó en una región específica se ha extendido por todo el mundo y se ha vuelto en un componente esencial de la alimentación de muchos individuos. Además, el hecho de que el banano haya sido introducido en América Latina durante la época de la colonización es un testimonio de cómo el intercambio cultural y el comercio han tenido un impacto significativo en la historia del mundo y en la alimentación de las personas en diferentes partes del globo (10).

A lo largo del tiempo, el banano ha sido objeto de procesos de mejoramiento genético. Estos procesos se basan en las dos especies silvestres de banano: *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*. Mediante técnicas de hibridación y poliploidía, se han logrado generar variedades que son utilizadas en los cultivos actuales (11).

2.2.2 Descripción botánica

El banano es un vegetal de tipo perenne, cuenta con un rizoma corto y pseudotallo, que es el resultado de la unión de las vainas foliares, con una altura de 3 a 6m de forma conoidal, terminado en una corona de hojas, la emisión de las hojas y de la inflorescencia va a depender de la zona climática donde se encuentre la planta (12).

Las raíces de la planta de banano son superficiales, estas se distribuyen en un radio de 30 cm del suelo. Su estructuración se basa en raíces primarias, secundarias y terciarias. Dentro la ramificación de las raíces primarias encontramos raíces verticales que son aquellas que se encargan del anclaje y las raíces horizontales que son las alimentadoras. Las raíces pueden lograr alcanzar un largo de 1,5 a 2 metros (13).

Las hojas de banano son grandes, de 2.4 m de largo y 0.5 m de ancho. Las hojas cuando llegan a su punto de maduración o senescencia llegan a romperse por motivos de viento, durante las etapas de crecimiento y desarrollo de la planta de banano se puede observar algunos tipos de hojas las cuales podemos identificarlas como: hojas embrionarias, hojas angostas tipo espadas y hojas anchas o funcionales (12).

La planta de banano en sí lo que se presenta de manera vertical es un pseudotallo que se da mediante la unión de las vainas foliares (chanta), el verdadero tallo de la planta es el rizoma, contiene gran reserva de almidón, subterráneo. A partir del rizoma se originan yemas que son los retoños de la planta madre (14).

La inflorescencia de la planta banano es una estructura muy compleja, la inflorescencia se sostiene desde el rizoma que a partir de ahí se da su crecimiento hasta emerger una vez que la hoja cigarro allí sido emitida. El androceo o flor femenina aparecen primero, el ovario se desarrolla el fruto sin semillas mediante el proceso de partenocarpia (15).

2.2.3 Banano Williams

El banano híbrido Williams es una variedad de banano que se caracteriza por su alta productividad, calidad de fruta y resistencia a enfermedades. Es una variedad triploide que se desarrolló a partir de la hibridación de dos tipos de banano indómitos (*Musa acuminata* y *Musa balbisiana*) (16).

Desde el punto de vista agronómico, el banano Williams es una especie perenne que crece hasta una altura de alrededor de 3,5 – 4,0 metros. Es una variedad que requiere una alta fertilización, especialmente de potasio, y requiere una cantidad adecuada de agua y luz solar para un buen crecimiento. Se cultiva mejor en suelos bien drenados con un pH entre 5,5 y 7,0. Para lograr una buena producción y calidad de fruta. Además, necesita un manejo adecuado del agua, ya que es sensible al exceso y la falta de riego (16).

Otro aspecto importante es el manejo de plagas y enfermedades, ya que el banano Williams es susceptible a diferentes patógenos, como *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*, cuyo agente causal de la marchitez vascular del banano una de las principales enfermedades en el cultivo de banano. En cuanto al manejo de la plantación, se recomienda la aplicación de prácticas culturales adecuadas, como la eliminación de hojas enfermas y la poda de las hojas inferiores para mejorar la aireación y reducir la humedad en el racimo de banano (16).

Los grupos de esta variedad tienden a ser más cónicos que los enanos grandes y requieren una poda manual más precisa para manipularlos. La variedad Williams ha demostrado una excelente adaptabilidad a condiciones adversas, lo que la convierte en la primera opción para muchos productores, especialmente en áreas con suelos más pobres, calidad del agua limitada y temperaturas más frías (17).

A nivel de cultivo, la variedad Williams destaca por su alta productividad y calidad de fruto. Su apariencia se caracteriza por ser una planta semi-enana con fuertes pseudotallo y un extenso sistema radicular, lo que la hace más resistente al viento, Sin embargo, vale la pena señalar que el cultivar Williams es altamente susceptible a nematodos y sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) (17).

2.2.4 Nutrición en el cultivo de banano

La nutrición ocupa un papel central y esencial en la producción del cultivo de banano. Las plantas de banano exhiben una notable eficiencia en la conversión de recursos en biomasa, lo que les permite generar una cantidad significativa de masa vegetal en un período relativamente corto. El crecimiento y desarrollo de las plantas de banano están intrínsecamente vinculados a procesos fisiológicos complejos, entre los que destacan la fotosíntesis y la respiración. Estos procesos metabólicos son responsables de la producción de carbohidratos, proteínas y otros compuestos necesarios para la formación y desarrollo del racimo de banano. (18)

Las plantas exhiben una característica autotrófica fundamental, ya que mediante el proceso de fotosíntesis, logran la conversión de la energía solar en energía química. Este mecanismo es primordial para la producción de carbohidratos, los cuales constituyen la fuente principal de energía y materiales estructurales necesarios para su crecimiento. Paralelamente, la respiración desempeña un papel crucial al liberar la energía previamente almacenada en los carbohidratos, permitiendo a la planta llevar a cabo sus procesos fisiológicos esenciales, lo que, en última instancia, contribuye al crecimiento y desarrollo óptimos de la planta (19).

La eficacia de estos procesos fisiológicos está estrechamente relacionada con la disponibilidad de nutrientes minerales adecuados en el suelo. Una nutrición mineral apropiada proporciona a las plantas los elementos esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y otros oligoelementos, que actúan como cofactores en las reacciones metabólicas clave. La falta o el exceso de estos nutrientes puede tener un impacto significativo en el rendimiento y la calidad del cultivo de banano (18).

Por lo tanto, la fertilización es un factor clave en el manejo del cultivo de banano, ya que asegurando una nutrición adecuada que favorecemos a la calidad y el peso del racimo. Aunque es necesario un suministro adecuado de nutrientes para lograr un alto rendimiento, la fertilización por sí sola no garantiza una cosecha abundante, ya que existen muchos otros factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La magnitud y combinación de estos factores son los que determinan el rendimiento final (18).

2.2.5 Suelos

El cultivo de banano para su óptimo crecimiento y desarrollo necesita suelos que presenten una textura franca, arenosa, franco arcilloso, franco limoso, sobre todo fértiles, con una buena capacidad de campo y profundos para el correcto crecimiento radical. El cultivo de banano tiene una gran tolerancia a la acidez del suelo, rangos de pH entre 4,5-8, siendo óptimo un 6,5 (20).

2.2.6 *Desarrollo del sistema radical en Banano*

2.2.6.1 *Sistema radical.*

El sistema radicular de los bananos es fibroso y fasciculado. Las raíces primarias, secundarias, terciarias y los tricoblastos forman su estructura. Las raíces primarias surgen del rizoma, el verdadero tallo. Las raíces secundarias y terciarias se emiten cerca de la punta de las raíces primarias y secundarias (21).

La producción de raíces durante los primeros meses del crecimiento vegetativo es abundante. Algunos retoños (es la secuencia de la planta madre) con un sistema foliar poco funcional logran tener un sistema de raíces bien ramificado y desarrollado. Por lo que la emisión de las raíces del retorno es muy independiente al desarrollo foliar (22).

Antes de la floración, la planta madre deja de emitir raíces. Las raíces disminuyen significativamente en tamaño como resultado de la diferenciación floral. Las raíces más largas son particularmente vulnerables al deterioro durante la etapa reproductiva del banano (22) (23).

2.2.6.2 *Factores que limitan el crecimiento y desarrollo de raíces.*

El crecimiento y desarrollo adecuado de las raíces es esencial para asegurar un anclaje sólido de la planta, recibir suficiente agua y nutrientes y tener la capacidad de sintetizar fitohormonas, que regulan su crecimiento. Estas fitohormonas incluyen las citoquininas, auxinas, giberelinas, etileno, ácido abscísico y ácido jasmónico. Varios estudios han demostrado que, durante el desarrollo del sistema radicular, la planta pierde alrededor de 10 gramos de sus raíces funcionales, lo que puede afectar su productividad (24)

Varios factores, tanto físicos como químicos, afectan el sistema de raíces del banano. Dado que los aspectos físicos del suelo tienen un impacto directo en la aireación y el movimiento de las soluciones en el suelo, es crucial considerar su estructura, resistencia a la penetración

de las raíces y densidad aparente. Por otro lado, en el aspecto químico, la presencia de elementos como sodio, aluminio, hierro y manganeso intercambiables puede causar un desequilibrio en la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes, lo que puede resultar en el deterioro del sistema de raíces del banano.

2.2.7 Suministro de nutrientes del suelo hacia las plantas

Uno de los componentes más importantes de los suelos son los coloides. Estas son partículas minerales, como las arcillas o la materia orgánica, que tienen en su superficie cargas eléctricas sin neutralizar, tanto negativas como positivas. Los nutrientes vegetales también contienen cargas eléctricas. Esto porque los nutrientes son átomos o moléculas que poseen electrones o protones sin neutralizar. Los cationes son aquellos con cargas positivas (por exceso de protones) se denominan bases o cationes, donde estos incluyen amonio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre. Los elementos con cargas negativas (por exceso de electrones) se denominan. Los aniones son nitrato, ácido fosfórico, sulfato, ácido bórico y molibdato (6).

Los nutrientes se unen a los coloides atraídos por sus cargas. Los nutrientes de carga positiva, o cationes, se unen a los espacios de los coloides con carga negativa, mientras que los nutrientes de carga negativa, o aniones, se unen a los espacios de los coloides con carga positiva. Como resultado, los nutrientes se mantienen en las capas superiores del suelo y las plantas pueden aprovecharlos. Sin esto, los nutrientes se perderían en los sustratos del suelo más profundos, donde la mayoría de las plantas no pueden absorberlos. El contenido de coloides es crucial para la fertilidad del suelo porque aumenta la capacidad de almacenamiento de nutrientes (6).

Las plantas absorben nutrientes mientras flotan en la solución del suelo. suelo. A medida que la planta absorbe el nutriente, es reemplazado por sustancias en solución. Aquellos coloides adheridos al suelo para mantener un cierto equilibrio. Se estima que alrededor del 98% Los nutrientes esenciales para las plantas se fijan en la materia mineral y orgánica del suelo, el 1,8 % está adherido al coloide y sólo el 0,2 % existe en la solución (6).

2.2.8 Translocación, distribución, asimilación los nutrientes

En la nutrición de los cultivos es de vital importancia saber de la translocación, distribución y asimilación de nutrientes. Estos elementos esenciales, presentes en el suelo, desempeñan un papel fundamental al ser conducidos desde su lugar de origen hasta las raíces de la planta. Una vez en las raíces, inician un complejo proceso de absorción y posterior transporte a través de la estructura vegetal, con el fin último de ser asimilados y aprovechados plenamente para cumplir funciones críticas en el metabolismo de la planta (24).

2.2.8.1 Acceso de las plantas a los nutrientes del suelo.

Para que la raíz pueda absorber los nutrientes del suelo, es necesario que su superficie entre en contacto con ellos. Este contacto puede ocurrir de dos maneras: por un lado, la raíz crece en busca de los sitios donde se encuentran los nutrientes (interceptación radical), y, por otro lado, los nutrientes son transportados desde el suelo hasta la superficie de la raíz a través de procesos como el flujo de masas y la difusión (24).

El proceso de absorción de nutrientes implica un intercambio de cargas eléctricas en la superficie de las raíces de las plantas. Los iones son transferidos entre las raíces y el suelo circundante, lo que permite que la planta absorba agua y nutrientes del suelo (24).

2.2.8.2 Intercepción radical.

Se refiere a la cantidad de nutrientes que están disponibles para la absorción por las raíces de las plantas. Se explica que estos nutrientes pueden estar en contacto directo con la superficie de las raíces en lugar de tener que moverse a través del suelo para llegar a ellas. La cantidad de nutrientes disponibles depende del volumen de suelo ocupado por las raíces, el tipo de raíces presentes y la concentración de nutrientes en el suelo. Para medir la cantidad de raíces presentes por unidad de volumen de suelo, se pueden usar diferentes medidas como el área de superficie radical, la longitud del sistema radical o el volumen de raíz (24).

2.2.8.3 *Movimiento de nutrientes del suelo hasta la superficie de la raíz.*

Para que las plantas puedan crecer y desarrollarse adecuadamente, es necesario que los nutrientes se muevan a través del suelo para llegar a la superficie de la raíz. La mayor parte de los nutrientes tienen que moverse a través de determinadas distancias en el suelo, y este proceso es crucial para el buen funcionamiento de la planta (24).

Cuando las raíces absorben agua y nutrientes del suelo, se crea un gradiente de concentración de nutrientes y potencial hídrico en el suelo. Este gradiente es esencial para que el agua y los nutrientes se muevan por flujo de masa y difusión. El flujo de masa se refiere a la transferencia de agua y nutrientes desde áreas de alta concentración a áreas de baja concentración, mientras que la difusión es la transferencia de nutrientes desde áreas de alta concentración a áreas de baja concentración (24).

Además, el proceso de transporte de nutrientes en el suelo puede ser influenciado por factores como la textura del suelo, la estructura del suelo, la presencia de microorganismos y la acidez del suelo. Por lo tanto, es importante entender cómo estos factores afectan la disponibilidad y movilidad de los nutrientes en el suelo para que las plantas puedan absorberlos de manera eficiente (24).

2.2.9 *Toma de nutrientes en plantas de banano*

La capacidad de las raíces para absorber los nutrientes K, NO₃, NH₄, P y Mn está estrechamente ligada a la presencia de mecanismos activos. Por otro lado, en el caso de microelementos como el Fe, Mo y B, es posible que se produzcan mecanismos de exclusión en las raíces cuando la oferta de estos nutrientes supera la demanda (24).

La proporción de NH₄⁺/NO₃⁻ tiene un efecto directo en la carga eléctrica y la liberación de protones por las raíces del banano. La mayoría de las plantas prefieren el nitrato como fuente de nitrógeno, pero el banano absorbe selectivamente el amonio. Cuando el amonio en el suelo se agota, el banano aumenta significativamente la absorción de nitrato (24).

Este aumento en la absorción de amonio en las raíces del banano puede disminuir la absorción de magnesio y provocar síntomas de deficiencia en este elemento. La absorción de calcio es regulada principalmente por convección, mientras que la absorción de magnesio se realiza conectivamente a bajas tasas de absorción de agua, pero a tasas más altas el proceso de transporte activo entra en juego (24).

La liberación neta de protones por las raíces del banano se relaciona cuantitativamente con un exceso de absorción de cationes en comparación con los aniones. Por lo tanto, la absorción intensa de iones K^+ y NH_4^+ provoca una fuerte liberación de acidez a través de las raíces del banano (24).

2.2.9.1 Bases intercambiables K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ .

Las Bases K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ son un conjunto de elementos químicos que juegan un papel importante en la fertilidad del suelo. Estos elementos son llamados bases debido a su capacidad para neutralizar la acidez del suelo y están disponibles en diferentes formas como sales minerales. Al mejorar la condición del suelo y su capacidad para retener nutrientes, las Bases contribuyen a una mejor producción agrícola (25).

Desde la perspectiva de la salud y desarrollo de las plantas, existen cuatro elementos fundamentales en el intercambio de suelos: Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Potasio (K^+) y Sodio (Na^+). De estos, tres son nutrientes esenciales para los cultivos (Ca, Mg y K), conocidos como Macronutrientes, ya que las plantas requieren grandes cantidades de ellos para crecer adecuadamente. De estos tres, el Potasio (K) es el más demandado, seguido por el Calcio (Ca) y luego el Magnesio (Mg) (25).

No obstante, en cuanto a su disponibilidad para las plantas desde el suelo, el Potasio (K) es considerado el macronutriente primario, pues es el primero en agotarse en los suelos. En otras palabras, la carencia de K suele manifestarse antes que la de Mg o Ca. Esto se debe, en parte, a las altas necesidades de las plantas de Potasio en comparación con Calcio y Magnesio y, por otro lado, a la cantidad relativa en la que se halla en el suelo, siendo Ca y Mg más abundantes que K (25).

El pH es crucial para la interacción entre los elementos y la fertilidad del suelo. En suelos neutros con un pH entre 6.2 y 7, La suma de Bases de Intercambio (SB) que incluyen Ca, Mg, K y Na representa el 100 % de la Capacidad de Intercambio Efectiva del Suelo (CICE). Esto indica que los cationes predominan en el complejo de intercambio sobre las cargas negativas de los coloides del suelo. Otros componentes de intercambio, como el aluminio intercambiable, comienzan a mostrarse a medida que el pH se vuelve más ácido. El aluminio (Al^{+3}) se vuelve dominante en las plantas bajo un pH de 5, lo que puede dañar el sistema radicular, reducir la absorción de nutrientes y provocar deformaciones (25).

Como derivación, a medida que el pH disminuye, aumenta el porcentaje de saturación de aluminio en el suelo. Esto se debe a que el Al aumenta en detrimento de una menor presencia de bases de intercambio. Por lo tanto, se puede concluir que, a mayor contenido de SB en el suelo, más difícil es acidificarlo. La SB indica el tipo de arcilla presente en el suelo y proporciona una estimación de su capacidad para acidificarse (25).

2.2.9.2 Relación de bases K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} en el suelo para el cultivo de banano.

El cultivo de banano requiere una proporción adecuada de cationes básicos, como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), y potasio (K^+), en el suelo para garantizar un crecimiento óptimo de las plantas. Estos cationes deben ocupar los sitios de intercambio catiónico del suelo en ciertas cantidades para evitar restricciones en el crecimiento de las plantas. En particular, la saturación de bases en el complejo de intercambio catiónico debe mantenerse en niveles específicos, como un 65% de Ca^{2+} , un 10% de Mg^{2+} , un 5% de K^+ y un 20% de una combinación de H^+ , Na^+ y NH_4^+ . Esto se traduce en proporciones de saturación de bases catiónicas de 6.5:1 para Ca: Mg, 13:1 para Ca: K, y 2:1 para Mg: K, o expresado como 13:2:1 para Ca: Mg:K. Este enfoque se conoce como el "porcentaje óptimo de saturación de bases catiónicas" y es crucial para el éxito del cultivo de banano. (26).

La presencia adecuada de estos nutrientes en el suelo permite una mejor absorción y asimilación de estos por parte de la planta, lo que se traduce en un mayor rendimiento y calidad del fruto. Además, la correcta relación de bases en el suelo contribuye tanto a la

mejora estructural como la capacidad de retener agua, lo que es esencial para el crecimiento y desarrollo de las raíces de la planta de banano.

Es importante destacar que un exceso de una determinada base en el suelo puede ocasionar desequilibrios nutricionales y reducir la absorción de otros nutrientes, por lo cual impactar desfavorablemente en el crecimiento y la producción de la planta.

2.2.10 Deficiencia nutricional

2.2.10.1 Mal de Balastro.

El "mal de balastro" es desorden fisiológico que se manifiesta en las hojas jóvenes de los bananos por la aparición de manchas cloróticas amarillas, dispuestas perpendicularmente a las nervaduras. Este síntoma está asociado a suelos arenosos con niveles de fertilidad bajo a medio, que limitan la absorción de iones, especialmente cationes como el calcio y el magnesio, que son esenciales para el correcto desarrollo de los cultivos (3).

Estos suelos tienen baja capacidad de intercambio catiónico y bajos niveles de fertilidad, lo que hace imposible que las plantas de banano absorban los nutrientes, lo que resulta en una reducción del tamaño y la calidad de la fruta, y una reducción del área fotosintéticamente activa de la planta, lo que reduce el vigor y el rendimiento del cultivo (3).

Es importante tener en cuenta que la incidencia del mal de balastro se lo asocia con los suelos de textura arenosa y con niveles de fertilidad bajos, por lo cual la mejoraría de las condiciones físico – química de los suelos mediante la aplicación de enmiendas para la corregir el pH del suelo y mejorar el intercambio catiónico, el subsolado del suelo. También es importante asegurarse de que las plantas reciban una nutrición adecuada a través de un correcto programa de fertilización y la realización de un seguimiento regular del estado nutricional del cultivo (3).

2.2.11 Fertilizantes

Los fertilizantes, sustancias ricas en nutrientes, desempeñan un papel fundamental en la mejora de las características del suelo para favorecer el desarrollo de los cultivos agrícolas. Son un insumo esencial para aumentar el rendimiento de los cultivos al garantizar un suministro adecuado de nutrientes del suelo a las plantas, satisfaciendo sus requerimientos y promoviendo su crecimiento. Mantener la fertilidad del suelo en niveles apropiados es crucial, y esto implica reponer los nutrientes que se agotan con el tiempo. Esta reposición puede ocurrir de manera natural, a través de la descomposición de materia orgánica, o de manera artificial mediante la aplicación de fertilizantes que contienen una combinación de nutrientes naturales o químicos. (27).

2.2.11.1 Nitrato de amonio.

El nitrato de amonio (NH_4NO_3) es un fertilizante inorgánico que sirve para la satisfacer la demanda de nitrógeno, la concentración de dicho nutriente esta entre 33-34 %. El nitrato de amonio ha mantenido su popularidad como fertilizante, en gran parte debido a su proporción equilibrada de nitrato y amonio. La fluidez de este fertilizante se da a través del agua en el suelo hacia las raíces, permitiendo su inmediata absorción por la planta. Por otro lado, la porción amoniacal es captada por las raíces y gradualmente transformada en nitrato por microorganismos del suelo. Los agricultores que buscan una fuente de nitrato disponible de manera instantánea para la nutrición de las plantas, encuentran en el nitrato de amonio una opción popular, debido a que minimizan las pérdidas por volatilización en comparación con los fertilizantes por ejemplo la urea, cuando se adhiere al suelo (28).

El nitrato de amonio a menudo se combina con otros fertilizantes, aunque estas mezclas no son adecuadas para un almacenamiento prolongado debido a la alta higroscopicidad del fertilizante. Su alta solubilidad hace que sea ideal para preparar soluciones destinadas a la fertirrigación o aplicaciones foliares (28).

2.2.11.2 Cloruro de potasio (*Muriato de potasio*).

Los fertilizantes ricos en potasio son una respuesta común a las deficiencias en las plantas. Cuando el suelo no puede proporcionar suficiente potasio (K) para los cultivos, es esencial suministrar este nutriente vegetal vital. El cloruro de potasio (KCl), la forma más común, también es conocido como muriato de potasio (muriato solía referirse a sales que contenían cloruro). El potasio siempre se presenta en minerales como el catión monovalente (K^+) (29).

Debido a su costo relativamente bajo y a su mayor contenido de K (entre el 50 y el 52 % en comparación con otras fuentes), el KCl es el fertilizante potásico más utilizado, se disuelve rápidamente en la humedad del suelo. Los iones K^+ se retienen en los lugares de intercambio con carga negativa presentes en las arcillas y la materia orgánica del suelo, mientras que los iones Cl^- se desplazan velozmente con el agua del suelo. Formas altamente puras de KCl pueden convertirse en fertilizantes líquidos o usarse en sistemas de riego (29).

2.2.11.3 Sulfato de Magnesio (*kieserita*).

La kieserita es un fertilizante que se compone de sulfato de magnesio monohidratado ($MgSO_4 \cdot H_2O$) o heptahidratado y se utiliza como fuente de magnesio y azufre en la agricultura, la kieserita se utiliza para proporcionar magnesio y azufre a las plantas. Además, también puede utilizarse como corrector de la acidez del suelo. Cuando se aplica al suelo, la kieserita se disuelve en agua y libera los iones de magnesio y sulfato. Los iones de magnesio son absorbidos por las raíces de las plantas y se utilizan para la síntesis de clorofila y otras funciones importantes. Los iones de sulfato pueden ser absorbidos directamente por las plantas y utilizados para la síntesis de proteínas y aminoácidos (30).

Los elementos implicados en la eficiencia del nitrógeno y en la síntesis de clorofila son factores críticos para tener en cuenta. En la mayoría de las estrategias de fertilización, ya sean aplicadas al suelo o a través de la pulverización foliar, suele pasarse por alto la inclusión

del azufre y el magnesio en los planes de nutrición. Esta consideración es esencial para fomentar un crecimiento, desarrollo y producción adecuados de los cultivos (31).

2.2.11.4 Sulfato de Calcio.

El sulfato de calcio (CaSO_4) es un fertilizante que aporta calcio y azufre al suelo. Calciofrut aporta una concentración de 40 % de Ca y 15 % de S, al ser aplicado al suelo, el sulfato de calcio se disuelve en agua y libera calcio y sulfato. El Ca es un elemento esencial para las plantas, permite la formación de paredes celulares y contribuye a la estructura de la planta. El azufre también es importante para la nutrición de las plantas, puesto que ayuda a la creación de proteínas y clorofila. Además de aportar nutrientes, el sulfato de calcio también mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y disminuye la compactación del suelo.

El sulfato de calcio puede interactuar con el intercambio iónico en el suelo al aportar calcio y sulfato. El calcio es un catión divalente que puede competir con otros cationes como el Mg, K y Na por sitios de intercambio en las partículas del suelo. En suelos con baja disponibilidad de calcio, la aplicación de sulfato de calcio puede aumentar la cantidad de calcio disponible para las plantas y mejorar la calidad del suelo (32)

Por otro lado, el sulfato es un anión que también puede competir con otros aniones como el cloruro, el nitrato y el fosfato por los sitios de intercambio aniónico en el suelo. El sulfato de calcio puede ayudar a desplazar otros aniones en el suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, como el fósforo.

Es importante tener en cuenta que el efecto del sulfato de calcio en el intercambio iónico dependerá de las características específicas del suelo y del cultivo en el que se aplique, así como de la dosis y la frecuencia de aplicación del fertilizante. Por lo tanto, se recomienda hacer una evaluación cuidadosa de las condiciones del suelo y las necesidades del cultivo antes de aplicar cualquier fertilizante al suelo (33).

2.3 Investigación Relacionadas

- Holguín (34) en la ciudad de Mocache, Ecuador, evaluó el efecto de la fertilización orgánica y química sobre las variables agronómicas del cultivo de banano, altura de planta y circunferencia de pseudotallo, el tratamiento uno (110 gramos de N, P, K, Mg por planta) presento los mayores promedios para cada una de las variables con 2,52 m, 75 cm.
- Quevedo (35) estudio el crecimiento del retorno (hijo secuencia) bajo la aplicación de macro y micronutrientes + microorganismo eficientes al pseudotallo de la planta cosechada de banano. Donde el tratamiento uno (T1= Microorganismos + Óxido de Zinc + Ácido Bórico + Nitrato de Potasio + Fossil Shell) presento un mayor promedio de altura del hijo aparición de 3,7 m.
- Montenegro (36) en la ciudad de Milagro, Ecuador, determino el efecto de enmiendas fertilizantes enriquecidas con micronutrientes en la etapa de desarrollo de un cultivo de banano (*Musa AAA*), el tratamiento T3 (diatomea + leonardita) presento los mejores promedios en las variables agronómicas a los 60 días como: altura de planta, circunferencia de pseudotallo, numero de hojas con los siguientes valores 2,37 m, 62,64 cm y 10,60 respectivamente.
- Bonilla (37) realizo una investigación para determinar el efecto de la eficiencia de diferentes nutrientes edáficos a distintos niveles de fertilizantes en el cultivo de banano donde se evaluaron variables agronómicas como la altura de la planta, diámetro de pseudotallo y número de hojas, en estas variable no existieron diferencias significativas pero el tratamiento 2 (T2 = N-P-K S-Zn-Mg) demostró una mayor altura, 2,87 m y variable circunferencia de pseudotallo tampoco existió diferencias estadísticas.

- Álvarez (3), por su parte, constato el efecto de la aplicación del raquis floral picado de banano + rizobacterias sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fisiológico “Mal de balastro”, al analizar las variables de altura de planta, diámetro del pseudotallo y número hojas. Donde sus tratamientos evaluados no demostraron diferencias significativas pero el tratamiento 3 (T 3 = pinzotes + rizobacterias) con un promedio de 2, 71m, 18,54 cm, 11,74 respectivamente. En la variable incidencia y severidad del “Mal de balastro” el tratamiento 2 (T2 = pinzote picado) obtuvo un menor porcentaje de incidencia en el promedio ponderado de infección (PPI) el tratamiento 3 (T3 = pinzote picado + microorganismos) presento un promedio de infección de 2,26, es decir que la manifestación promedio del mal de balastro fue estadio 2 considerado nivel moderado.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización de la investigación.

La investigación se llevó cabo en las plantaciones comerciales de banano del Grupo Reybanpac en las Haciendas Jota Jota (0°59.895' S, 79°29.723' W) y Zulema 1 (0°42.787' S, 79°28.092' W).

Tabla 1

Información de la Investigación

Área de Investigación	
Zona:	San Juan/Fumisa
Hacienda:	Jota Jota/Zulema 1
Lote:	Varios
Variedad:	Williams
Edad del cultivo:	> 3 años
Duración:	4 meses

3.2 Características Climáticas del lugar de investigación

Tabla 2

Características climática del lugar de investigación

Hacienda	T °C Máxima	T °C Mínima	% HR	P Mm/año
Jota Jota	31	21	74	2219
Zulema 1	29	21	70	2554

Nota: T°C Máxima: Temperatura Máxima, T°C Mínima: Temperatura Mínima, HR: Humedad Relativa:

Precipitación, P Mm/año: Precipitación milímetro /año.

Fuente: Estaciones Meteorológicas Haciendas Jota Jota y Zulema 1

3.3 Tipo de investigación.

La investigación fue de tipo experimental, narrativo, descriptivo, explicativo, cuantitativo y comparativo. Se determinaron los efectos de cada una de las alternativas nutricionales utilizadas para corregir el Mal de balastro en las plantaciones comerciales de banano de las Haciendas Jota Jota y Zulema 1, que forman parte del grupo Reybanpac.

3.4 Fuentes de recopilación de información.

La información obtenida y aplicada en este proceso de investigación se la obtuvo de dos tipos de fuentes:

Fuentes primarias: Esta se dio mediante la observación directa y el registro de los datos que se vayan obteniendo durante el proceso experimental.

Fuentes secundarias: Es aquella que proviene de los libros, artículos, revistas, publicaciones, manuales técnicos y demás fuentes confiables.

3.5 Tratamientos.

Los tratamientos empleados para la realización de esta investigación fueron cinco: T1 (Testigo); T2 (Sulfato de Magnesio); T3 (Sulfato de Calcio); T4 (Bases $K_2O+MgO+CaO$); T5 (Nitrato de amonio).

Tabla 3*Código de los tratamientos*

Tratamientos			
Código de los tratamientos	Descripción	Tipo de aplicación	Dosis kg/ha/año
T1	Testigo comercial	Edáfica	Dosis finca
T2	MgSO ₄	Edáfica	150
T3	CaSO ₄	Edáfica	150
T4	Bases K ₂ O+MgO+CaO	Edáfica	200+200+150
T5	NH ₄ NO ₃	Edáfica	150

Elaborado: Autor

3.6 Diseño de la Investigación.

Se empleó un diseño en bloques completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Esto generó un total de 20 unidades experimentales. Estas unidades fueron dispuestas a lo largo de ambos lados de la vía del cable, con un bloque enfrentado al otro y separados por canales terciarios.

Tabla 4*Esquema del análisis de varianza utilizado en la investigación*

Fuentes de variación	Fórmula	Grados de libertad
Tratamiento	t-1	4
Bloques	r-1	3
Error	(r-1) (t-1)	12
Total	tr-1	19

Elaborado: Autor

El modelo matemático del diseño experimental que se aplicará es:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación del tratamiento i en el bloque j

μ = La media general del experimento

α_i = El efecto de los tratamientos

β_j = El efecto de los bloques

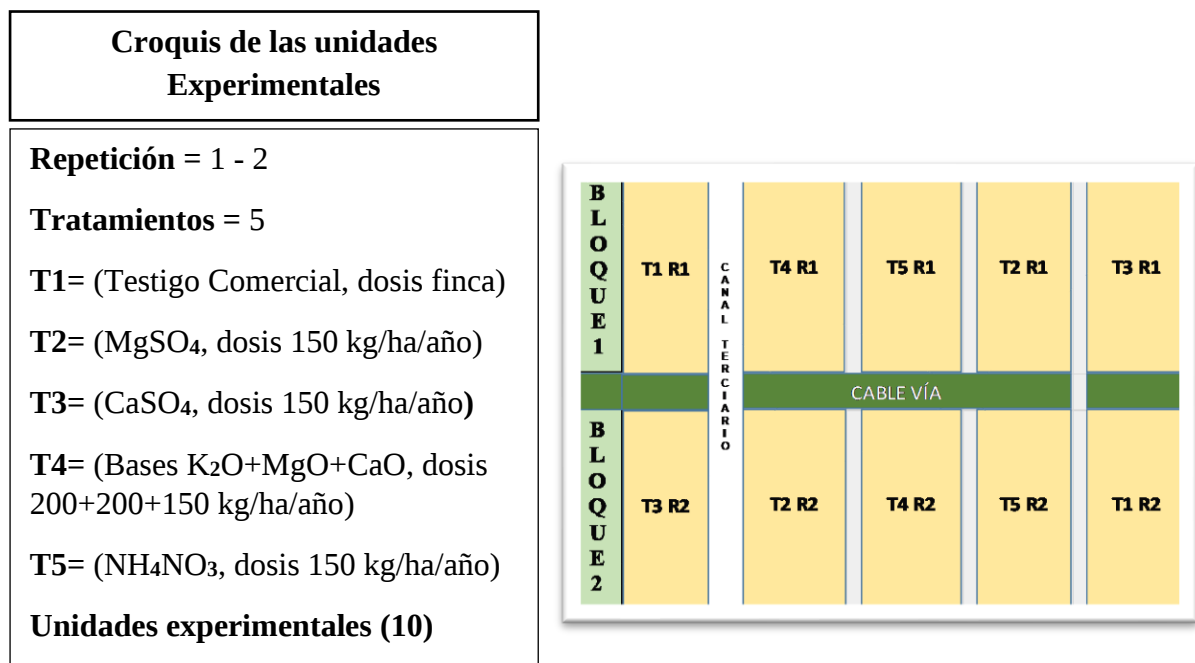
ε_{ij} = El efecto del error

3.7 Croquis Experimental.

3.7.1 Bloque I Y Bloque II “Hacienda Jota/Jota”

Tabla 5

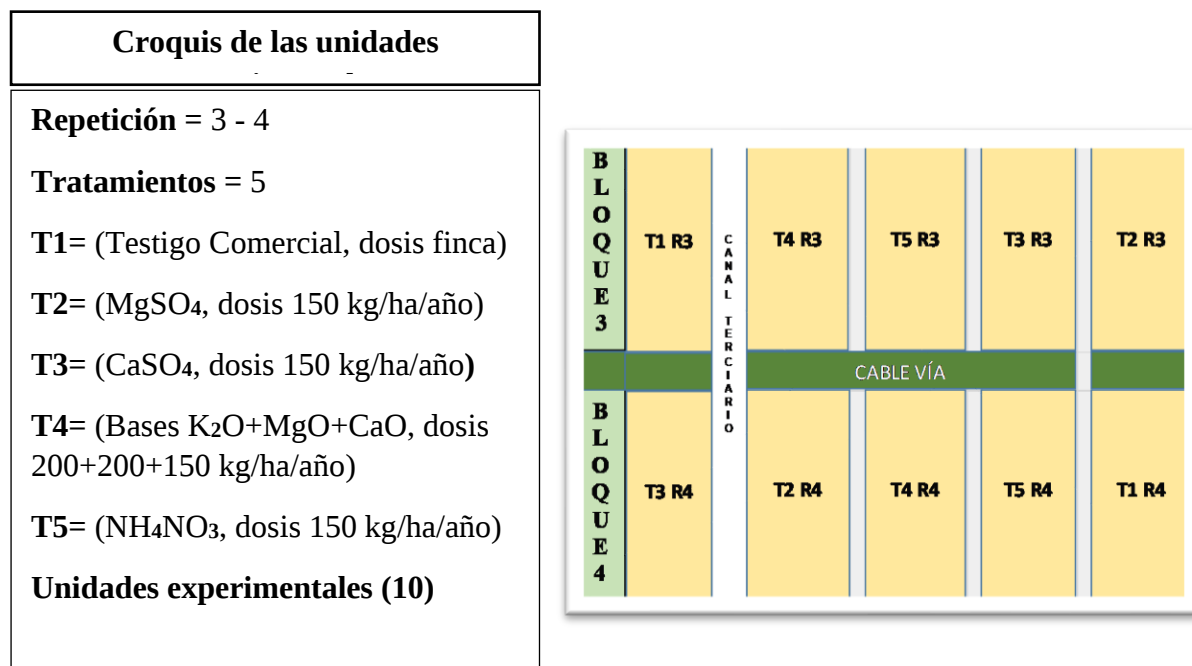
Croquis Experimental (I y II)



3.7.2 Bloque I Y Bloque II “Hacienda Zulema I”

Tabla 6

Croquis Experimental (III y IV)



3.8 Manejo de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos se realizó en dos haciendas perteneciente a la empresa REYBANPAC en cada hacienda se contó con 2 bloques, los tratamientos fueron divididos al azar. En el tratamiento 1 se aplicó la fertilización normal de REYBANPAC siendo este nuestro testigo de la investigación, cuya fórmula de fertilización es (FRT 16-4-22-4-6-2Ca-0.3Zn-0.4B 50KG) con una dosis de 121g por planta, la aplicación se realizó cada 4 semanas. En el tratamiento 2 se empleó sulfato de magnesio “Kieserita” con una dosis por planta de 150g, la aplicación se realizó cada 8 semanas. En el tratamiento 3 se incorporó sulfato de calcio “Calcio Frut” con una dosis de 100g por planta, la aplicación se realizó cada 8 semanas. En el tratamiento 4 se incorporó bases (K₂O+MgO+CaO) con una dosis de 50-50-75 gramos respectivamente por planta, la aplicación de este tratamiento se realizó cada 4 semanas. En el tratamiento 5 nitrato de amonio con una dosis de 100g por planta, se aplicó cada 8 semanas.

3.9 Manejo del Experimento.

A lo largo de este estudio, se llevaron a cabo todas las labores agrícolas esenciales para garantizar un desarrollo productivo óptimo del cultivo. Estas acciones incluyeron medidas de protección de las plantas, que abarcaron el control de nematodos, malezas, enfermedades y plagas. Además, se implementó la fertilización tanto edáfica como foliar, se aplicaron enmiendas utilizando carbonato de calcio.

Al comienzo de la fase experimental, se llevaron a cabo la identificación de las unidades experimentales y la selección de las plantas que serían objeto de seguimiento. Se llevaron a cabo muestreos de raíces, tejidos y suelo al inicio del experimento, posteriormente a los 3 meses y luego a los 4 meses. Estos procedimientos de muestreo se basaron en la metodología proporcionadas por REYBANPAC, estableciendo que las plantas a muestrear debían encontrarse en etapas de prontas o cero semanas con un máximo de dos brácteas abiertas, con una altura de hijo de sucesión superior a 1,75 metros.

3.10 Variables.

3.10.1 Variables asociadas al mal de balastro

En cada unidad experimental, se evaluó 30 plantas con y sin síntomas de mal de balastro, en la evaluación se determinó, la incidencia, el grado de severidad del mal de balastro y promedio de infección en cada unidad experimental según la escala de sintomatología.

3.10.1.1 Incidencia de mal de balastro.

Para determinar la incidencia del mal de balastro, se toman las plantas de cada unidad experimental y se cuentan las hojas afectadas. Luego, se divide el número de hojas afectadas por el total de las hojas muestreadas y se obtiene un valor porcentual.

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Número de hojas infectadas}}{\text{Total de hojas muestreadas}} \times 100$$

3.10.1.2 Grado de severidad del mal de Balastro.

El porcentaje de grado del mal de balastro se multiplicó por el grado correspondiente en la escala de severidad y luego se multiplicó por 100. Para calcular un valor de severidad confiable, Se calculó el porcentaje de grado para cada nivel en relación con el número total de hojas evaluadas.

$$\% \text{ Grado } n = \frac{\text{Número de hojas infectadas grado } n}{\text{Total de hojas muestreadas}} \times 100$$

La evaluación del mal de balastro se la determinará a través de estados de severidad, a continuación, detallare estos:

Estado 0. Normal. Es aquel donde no percibimos síntomas, las hojas se observan completamente sanas.

Estado 1. Aquí podemos observar los síntomas iniciales que son líneas o lesión de coloración amarillas perpendiculares a la nervadura.



Figura 1 Estado 1. *Mal de Balastro*

Estado 2. Moderado. Presenta lesiones más extensas y las primeras manchas necróticas en el área foliar.

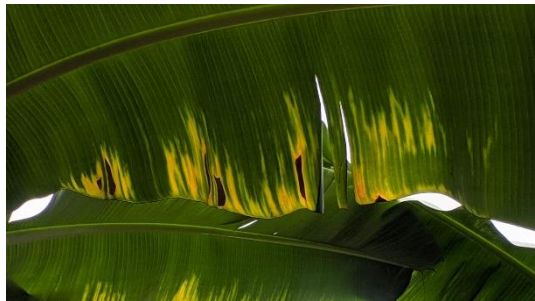


Figura 2 Estado 2. *Mal de Balastro*

Estado 3. Severo. Las líneas se tornan en áreas necróticas, a su alrededor de ellas se encuentran grandes parches anaranjados, lo cual afecta el área fotosintética de la hoja.



Figura 3 Estado 3. *Mal de Balastro*. (3)

3.10.2 Variables morfológicas

3.10.2.1 Altura de hijo de sucesión (metros).

Se procedió a medir la altura de sucesión de los hijos de las plantas que tenían cero semanas de edad, utilizando como referencia la "V" formada por las últimas hojas emitidas. Todas las mediciones se llevaron a cabo en metros. Se seleccionaron un total de 30 plantas con y sin síntomas de mal de balastro. Estas plantas fueron marcadas con números para facilitar su seguimiento. A lo largo de la prueba, se evaluaron y registraron continuamente estas plantas hasta su conclusión.

3.10.2.2 Emisión foliar.

El registro de esta variable se dio tomando como referencia la hoja uno aquella completamente expandida con ancho mayor a 20 cm con la ayuda de un lápiz bananero se realizó una marca en la hoja uno y luego a los 30 días se obtuvo el número de hojas que emitió la planta luego de la aplicación del fertilizante edáfico.

3.10.2.3 Número de hojas.

Para la obtención de registro de esta variable se realizó el conteo del número total de hojas presentes en cada planta de las diferentes unidades experimentales.

3.10.2.4 Circunferencia de hijo.

Se procedió a medir la circunferencia del pseudotallo a una altura de 1 metro. Todas estas mediciones se registraron en metros.

3.10.3 Químicas y Sanitarias

3.10.3.1 Análisis químicos de suelos y tejidos.

Se llevó a cabo un análisis químico del suelo para cada uno de los tratamientos. Esta evaluación se realizó al inicio del experimento para ambos análisis. Luego, a los 3 meses de haber iniciado el experimento, se realizó el análisis de tejidos, y finalmente, a los 4 meses, se llevó a cabo el análisis de suelos. Dentro de las variables examinadas en estos análisis se incluyeron la Capacidad de Intercambio Catiónico, concentración de las bases intercambiables, CICE, así como el pH del suelo. En cuanto al análisis de tejidos, se determinó la cantidad de macronutrientes presentes en las hojas de las plantas. Las muestras se obtuvieron de plantas en etapa de cero semanas, siguiendo la metodología establecida por RBP.

3.10.3.2 Porcentaje de raíces vivas y sanidad radicular.

En las áreas que fueron sometidos a los tratamientos, así como en el lote testigo, se recolectó una muestra de raíces, la cual consistió en la combinación de raíces de 5 plantas. Este proceso se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida por Reybanpac. Las tomas de muestra se efectuaron al inicio del ensayo y nuevamente a los 3 meses de su inicio. Posteriormente, estas muestras fueron enviadas al laboratorio de nematología denominado "ANEMAGRO".

3.11 Recursos humanos y materiales

3.11.1 Recursos Humanos

El proyecto de investigación se llevó a cabo con instrucciones teóricas y prácticas de los Ingenieros Camilo Dulcey, Tomas Narváez, Jean Onofre analistas técnicos de la empresa REYBANPAC, Dr. Egbert Spaans, asesor técnico de la empresa REYBANPAC, director del proyecto Dr. Gregorio Vásquez Montufar y el autor del proyecto de investigación, José Castillo Espinoza.

3.11.2 Materiales y equipos

3.11.2.1 Material vegetal experimental.

Plantas de banano (*Musa acuminata*) variedad Williams AAA (Edad: > 3 años).

3.11.2.2 Materiales de campo y oficina.

▪ Fertilizantes	▪ Podón	▪ Botas	▪ Zunchos
▪ Lápiz bananero	▪ Fundas plásticas	▪ Laptop	▪ Carpeta
▪ Barreno	▪ Etiquetas de muestreo	▪ Impresora	▪ Tablero
▪ Desinfectante	▪ Flexómetro	▪ Hojas A4	▪ Libro de campo
▪ Curvo	▪ Palilla	▪ Celular	▪ Calculadora

3.11.2.3 Software.

- Paquete de Microsoft Office 365 (Word, Excel)
- Paquete estadístico Infostat.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados.

4.1.1 Variables asociadas al mal de balastro

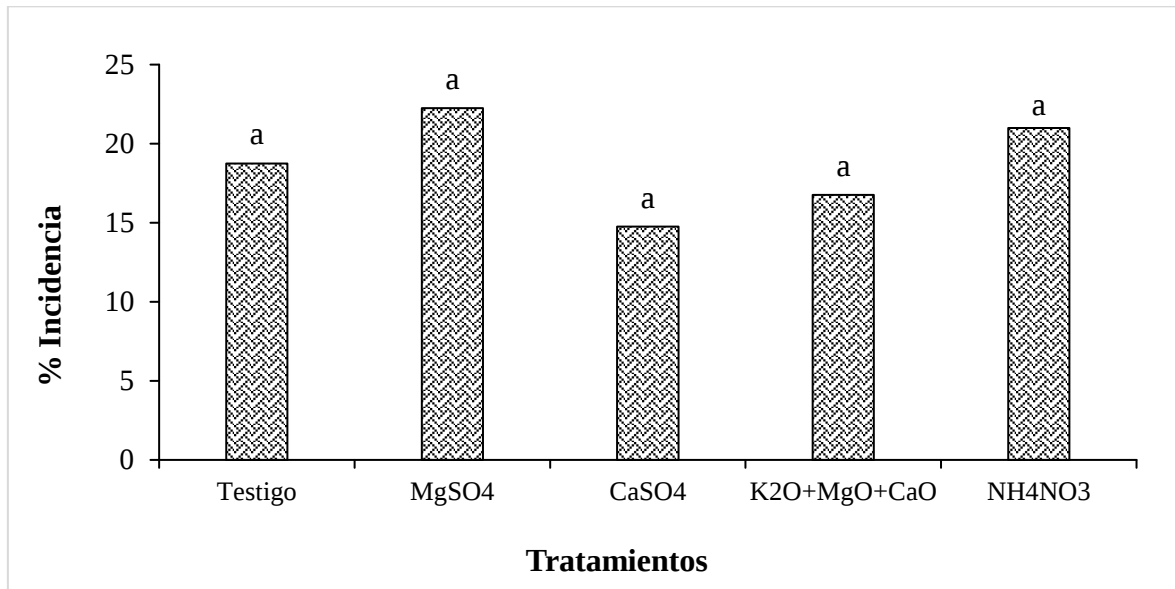
4.1.1.1 Incidencia del mal de balastro.

El porcentaje de la incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (madres) previo al inicio de la investigación bajo la prueba de Tukey (Figura 4) no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0,05$). Estas plantas se encontraban en etapa de prontas y cero semanas, la incidencia del mal de balastro se observa un comportamiento similar entre las áreas de tratamientos, sin embargo, el mayor porcentaje de incidencia se presentó a las áreas de los tratamientos T2 (Sulfato de magnesio) y T5 (Nitrato de amonio) con porcentajes de 22,75 y 21 % respectivamente.

Cuando el daño por mal de balastro es severo, únicamente la hoja uno o la que se está desenrollando se encuentra libre de síntomas, las manifestaciones iniciales y moderadas del mal de balastro generalmente se presentan desde la segunda hasta la sexta hoja, después de esta hoja es donde se acentúan la necrosis foliar. La necrosis a nivel foliar provoca una reducción de la capacidad de fotosíntesis de la planta, esto induce a la merma y descenso en rendimiento de producción.

Figura 4

Porcentaje de Incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (madres).



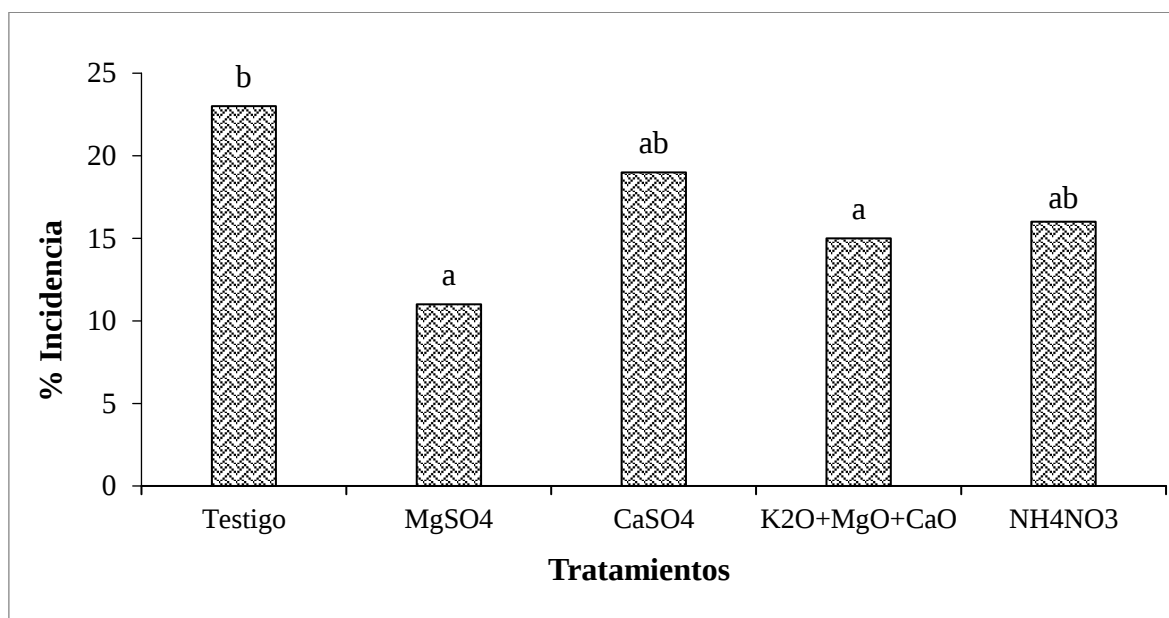
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El porcentaje de la incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (hijos de sucesión) al final trabajo investigativo bajo la prueba de Tukey si existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$).

La (Figura 5) que muestra las medias de los diferentes tratamientos demuestra que, importante. El tratamiento con sulfato de magnesio (MgSO₄) tiene un media de incidencia de 10,50 %. Esto sugiere que las diferencias entre la media de MgSO₄ y los otros tratamientos son estadísticamente significativas, ya que no comparte letras con ningún otro tratamiento exceptuando al T4 (K₂O+MgO+CaO).

Figura 5

Porcentaje de Incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (hijos de sucesión).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

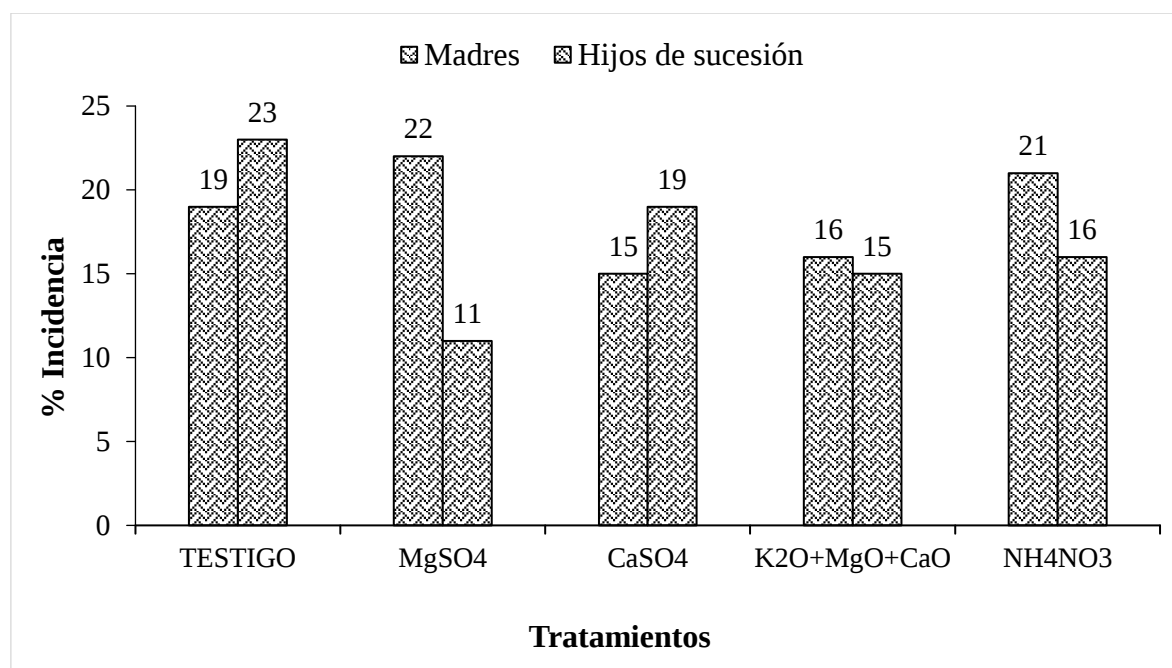
La (Figura 6) contrasta el porcentaje de incidencia del mal de balastro entre las plantas de banano (madres) frente a las plantas de banano (hijo de sucesión) de cada unidad experimental, a partir de aquello se determinó el efecto de cada uno de los tratamientos aplicados.

El tratamiento testigo tuvo un mayor porcentaje de incidencia, plantas madre 19 %, hijo de sucesión 23 %. El tratamiento de sulfato de magnesio (MgSO₄) mostro una significativa reducción de 22 % a 11 % de incidencia. El tratamiento de sulfato de calcio (CaSO₄) mostro un aumento de incidencia de 15 % a 19 %, en base a ese porcentaje incidencia y la corroborar mediante el análisis de suelo esto se debe que la aplicación de (CaSO₄) provoco un aumento de calcio por lo cual un desequilibrio en la relación Ca/Mg.

Álvarez (3) en su investigación sobre el efecto de la aplicación del raquis floral picado de banano + Rizo bacterias sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fisiológico “Mal de balastro” realizada en Río frío, Sarapiquí, Heredia – Costa Rica donde no encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos, numéricamente el tratamiento tres (pinzotes + Rizo bacterias) presento un menor porcentaje de incidencia de la sintomatología del mal de balastro 77 %, lo que indica que un porcentaje igual alto de incidencia, contrastando con el resultado dado en la investigación realizada donde la aplicación de sulfato de magnesio presento un menor porcentaje de incidencia de 11 %.

Figura 6

Comparación del porcentaje de incidencia del mal de balastro entre madre e hijo de sucesión.

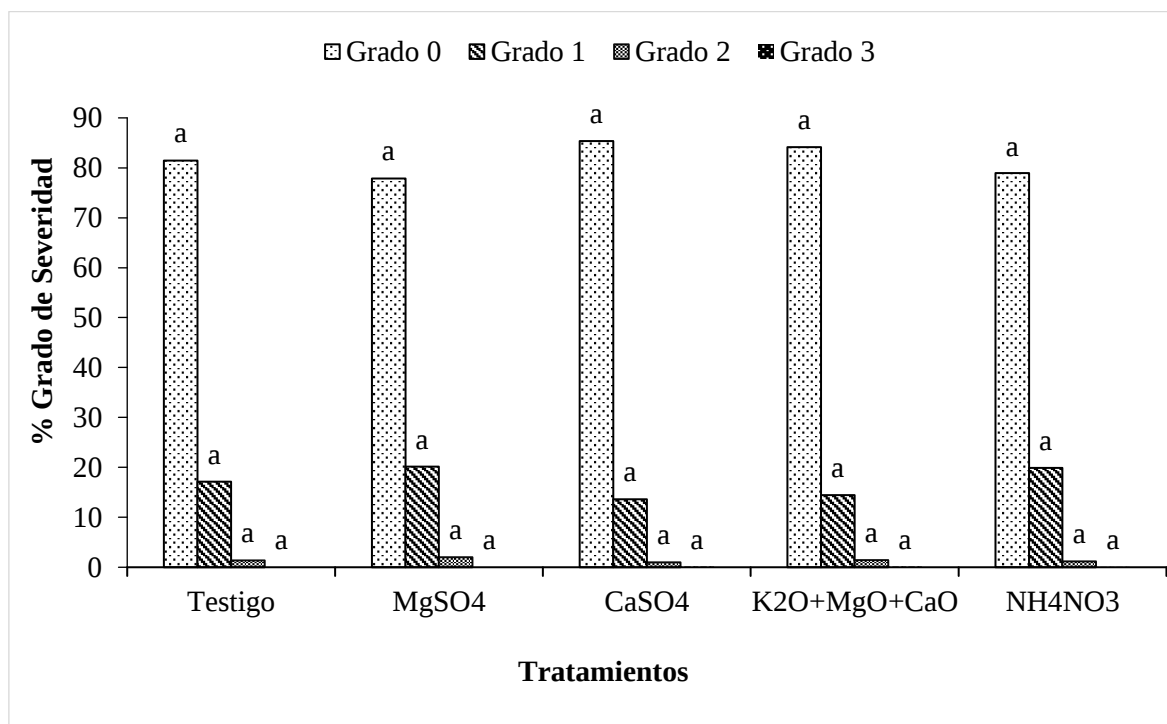


4.1.1.2 Grado de severidad del mal de Balastro.

Para la variable de grado de severidad no se mostró diferencias significativas ($P > 0,05$) en las plantas de banano (madres) bajo la prueba de Tukey (Figura 7).

Figura 7

Evaluación del grado de incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (madres).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

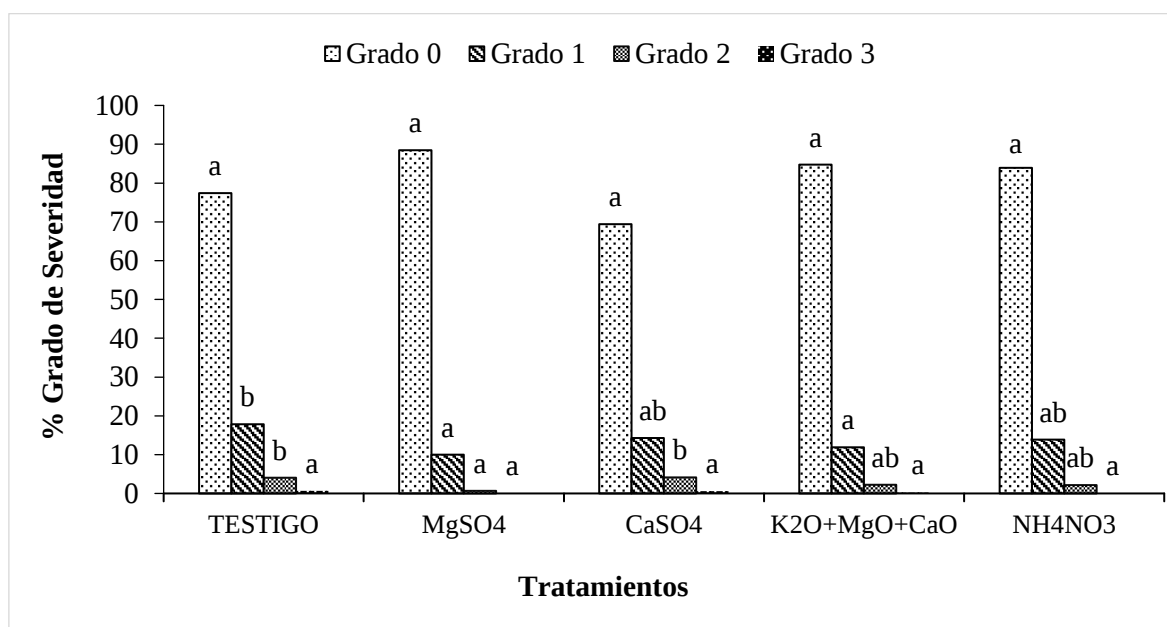
La evaluación del grado de severidad en las plantas de banano (hijo de sucesión) presento diferencias significativas ($p \leq 0,05$) bajo la prueba de Tukey en los grados 1 y 2 (Figura 8).

Los tratamientos con (MgSO₄) y (K₂O+MgO+CaO) mostraron porcentajes más bajos de 9.98% y 11.88%, respectivamente, en el grado 1 de severidad, que se considera como síntomas iniciales.

El menor porcentaje para grado 2 de severidad los registro el tratamiento (MgSO₄) con un valor de 0,66 % los síntomas de este grado son moderados.

Figura 8

Evaluación del grado de incidencia del mal de balastro en las plantas de banano (hijos de sucesión).



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.2 Variables morfológicas

4.1.2.1 Altura de hijo de sucesión (metros).

Respecto a la variable altura del hijo de sucesión bajo el efecto de los tratamientos evaluados (Testigo, MgSO₄, CaSO₄, K₂O+MgO+CaO, NH₄NO₃), no se observaron diferencias estadísticas a los 30 y 60 días según el ANOVA ($P > 0,05$).

Los resultados más notables surgieron en a partir de los 90 días, donde se identificaron diferencias, significativas en la altura de los hijos de sucesión entre los distintos tratamientos ($p \leq 0,05$). En este contexto, el tratamiento T3 (Sulfato de calcio) a los 150 días mostró un promedio más alto con 3,32 m (Tabla 7).

Holguín (34), dispone que entre las fuentes de fertilización orgánica y química existen diferencias significativas, donde el promedio general de altura de plantas, el tratamiento uno (T1 = 110 gramos de N, P, K, Mg por planta) presento los mayores promedios para cada una de las variables con 2,52 m, mientras que Montenegro (36), en su trabajo investigativo presenta que la altura alcanzada por la planta a los 60 días luego de la aplicación de enmiendas fertilizantes enriquecidas con micronutrientes en dosis dirigida, T3 (diatomea + leonardita), es de 2,37 m, lo cual presento un menor crecimiento respecto a investigación realizada, donde el tratamiento T3 (MgSO₄) a los 60 días presento una altura del hijo de sucesión de 2,38 metros.

Tabla 7

Altura de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

Tratamientos	Altura de planta (m)				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
T1 Testigo	2,07 a	2,29 a	2,57 a b	2,82 b	3,15 b
T2 MgSO ₄	2,00 a	2,38 a	2,67 a	2,97 a	3,28 a b
T3 CaSO ₄	1,94 a	2,37 a	2,59 a b	3,01 a	3,32 a
T4 K ₂ O+MgO+CaO	1,97 a	2,29 a	2,51 b	2,91 a b	3,22 a b
T5 NH ₄ NO ₃	2,02 a	2,36 a	2,61 a b	2,99 a	3,30 a
P. G	2,00	2,33	2,59	2,94	3,25
C. V. (%)	4,16	3,44	2,16	2,05	1,86

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.2.2 Circunferencia del hijo de sucesión.

En la variable circunferencia del hijo de sucesión, no se observaron diferencias estadísticas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días respectivamente según el ANOVA ($P > 0,05$). (Tabla 8) se presentan los promedios de circunferencia del pseudotallo del hijo de sucesión a lo largo del período de investigación.

Montenegro (36), en su investigación, trató la aplicación de enmiendas fertilizantes enriquecidas con micronutrientes en la etapa de desarrollo de un cultivo de banano (*Musa AAA*), registro que sí existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para la variable morfológica circunferencia de pseudotallo (cm), el dónde T3 (diatomea + leonardita) presento el mayor promedio 62,64 cm. Salvador (38), evaluó en el cultivo de banano niveles de fertilización de nitrógeno, fosforo, potasio y magnesio empleando una fuente de liberación controlada, donde determino diferencias significativas entre los tratamientos aplicados para la variable circunferencia de pseudotallo, donde la media general alcanzo 80 cm.

Los resultados permitieron alcanzar un promedio general de 78,16 cm a los 150 días. Esto contrasta con los valores obtenidos por Montenegro (36) y Salvador (38), la variabilidad en la respuesta de la planta a los nutrientes puede estar influenciada por factores como las condiciones del suelo y la planta misma, subrayando la importancia de entender las interacciones entre los nutrientes y las condiciones específicas del cultivo para comprender plenamente el efecto de estos en el desarrollo del banano.

Tabla 8

Circunferencia de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

Tratamientos	Circunferencia de pseudotallo (cm)				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
T1 Testigo	32,08 a	41,05 a	53,02 a	58,67 a	72,67 a
T2 MgSO ₄	32,83 a	41,52 a	53,92 a	61,16 a	73,97 a
T3 CaSO ₄	33,84 a	43,55 a	55,98 a	63,56 a	78,16 a
T4 K ₂ O+MgO+CaO	30,00 a	42,71 a	53,85 a	61,21 a	74,51 a
T5 NH ₄ NO ₃	31,39 a	44,78 a	55,44 a	60,67 a	73,97 a
P. G	32,12	42,72	54,44	61,05	74,76
C. V. (%)	9,04	9,10	6,36	5,67	4,65

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.2.3 Emisión foliar.

Los tratamientos evaluados (Testigo, MgSO_4 , CaSO_4 , Bases, NH_4NO_3) no mostraron efectos significativamente a los 30 días de evaluación, las diferencias estadísticas según el ANOVA ($p \leq 0,05$) se vieron reflejada a partir de los 90 días entre los distintos tratamientos analizados. donde el tratamiento 5 (NH_4NO_3) presento los mayores valores, a los 150 días T5 presento un promedio de 4,10 de emisión foliar.

Niola (39) evaluó el efecto de dos enmiendas edáficas sobre parámetros agronómicos de producción en banano, en la variable emisión foliar mensual el tratamiento dos (50 g Biocarbón + 30 g nitrato de potasio) presento un mayor promedio de emisión foliar mensual de 2,87 hojas, mientras que Guamán (40) estimo el efecto de la fertilización inyectada y diferentes dosis de enraizantes en el cultivo de banano, en la variable emisión foliar obtuvo un promedio de 0,89/semana aproximadamente una emisión foliar de 3,56 hojas. Los valores antes mencionados son inferiores a los obtenidos en la investigación realizada donde el tratamiento cinco (NH_4NO_3) presento un promedio mensual de 4,40 hojas a los 120 días. Lo cual se pone en manifiesto que la aplicación de nitrato de amonio proporciona nitrógeno rápidamente disponible, que es fácilmente absorbido por las plantas, estimulando así el desarrollo vegetativo, la formación de hojas y la fotosíntesis.

Tabla 9

Emisión foliar de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

Tratamientos	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
T1 Testigo	3,93 a	3,26 a	3,67 a b	3,70 b	3,90 a
T2 MgSO_4	4,25 a	3,41 a	3,81 a	3,90 a	3,95 a
T3 CaSO_4	4,10 a	3,43 a	3,81 a b	4,05 a	4,10 a
T4 $\text{K}_2\text{O}+\text{MgO}+\text{CaO}$	3,93 a	3,46 a	3,73 b	3,85 a b	4,00 a
T5 NH_4NO_3	4,20 a	3,82 a	4,10 a b	4,40 a	4,10 a

P. G	4,08	3,48	3,82	3,98	4,01
C. V. (%)	12,0	6,70	3,97	4,33	4,90

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.2.4 Numero de hojas.

De acuerdo con el análisis de varianza de la variable número de hojas del hijo de sucesión, a los 150 días después del inicio del trabajo investigativo se presentó las diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos evaluados (Testigo, $MgSO_4$, $CaSO_4$, $K_2O+MgO+CaO$, NH_4NO_3) por lo cual se confirmó a través de la prueba de rangos múltiples de Tukey (Tabla 10), el tratamiento T5 (NH_4NO_3) obtuvo los mejores promedio de hojas emitidas de 20,60.

En la investigación realizada se presentó un promedio general del número de hojas, se registró un valor de 11,44 hojas a los 90 días, el cual fue ligeramente menor que el resultado obtenido por Osorio (41) en su investigación previa, donde se obtuvo un promedio de 11,72 hojas a los 90 días. Por otra parte, el tratamiento T3, que incorporó enmiendas fertilizantes enriquecidas con micronutrientes (diatomea + leonardita), exhibió el promedio más alto con 10,60 hojas a los 60 días, según lo informado por Montenegro (36).

Estos resultados indican que la selección de tratamientos y el momento de la evaluación pueden ejercer influencia sobre la cantidad de hojas en las plantas de banano, resaltando la importancia de explorar más a fondo las interacciones entre diversos factores involucrados en el desarrollo de estas plantas.

Tabla 10

Número de hojas de hijo de sucesión en respuesta a las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

Tratamientos	Emisión Foliar				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
T1 Testigo	3,93 a	7,41 a	11,15 a	14,85 b	18,75 b
T2 MgSO ₄	4,25 a	7,66 a	11,47 a	15,37 a	19,32 a b
T3 CaSO ₄	4,10 a	7,54 a	11,35 a	15,40 a	19,50 a b
T4 K ₂ O+MgO+CaO	3,93 a	7,48 a	11,14 a	14,99 a b	18,99 a b
T5 NH ₄ NO ₃	4,20 a	8,00 a	12,10 a	16,50 a	20,60 a
P. G	4,08	7,61	11,44	15,42	19,43
C. V. (%)	12,0	6,70	5,05	3,71	3,19

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.3 Análisis químicos de suelos

4.1.3.1 Concentración de bases de intercambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+).

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) para la variable concentración de bases de Intercambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), en la medición final, en comparación a la inicial (Figura 9) después de la aplicación de los tratamientos (Figura 10).

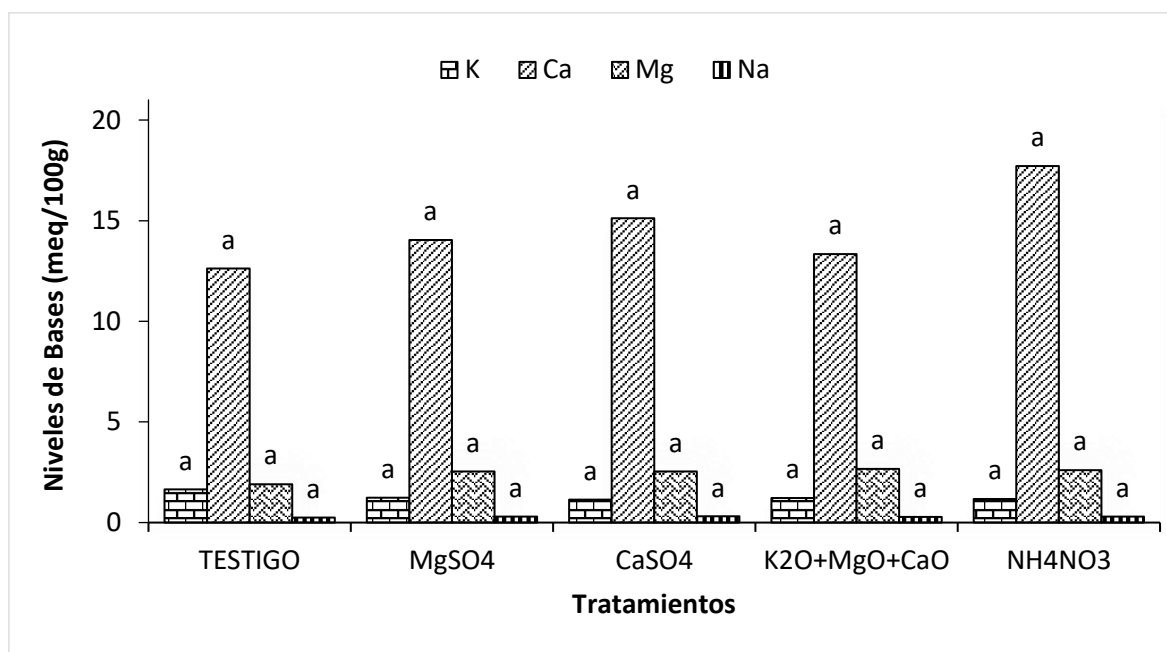
Se observó que la aplicación de sulfato de magnesio (MgSO₄) condujo a una disminución significativa en la concentración de potasio (K^+) y magnesio (Mg^{2+}) en la medición final, lo que señala un posible efecto adverso en la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo. En contraste, el tratamiento con sulfato de calcio (CaSO₄) resultó en un aumento significativo en la concentración de calcio (Ca^{2+}), aunque también conllevó a una reducción en la concentración de magnesio, lo que podría plantear la necesidad de considerar cuidadosamente las interacciones entre estos elementos. Asimismo, el tratamiento de

$K_2O+MgO+CaO$ mostró una disminución en la concentración de potasio (K^+) y magnesio (Mg^{2+}), mientras que el tratamiento de NH_4NO_3 exhibió una disminución en la concentración de potasio (K^+) y magnesio (Mg^{2+}).

Estos resultados son de gran relevancia en la toma de decisiones en el área nutricional, ya que la disponibilidad de nutrientes en el suelo tiene un efecto directo en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, y pueden tener implicaciones a largo plazo en la sostenibilidad de la producción agrícola.

Figura 9

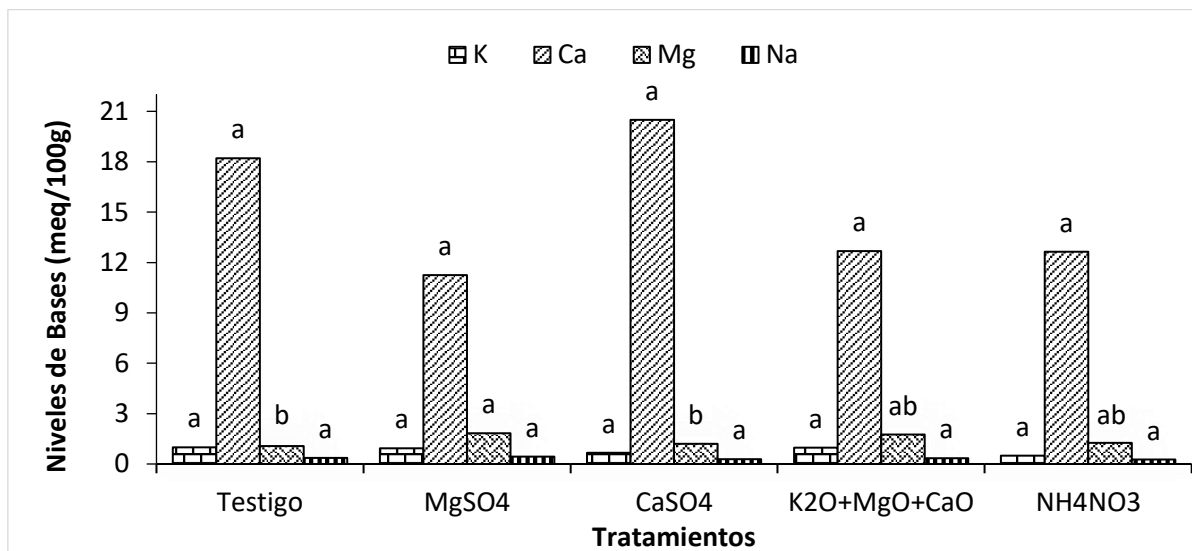
Evaluación del contenido de bases intercambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 10

Evaluación del contenido de bases intercambiables (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) de acuerdo con el efecto de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

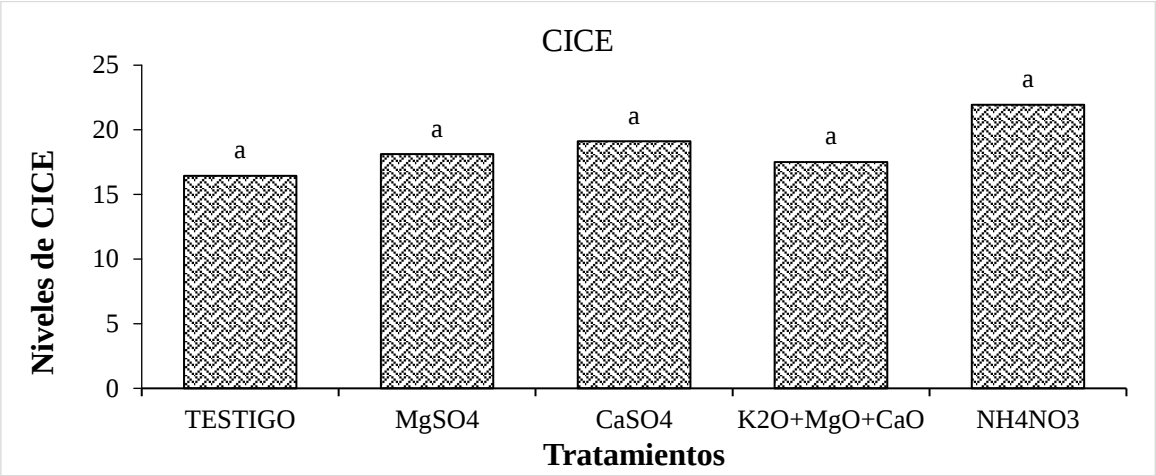
4.1.3.2 Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

El análisis de varianza para la variable capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), no se observa que existan diferencias significativas tanto al inicio como al final de la investigación entre los tratamientos evaluados. En la (Figura 11) se observa los niveles de CICE (meq/100g) previa a la aplicación de los diferentes tratamientos, mientras que la (Figura 13) presenta los niveles de CICE (meq/100g) al término del experimento.

El análisis de suelo mostro que en las unidades experimentales generalmente se presentó una clase textural de suelo franco arcilloso, lo que resulta en una fuerte relación entre la CICE y el contenido de arcilla en el suelo. Estas dos variables están estrechamente vinculadas, lo que significa que a medida que aumenta el contenido de arcilla en el suelo, los valores de CIC tienden a ser más elevados, mientras que suelos con bajos niveles de arcilla suelen exhibir CIC reducidas. Es importante destacar que la arcilla puede contribuir a la CIC tanto a través de su carga permanente como de su carga dependiente del pH debido a procesos de

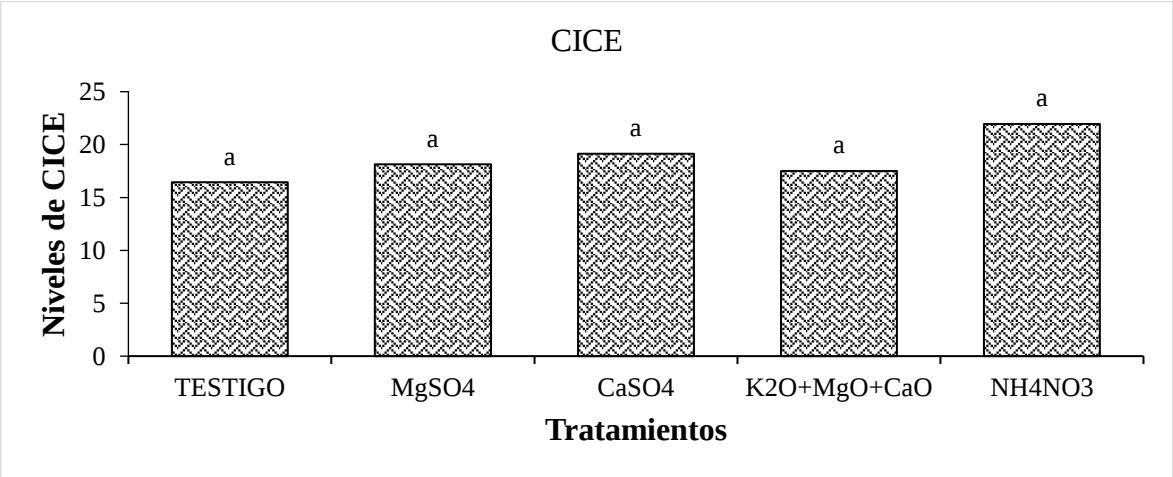
sustitución isomórfica. Por lo tanto, la CIC de un suelo estará influenciada en gran medida por el tipo específico de arcilla presente en él (42).

Figura 11
Evaluación de los niveles de la CICE previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 12
Evaluación de los niveles de la CICE después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

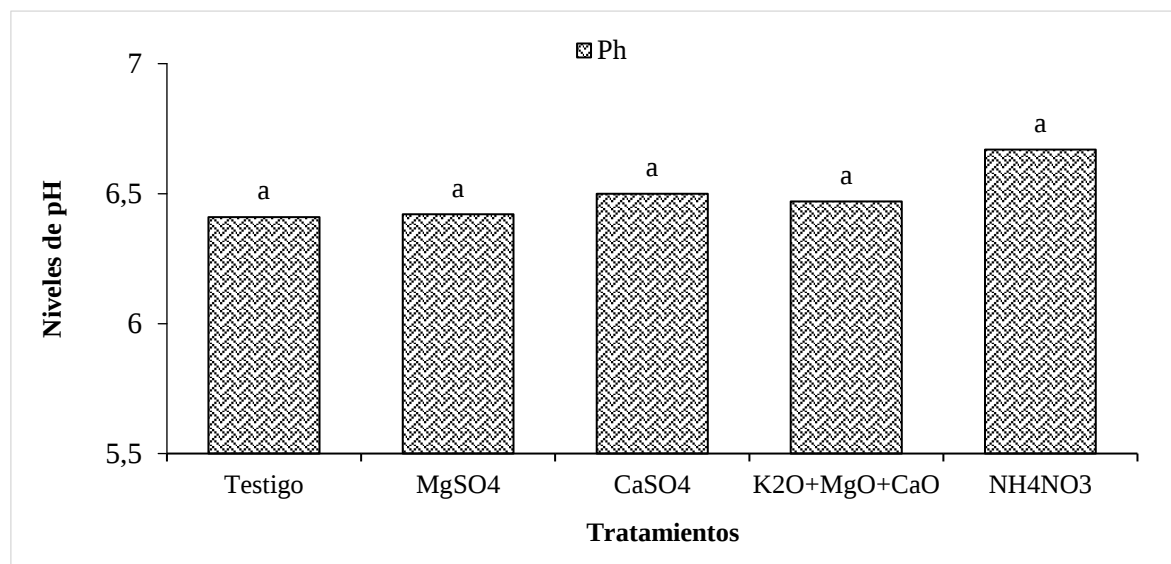
4.1.3.3 Potencial de hidrógeno (pH).

La (Figura 13) presenta que no existieron diferencias significativas tanto al inicio como al final del trabajo investigativo entre los tratamientos evaluados (Testigo, MgSO_4 , CaSO_4 , Bases, NH_4NO_3) para la variable pH del suelo.

Los rangos de pH obtenidos son los adecuados para el crecimiento y desarrollo del cultivo de banano, Por tanto, al mantener un pH adecuado, es decir, por debajo de 7.5, se garantiza una mayor disponibilidad de nutrientes, lo que conduce a una mejor absorción de elementos como el fósforo y los micronutrientes. El nivel de pH óptimo se sitúa en 6.5, aunque puede soportar valores de pH que oscilen entre 5.5 y 7.5, según lo expresa (43).

Figura 13

Evaluación de los niveles de pH previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

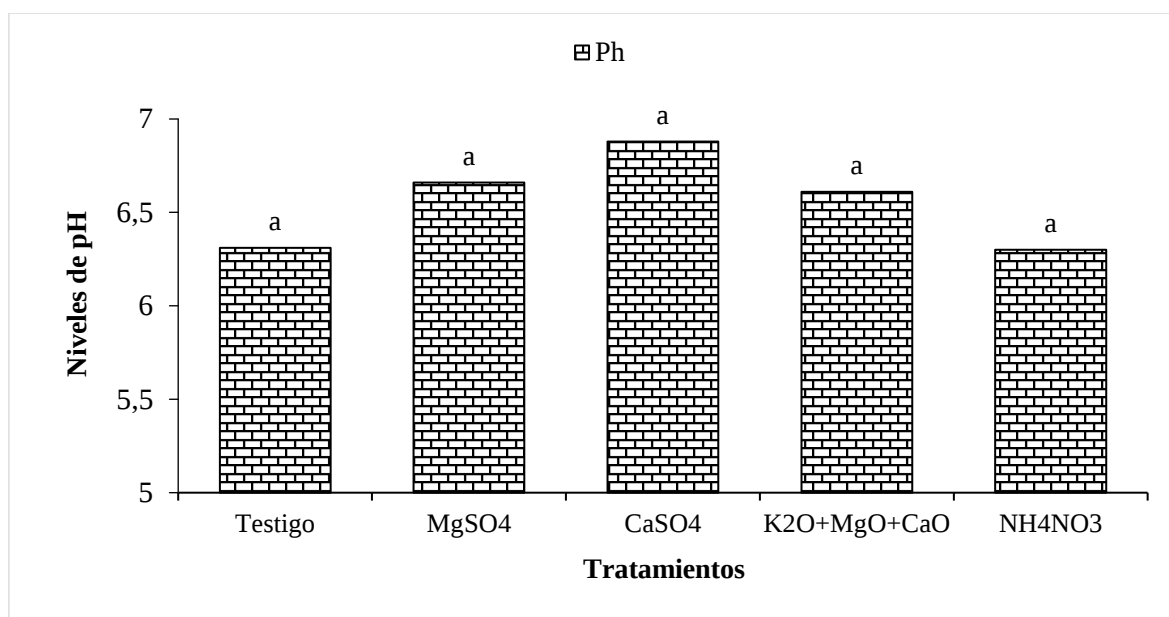


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Al final de la investigación en la variable pH del suelo no existió diferencias significativas ($p \leq 0,05$) respecto a la aplicación de los diferentes tratamientos como se presenta en la (Figura 14). Sin embargo si se pudo observar una variación de pH entre los tratamientos.

Figura 14

Evaluación de los niveles de pH después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



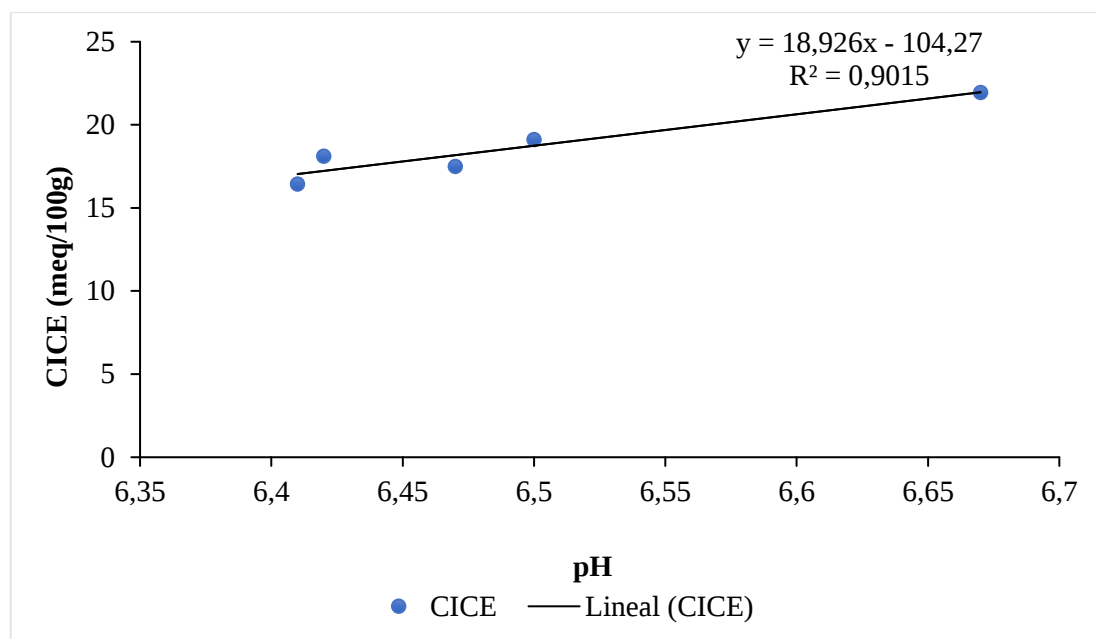
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.3.4 Relación entre CICE y pH.

Para esta variable se realizó un análisis de regresión para establecer la relación entre la CICE y el pH del suelo, donde se determinó un coeficiente de correlación de 0.90, lo cual demuestra una relación lineal entre los niveles de CICE y el pH del suelo. La ecuación obtenida es $y = 18,926x - 104,27$. En la (Figura 15) Se evidencia una relación lineal positiva entre el pH y el CICE, ya que a medida que el pH aumenta, también se incrementa el valor del CICE. Esto puede explicarse debido a que, en soluciones de suelo con un pH más elevado, la concentración de bases intercambiables es mayor, lo que provoca un incremento de la disponibilidad del CICE en respuesta al incremento de pH.

Figura 15

Relación entre CICE y pH de acuerdo con el efecto de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



4.1.4 Análisis Químicos de Tejido

4.1.4.1 Concentración de macronutrientes a nivel foliar.

La (Tabla 11) muestra los rangos de concentraciones de macronutrientes (nitrógeno - N, fósforo - P, potasio - K, calcio - Ca, magnesio - Mg y azufre - S) a nivel foliar en las plantas de banano. Estos valores se muestran en porcentaje peso/peso (% p/p), y se clasificaron en tres categorías: crítico, óptimo y exceso.

Los resultados del análisis de tejido previa a la aplicación de los tratamientos no existieron diferencias significativas ($P > 0,05$) bajo la prueba de Tukey (Figura 16).

En ese contexto, por ejemplo, en la (Tabla 12) el tratamiento Testigo reveló que la concentración de N (2,34 %) y P (0,16 %) se encontraba en el rango crítico. El Nitrógeno es esencial para la composición de proteínas y por ende Inducir el crecimiento vegetativo del pseudotallo y de las hojas, brindándoles un saludable y deseable, mientras que el Fósforo es fundamental para la transferencia de energía (ATP) en la planta, indispensable para los procesos de fotosíntesis y biotransformación de carbohidratos (44). La baja concentración de estos dos nutrientes podría indicar una limitación en el desarrollo de las plantas.

En contraste, los niveles de Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) se encontraban dentro del rango óptimo al inicio del experimento. El Potasio es esencial regular la apertura de los estomas y mejorar la eficiencia del uso del azúcar, además de contribuir a la resistencia de la planta al estrés y a la regulación del equilibrio de agua, y proporciona tolerancia a condiciones adversas como el congelamiento y la salinidad (44). Mientras que el Calcio y el Magnesio son componentes esenciales de la estructura de las paredes celulares y juegan un papel en la fotosíntesis. El Azufre es requerido para la formación de aminoácidos y proteínas.

Tabla 11

Rangos y concentraciones de macronutrientes a nivel foliar en el cultivo de banano.

Nutriente	Unidad	Crítico	Óptimo	Exceso
Nitrógeno	%	< 2,499	> 2,499	> 3,2
Fósforo	%	< 17,99	> 17,99	> 0,29
Potasio	%	< 2,69	> 2,69	> 3,3
Calcio	%	< 0,59	> 0,59	> 0,81
Magnesio	%	< 0,199	> 0,199	> 0,4
Azufre	%	< 0,229	> 0,229	> 0,3

Fuente: Laboratorio Agro análisis.

Tabla 12

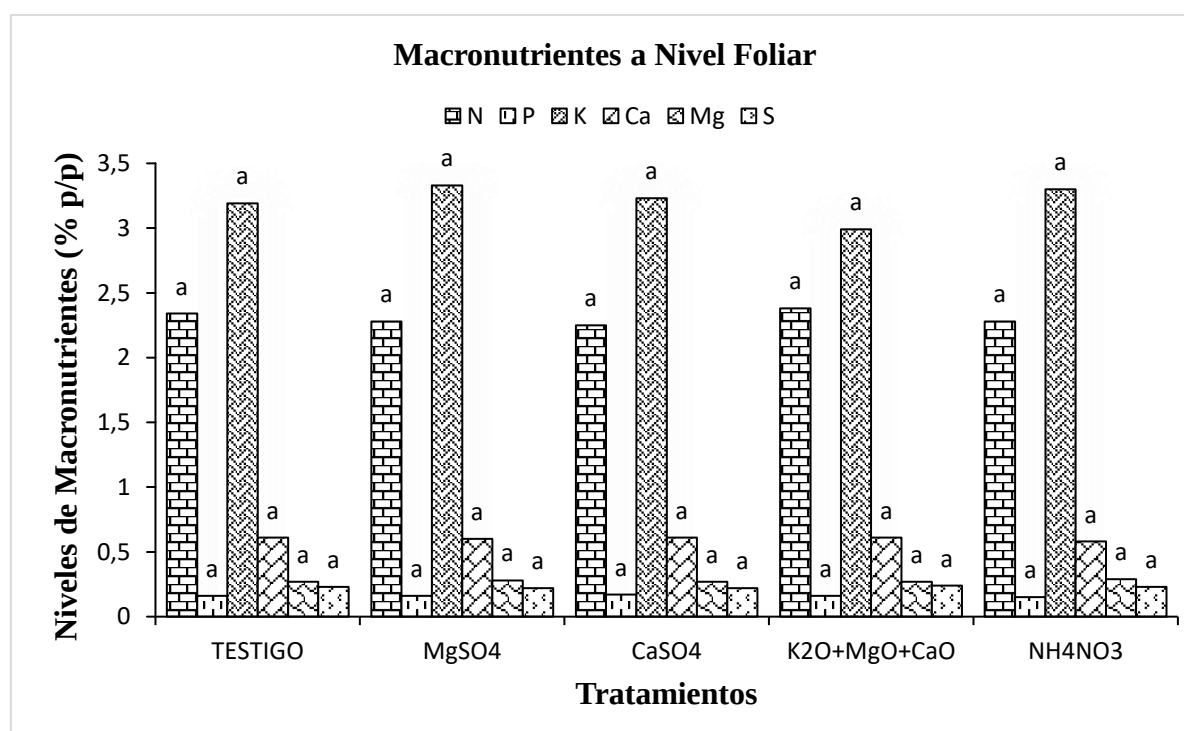
Concentración de macronutrientes a nivel foliar al inicio del experimento.

Tratamientos	Concentración % p/p					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T1 Testigo	2,34 *	0,16 *	3,19 **	0,61 **	0,27 **	0,23 **
T2 MgSO ₄	2,28 *	0,16 *	3,33 ***	0,6 **	0,28 **	0,22 **
T3 CaSO ₄	2,25 *	0,17 *	3,23 **	0,61 **	0,27 **	0,22 **
T4 K ₂ O+MgO+CaO	2,38 *	0,16 *	2,99 **	0,61 **	0,27 **	0,24 **
T5 NH ₄ NO ₃	2,28 *	0,15 *	3,3 **	0,58 *	0,29 **	0,23 **

Nota: * Critico. ** Optimo. *** Exceso.

Figura 16

Evaluación de la concentración de macronutrientes a nivel foliar previa a la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La (Tabla 13) presenta las concentraciones de macronutrientes después de la aplicación de los tratamientos en las plantas de banano. Aquí se comparan los cambios en las concentraciones con respecto al inicio del experimento donde no existieron significancias estadísticas ($P > 0,05$) bajo la prueba de Tukey (Figura 17).

En el tratamiento Testigo, observamos que la concentración de N (2,24 %) y P (0,16 %) continúa en el rango crítico, lo que sugiere que estos nutrientes siguen siendo limitantes para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, el Potasio (2,64 %) ha disminuido al rango crítico, lo que puede tener implicaciones en la regulación hídrica y el equilibrio de nutrientes.

En el tratamiento (MgSO_4), la concentración de N (2,33 %) ha aumentado, lo que indica una posible mejora en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. Sin embargo, el Fósforo (0,17 %) sigue en el rango crítico. El Potasio (2,8 %) y el Calcio (0,67 %) se mantienen en el rango óptimo, pero el Magnesio (0,42 %) ha aumentado al rango de exceso.

En el tratamiento (CaSO_4), la concentración de N (2,51 %) ha aumentado al rango óptimo, lo que indica una mejora en la disponibilidad de nitrógeno. Los niveles de Potasio (3,09 %), Calcio (0,69 %), Magnesio (0,39 %), y Azufre (0,27 %) se mantienen en el rango óptimo.

En el tratamiento ($\text{K}_2\text{O}+\text{MgO}+\text{CaO}$) la concentración de N (2,13 %) ha disminuido al rango crítico, y el Fósforo (0,13%) está en el rango crítico. El Potasio (2,76 %) y el Calcio (0,75 %) se mantienen en el rango óptimo, pero el Magnesio (0,38%) ha aumentado al rango de exceso.

En el tratamiento (NH_4NO_3), se logró aumentar la concentración de N (2,36%) sin embargo al igual que el P (0,14%) se mantienen en el rango crítico. La aplicación de El nitrato de amonio, que contiene un alto porcentaje de nitrógeno (33.5%), se presenta como una fuente de nitrógeno altamente disponible para las plantas. Además, en comparación con otros tipos

de fertilizantes, su contenido de nitrógeno amoniacal es significativamente menor, lo que implica que su aplicación tiene un efecto menos acidificante en el suelo, según lo expresa (45). El Potasio (2,98%), Calcio (0,7%), Magnesio (0,37%), y Azufre (0,25%) se mantienen en el rango óptimo.

Tabla 13

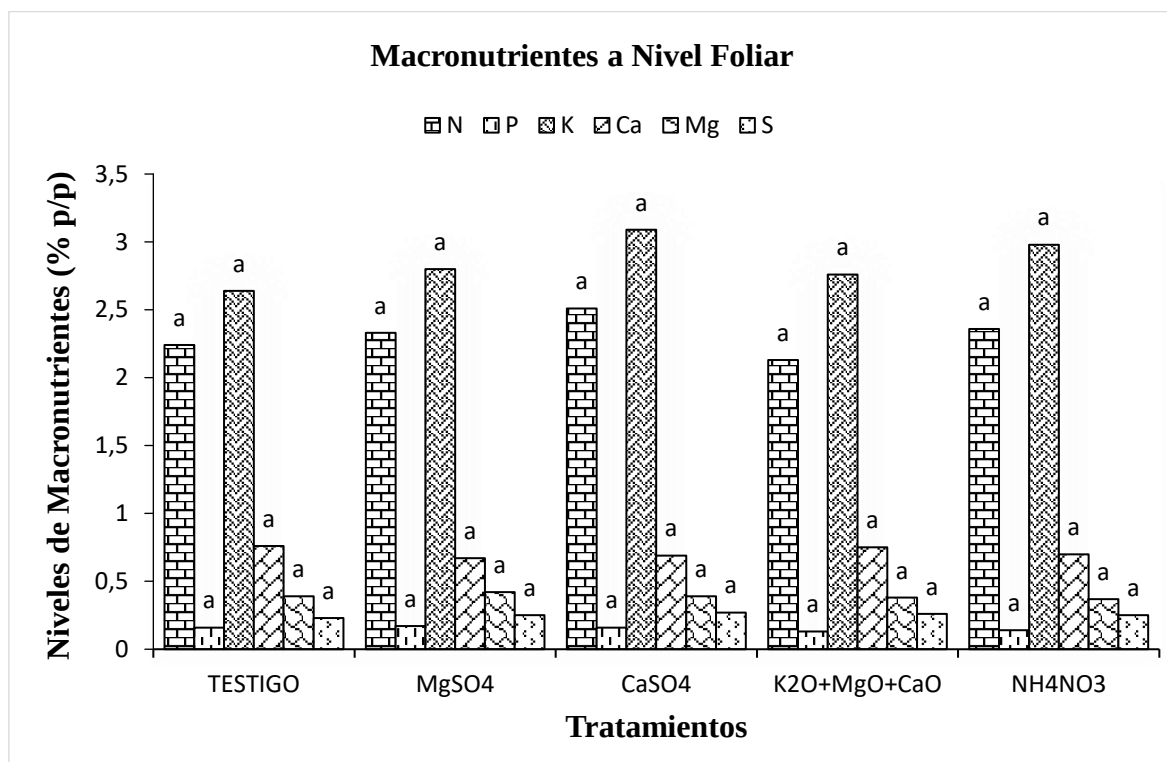
Concentración de macronutrientes a nivel foliar después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

Tratamientos	Concentración % p/p					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T1 Testigo	2,24 *	0,16 *	2,64 *	0,76 **	0,39 **	0,23 **
T2 MgSO ₄	2,33*	0,17 *	2,8 **	0,67 **	0,42 ***	0,25 **
T3 CaSO ₄	2,51 **	0,16 *	3,09 **	0,69 **	0,39 **	0,27 **
T4 K ₂ O+MgO+CaO	2,13 *	0,13 *	2,76 **	0,75 **	0,38 **	0,26 **
T5 NH ₄ NO ₃	2,36 *	0,14 *	2,98 **	0,7 **	0,37 **	0,25 **

Nota: * Critico. ** Optimo. *** Exceso

Figura 17

Evaluación de la concentración de macronutrientes a nivel foliar después de la aplicación de las diferentes alternativas nutricionales en el cultivo de banano.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

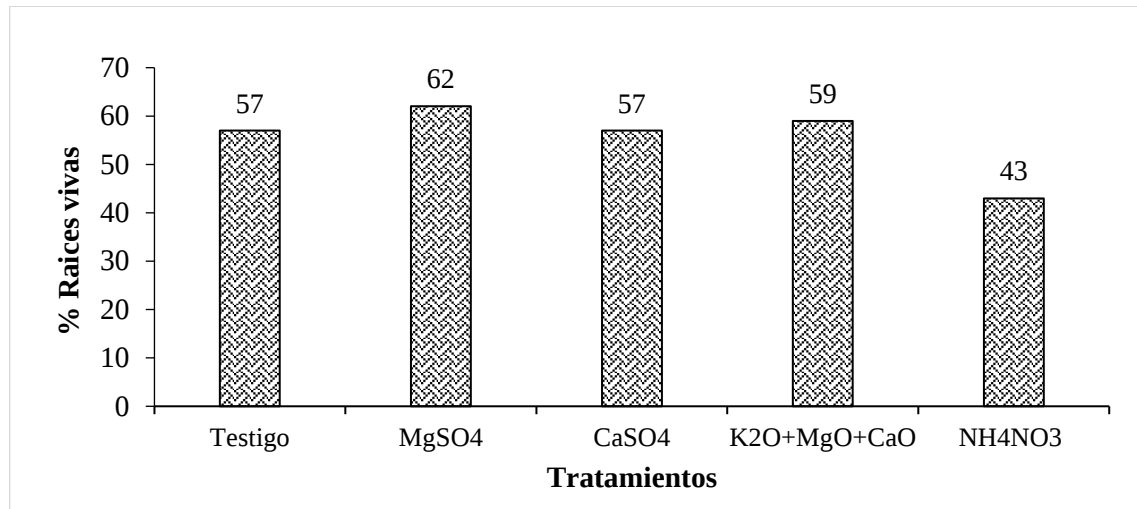
4.1.5 Análisis de Raíces

4.1.5.1 Porcentaje de raíces vivas

La (Figura 18) ilustra los resultados del porcentaje de raíces vivas en suelos previo a la aplicación de los diferentes tratamientos. El porcentaje de raíces vivas es un indicador de la salud y vitalidad de las plantas, ya que demuestra la capacidad del suelo para proporcionar un entorno adecuado para el crecimiento y desarrollo del sistema radicular, el promedio general de 56 % de raíces vivas.

Figura 18

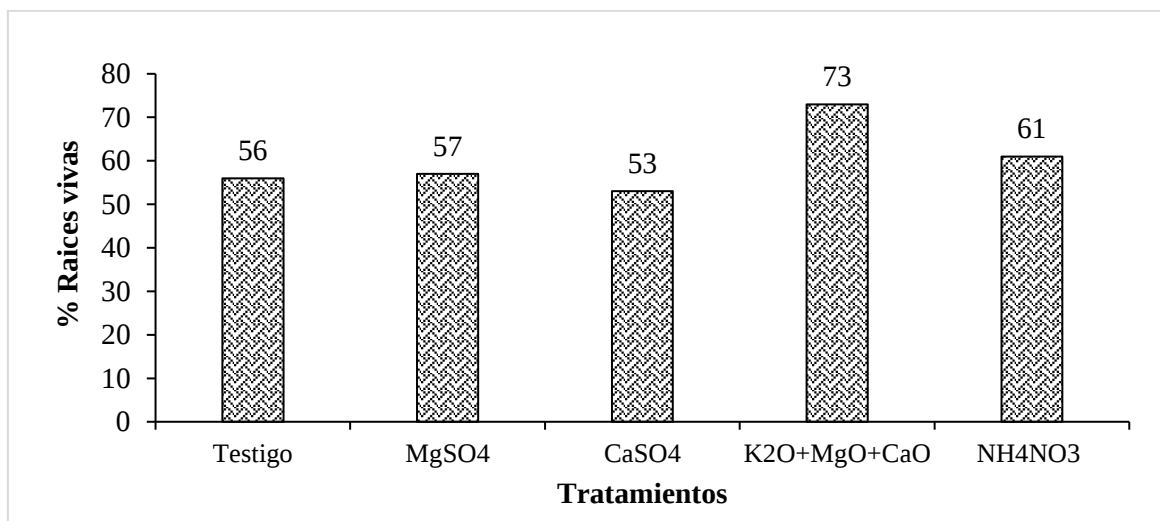
Porcentaje de raíces vivas previo a la aplicación de las alternativas nutricionales.



Al concluir el trabajo experimental, los resultados del análisis de las raíces (Figura 19) muestran un promedio general del 60% de raíces vivas. Esto demuestra la importancia de mantener un alto porcentaje de salud radicular, ya que permite un anclaje adecuado y la absorción de los nutrientes esenciales necesarios para los procesos fisiológicos de las plantas.

Figura 19

Porcentaje de raíces vivas después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

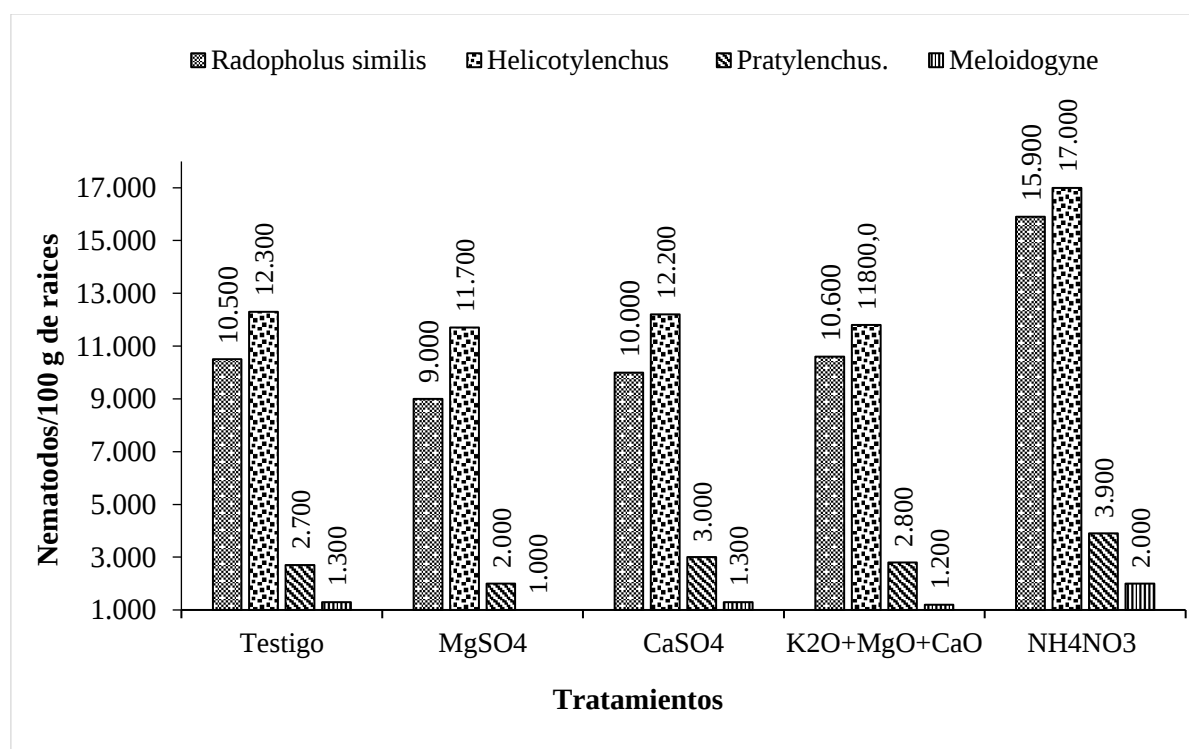


4.1.5.2 Nematodos / 100 gramos de raíces.

En la (Figura 20) se presenta la población de nematodos por cada 100 gramos de raíces al inicio de la investigación, donde se determinó la presencia de distintos tipos de nematodos: *Radopholus similis*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, con un promedio general de 11,200, 13,000, 2,880 y 1,360 nematodos por cada 100 gramos de raíces, respectivamente. La evaluación de la población de nematodos reviste gran importancia, ya que estos microorganismos tienen la capacidad de dañar las raíces de las plantas, lo que repercute tanto en el anclaje como en disminución en la absorción de agua y nutrientes. Por lo tanto, el monitoreo de la población de nematodos se convierte en un aspecto importante en el cultivo de bananos. Es esencial mantener un seguimiento constante de la población de nematodos en el suelo y tomar las medidas necesarias para reducir su impacto negativo en las plantas, con el fin de proteger de manera efectiva el cultivo.

Figura 20

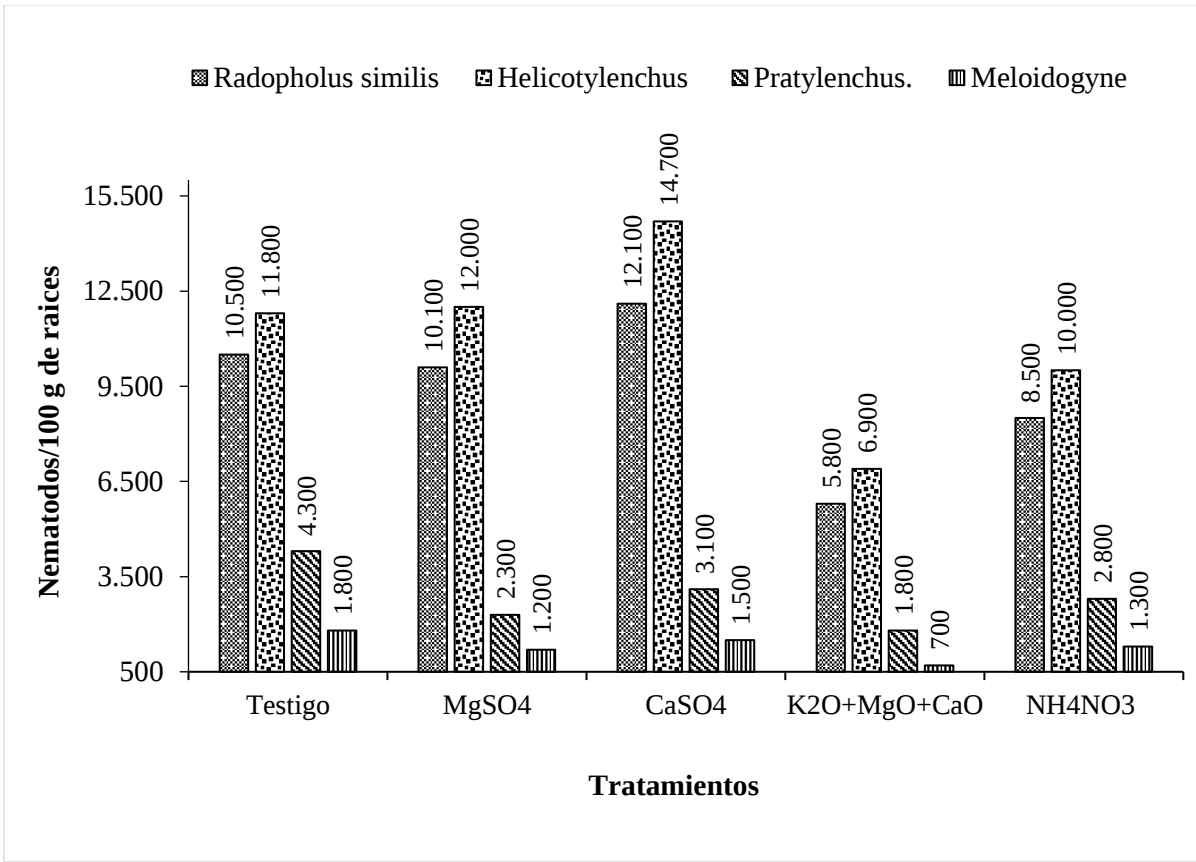
Población de nematodos / 100 g de raíces previo a la aplicación de las alternativas nutricionales



Los resultados obtenidos reflejan la población de nematodos tipo *Radopholus similis*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* y *Meloidogyne* al final del trabajo de investigación en el cultivo de banano (Figura 21). Con un promedio de 9,400, 11,080, 2,860 y 1,300 nematodos por cada 100 gramos de raíces, respectivamente.

Figura 21

Población de nematodos / 100 g de raíces después de la aplicación de las alternativas nutricionales.



CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La aplicación de sulfato de magnesio “Kieserita” para la corrección del mal de balastro tuvo un efecto positivo, lo cual redujo la incidencia de las manchas cloróticas en el hijo de sucesión respecto a la incidencia que se determinó en las plantas de banano (madres), además la adición de concentración de Mg al programa normal de fertilización de Reybanpac permite una mejoría en el desarrollo de las plantas tanto en la altura, circunferencia de pseudotallo, emisión foliar del hijo de sucesión.
- El programa completo de fertilización presentó una mayor incidencia de la sintomatología del mal de balastro en las plantas de banano (hijos de sucesión) en relación con la evaluación en las plantas de banano (madres), respecto al desarrollo de las plantas los valores no fueron superiores a los presentados por los otros tratamientos.
- El efecto de la aplicación de nitrato de amonio (NH_4NO_3) demostró una reducción significativa en la incidencia del mal de balastro en el cultivo de banano. Estos resultados pueden desempeñar un papel relevante en la mitigación de la manifestación de este problema fisiológico. Además el nitrato de amonio es una fuente de nitrógeno de alta absorción por las plantas, y esta propiedad puede haber contribuido a su impacto positivo en el crecimiento y desarrollo vegetal permite la estimular el desarrollo de las plantas de banano.

5.2 Recomendaciones

- Considerar la inclusión de aplicaciones adicionales de sulfato de magnesio "Kieserita" en el programa de nutrición como una estrategia efectiva para la corrección del mal de balastro y la mejora del desarrollo de las plantas. Estos hallazgos ofrecen una perspectiva valiosa para la industria bananera y pueden beneficiar la producción y calidad de los cultivos de banano. Sin embargo, se sugiere la realización de investigaciones adicionales para validar y ampliar estos resultados, así como evaluar su viabilidad económica a largo plazo.
- Se sugiere modificar el programa de fertilización, centrándose en las necesidades específicas del banano, para reducir la incidencia del Mal de Balastro. El monitoreo constante del suelo y las plantas son clave para establecer el programa de fertilización óptimo y promover un mejor desarrollo del cultivo.
- A partir de los resultados obtenidos, se sugiere la aplicación supervisada de nitrato de amonio (NH_4NO_3) como una medida efectiva para mitigar la incidencia del mal de balastro en plantaciones de banano. La facilidad con la que las plantas lo asimilan no solo reduce la prevalencia de dicho problema, sino que también estimula el crecimiento de estas. No obstante, es esencial mantener una vigilancia regular de los niveles de nutrientes en el suelo y aplicar esta estrategia con precaución, ajustándola a las condiciones específicas de cada área de cultivo.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1 Bibliografía

1. Bustos A. Portal Fruticola.com. [Online]; 2023. Acceso 10 de Julio del 2023. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2023/06/29/rusia-y-ee-uu-se-sigue-llevando-la-produccion-de-banano-ecuadoriano/>.
2. Gonzales C. Efecto de la sustitución del cloruro de potasio por el nitrato de potasio en un programa de fertilización bananero. [Online]; 2017. Acceso 05 de 01 de 2023. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10636/2/DE00010_TRABAJODETITULACION.pdf.
3. Álvarez W. Efecto del raquis floral de banano procesado sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fisiológico conocido como "Balastro" en banano (Musa sp. AAA Gran Nain) en Río Frío, Sarapiquí, Heredia. [Online]. Sarapiquí, Heredia.; 2013. Acceso 06 de 01 de 2023. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5971/Efecto%20del%20raquis%20floral%20de%20banano%20procesado%20sobre%20el%20vigor%20de%20la%20planta%20y%20la%20incidencia%20del%20desorden%20fisiol%3b%20gico%20conocido%20como%20balastro%20en%20bana>.
4. Peraza S. QUIFUCA, C. [Online].; 2020. Acceso 5 de Julio del 2023. Disponible en: <http://www.quifuca.com/ve/2020/07/13/intercambio-ionico-suelos/>.
5. Intagri. Intagri.com. [Online].; 2015. Acceso 18 de Febrero del 2023. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>.
6. MiltonT. Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos.[Online]. Tegucigalpa, Honduras; 2016. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf?sequence=1>.
7. Gustavo P. Terramía. [Online]; 2021. Disponible en: <https://terramia.com.co/tecnicas-de-aplicacion-de-fertilizantes/>.
8. Sierra A, Sanchez T, Simonne E, Treadwel D. Ufl.edu. [Online]; 2020. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS356>.

9. Red Agrícola. Red Agrícola. [Online]; 2017. Acceso 5 de Julio del 2023. Disponible en: <https://redagricola.com/analisis-tejidos-vegetales-herramienta-control-nutricional-frutales/>.
10. Gomez M. Repositorio UCSG. [Online]; 2017. Acceso 1 de Enero del 2023. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7714>.
11. Parra O. scielo. [Online]; 2009. Acceso 1 de Enero del 2023. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v58n4/v58n4a09.pdf>.
12. Angulo C. [Online]; 2009. Acceso 1 de Enero del 2023. Disponible en: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5599/1/AnguloCortezCarlos.pdf>.
13. Fagiani M, TA. [Online]; 2007. Acceso 1 de Enero del 2023. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cultivo_del_banano.pdf.
14. Banascopeio.[Online]; 2015. Acceso 1 de Enero del 2023. Disponible en: http://www.campoeditorial.com/banascopeio/ab_guia_tecnica.html.
15. Robinson J y Galán V. [Online]; 2010. Acceso 1 de Enero del 2023. Disponible en: <http://www.paraninfo.es/catalogo/9788484765424/Pl%C3%A1tanos-y-bananas>.
16. Gallo L. Fisiología de la post cosecha en banano (Musa AAA, subgrupo Cavendish) híbrido Williams. [Online]; 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.1036>.
17. Garcés Álvarez . Diagnóstico de población de tres clones de la variedad de banano Cavendish (Musa AAA), en la zona de Urabá Antioquia, grupo Agrícola Sara Palma S.A. [Online]. Montería, Córdoba, Colombia; 2023. Acceso 22 de Agosto del 2023. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/7402/garcesalvarezfabianalfonso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
18. Maria N B. Seguimiento y análisis al comportamiento de la mancha de madurez en la plantación de la banano tipo cavendish -valery en la finca ElPaso, Apartadó, Antioquia. [Online]; 2020. Acceso 19 de Febrero del 2023. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3053/negrete%20bolivar%20Maria%20de%20los%20angeles.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

19. Alvarado M. Situam.org.mx. [Online]; 2023. Acceso 15 de Septiembre del 2023. Disponible en: <https://situam.org.mx/educa/en-que-consiste-la-fotosintesis.html>.
20. Infoagro. [Online] Acceso 1 de Enero del 2023. Disponible en: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano__banano_.asp.
21. Blomme G. Assessment of genotypic variation in the root architecture of Musa spp. En Blomme G, RSAT; 2003. p.24-29.
22. Soto Ballesteros . Bananos: técnicas de producción, manejo poscosecha y comercialización. 3rd ed. SanJosé; 2008.
23. W T D. Environmental physiology of the bananas (Musa spp). En Thomas. . Brazilian; 2007. p.463-484.
24. Torres Sánchez J, Castillo J. Principios para la nutrición del cultivo de banano. [Online]. Medellín; 2013. Acceso 05 de Enero del 2023. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12593>.
25. Bustamante F. CN Agro. [Online]; 2021. Acceso 10 de Marzo del 2023. Disponible en: <https://cnagro.cl/sin-categoria/importancia-de-las-bases-de-intercambio-de-suelos/#:~:text=Desde%20el%20punto%20de%20vista,cationes%20esenciales%20son%20Macronutrientes%2C%20dado>.
26. Gaspar A. Corteva. [Online]; 2019. Disponible en: <https://www.corteva.es/agronomia-y-servicios/informacion-agronomica/saturacion-de-bases-y-capacidad-de-intercambio-catonico.html>.
27. Sierra A, Sanchez T, Simonne E, Treadwell D. Ask IFAS Powered. [Online]; 2020. Acceso 05 de Febrero del 2023. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS356>.
28. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Nitrato de amonio. [Online]; 2019. Acceso 05 de Enero del 2023. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/1F51C7CDE49DF9E985257BBA0059DB3C/\\$FILE/NSS-ES-22.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/1F51C7CDE49DF9E985257BBA0059DB3C/$FILE/NSS-ES-22.pdf).
29. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Cloruro de potasio [Online] ; 2019. Disponible en:

[http://www.wipninet/publication/nssesnsf/0/A48F7C5B42D2D6BF85257BBA0059A849/\\$FILE/NSS-ES-03.pdf](http://www.wipninet/publication/nssesnsf/0/A48F7C5B42D2D6BF85257BBA0059A849/$FILE/NSS-ES-03.pdf).

30. Columbus Copper Corporation. [Online]; 2013. Acceso 20 de Febrero de 2023. Disponible en: <https://www.columbuscopper.com/s/kieserite.asp>.
31. Agro urbano. [Online]; 2023. Acceso 21 de Agosto de 2023. Disponible en: <https://agrourbano.uy/products/fertilizante-sulfato-de-magnesio-sal-epson-x-5-kg>.
32. Lifeder. Sulfato de calcio (CaSO_4): estructura química, propiedades, usos. [Online]; 2021. Acceso 13 de Febrero del 2023. Disponible en: <https://www.lifeder.com/sulfato-calcio/>.
33. Brady N. La naturaleza y propiedades de los suelos. 15th ed; 2018.
34. Delgado A. Aplicación de fertilizantes orgánico y su impacto en la productividad del cultivo de banano en la empresa Prime fenix S.A. cantón Mocache. Año 2014. [Online]; 2015. Acceso 25 de Julio del 2023. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5ddb230-241c-4220-9aad4ba1a5b44d0d/content>.
35. Quevedo J, Delgado A, Tuz I, García R. Evaluación de la aplicación de fertilizante al pseudotallo de plantas cosechadas de banano (*Musa paradisiaca* L.) Y su efecto en la velocidad de crecimiento del hijo retorno. [Online]; 2019. Acceso 25 de Julio del 2023. Disponible en: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/300>.
36. Douglas M. Efecto de la fertilización edáfica enriquecida con micronutrientes en la etapa del cultivo de banano (*Musa AAA*), Milagro. [Online]. Milagro; 2022. Acceso 13 de Abril del 2023. Disponible en: <http://181.198.35.98/Archivos/MONTENEGRO%20VERA%20DOUGLAS%20WLADI MIR.pdf>.
37. Bonilla J. Efecto de la Eficiencia de diferentes nutrientes edáficos a distintos niveles de fertilizantes edáficos en el cultivo de banano. [Online]; 2021. Acceso 25 de Julio del 2023. Disponible en: <http://181.198.35.98/Archivos/BONILLA%20PLUAS%20CAROL%20JOEL.pdf>.

38. Cevallos S. Estudio sobre niveles de fertilización con N, P, K, Mg utilizando una fuente de liberación controlada en el cultivo de banano Musa AAA. [Online]; 2014. Acceso 13 de Septiembre del 2023. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/5220>.
39. Niola J, Quevedo J. Efectos de dos enmiendas edáficas sobre parámetros agronómicos de producción en banano (*Musa paradisiaca*. L). [Online]; 2021. Acceso 04 de Septiembre del 2023. Disponible en: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/499>.
40. Guamán H, Quevedo J. Efecto de la fertilización inyectada y diferentes dosis de enraizantes en el cultivo de banano.[Online]; 2023. Acceso 02 de Septiembre de 2023. Disponible en: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/600>.
41. Osorio J. Respuesta agronómica del cultivo de banano a la aplicación de potasio de forma edáfica en Milagro provincia del Guayas. [Online]; 2022. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/OSORIO%20VELEZ%20JORGE%20CHRISTOPHER.pdf>.
42. Chávez A. Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras. [Online]; 2015. Acceso 18 de Septiembre del 2023. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4564>.
43. Harold N. Evaluación de bacterias solubilizadoras de fósforo en la aclimatización de plantas in vitro de banano Musasp. Var. Williams en condiciones de invernadero. [Online]; 2019. Acceso 13 de Septiembre de 2023. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45263>.
44. Haifa. Recomendaciones nutricionales para banano. [Online]; 2021. Acceso 28 de Agosto del 2023. Disponible en: <https://www.haifa-group.com/es/recomendaciones-nutricionales-para-banano>.
45. Gao Y, Yong L, Yang X, Li H, Shen Q, Guo S. Ammonium nutrition increases water absorption in rice seed lings (*Oryzasativa* L.) under water stress. Plant Soil. 2010; p.193 – 201.
46. Araya M. Stratification and spatial distribution of the banana (*Musa* AAA, Cavendish subgroup, cvs´ Valery´ and´ Grandenaine´) root system. En: Banana root system: towardsa

- better understanding for its productive management: Proceeding so fan International Symposium held in SanJosé, CostaRica; 2003; p.83-103.
47. Turner D. Factor saffecting the physiology of the banana root system. En: Banana root system: towardsa better under standing for its productive management: Proceeding so fan International Symposium held in San José; 2003 p.107-113.
 48. Serrano E. Relation ship between functional root content and banana y ield in Costa Rica. En: Banana root system: towardsa better understanding for its productive management Proceeding so fan International Symposium held in SanJosé; 2003; p.25-34.
 49. Sigma-Aldrich. [Online]; 2021. Acceso 20 de Febrero del 2023. Disponible en: https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/docs/SigmaAldrich/Product_Information_Sheet/1/n8766pis.pdf.
 50. Sánchez. H. Importancia de las propiedades físicas y quimicas del suelo para la productividad bananera; 2012. p.286-317.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1 Anexos de análisis de varianza

Anexo 1

Análisis de varianza para la variable incidencia de mal de balastro en las plantas de banano (madres).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	157,80	4	39,45	1,52	0,2579
Repetición	215,60	3	71,87	2,77	0,0875
Error	311,40	12	25,95		
Total	684,80	19			

Anexo 2

Análisis de varianza para la variable incidencia de mal de balastro en las plantas de banano (hijos de sucesión).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	349,30	4	87,33	6,29	0,0058
Repetición	98,80	3	32,93	2,37	0,1217
Error	166,70	12	13,89		
Total	614,80	19			

Anexo 3

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado 0) de las plantas de banano (madres).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	167,05	4	41,76	1,68	0,2178
Repetición	205,96	3	68,65	2,77	0,0875
Error	297,46	12	24,79		
Total	670,47	19			

Anexo 4

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado1) de las plantas de banano (madres).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	143,63	4	35,91	1,71	0,2113
Repetición	154,14	3	51,38	2,45	0,1135
Error	251,35	12	20,95		
Total	549,12	19			

Anexo 5

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado2) de las plantas de banano (madres).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	2,30	4	0,58	0,33	0,8556
Repetición	3,49	3	1,16	0,66	0,5943
Error	21,25	12	1,17		
Total	27,04	19			

Anexo 6

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado 3) de las plantas de banano(madres).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,06	4	0,01	0,33	0,8556
Repetición	0,08	3	0,03	0,62	0,6151
Error	0,52	12	0,04		
Total	0,65	19			

Anexo 7

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado 0) de las plantas de banano (hijos de sucesión).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	897,90	4	224,48	2,12	0,1406
Repetición	702,80	3	234,27	2,22	0,1390
Error	1269,02	12	105,75		
Total	2869,73	19			

Anexo 8

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado 1) de las plantas de banano (hijos de sucesión).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	139,52	4	34,88	5,29	0,0109
Repetición	43,58	3	14,53	2,20	0,1405
Error	79,14	12	6,59		
Total	262,24	19			

Anexo 9

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado 2) de las plantas de banano (hijos de sucesión).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	34	4	8,50	4,79	0,0153
Repetición	7,29	3	2,43	1,37	0,2991
Error	21,31	12	1,78		
Total	62,60	19			

Anexo 10

Análisis de varianza para la variable grado de incidencia (% grado 2) de las plantas de banano (hijos de sucesión).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	1,43	4	0,36	2,40	0,1080
Repetición	1,10	3	0,37	2,45	0,1134
Error	1,79	12	0,15		
Total	4,33	19			

Anexo 11

Análisis de varianza para la variable altura del hijo de sucesión (m) a los 30 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,04	4	0,01	1,34	0,3098
Repetición	0,08	3	0,03	3,92	0,0367
Error	0,08	12	0,01		
Total	0,20	19			

Anexo 12

Análisis de varianza para la variable altura del hijo de sucesión (m) a los 60 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,03	4	0,01	1,28	0,3315
Repetición	0,04	3	0,01	2,12	0,1510
Error	0,08	12	0,01		
Total	0,15	19			

Anexo 13

Análisis de varianza para la variable altura del hijo de sucesión (m) a los 90 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,06	4	0,01	4,48	0,0191
Repetición	0,04	3	0,01	4,36	0,0270
Error	0,04	12	0,03		
Total	0,13	19			

Anexo 14

Análisis de varianza para la variable altura del hijo de sucesión (m) a los 120 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,10	4	0,04	6,70	0,0045
Repetición	0,01	3	0,03	1,08	0,3958
Error	0,04	12	0,03		
Total	0,15	19			

Anexo 15

Análisis de varianza para la variable altura del hijo de sucesión (m) a los 150 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,08	4	0,02	5,46	0,0097
Repetición	0,01	3	3,9E-03	1,08	0,3958
Error	0,04	12	3,6E-03		
Total	0,14	19			

Anexo 16

Análisis de varianza para la variable circunferencia de pseudotallo del hijo de sucesión (cm) a los 30 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	34,00	4	8,50	1,02	0,4378
Repetición	115,00	3	38,33	4,58	0,0233
Error	100,47	12	8,37		
Total	249,47	19			

Anexo 17

Análisis de varianza para la variable circunferencia de pseudotallo del hijo de sucesión (cm) a los 60 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	36,62	4	9,16	0,61	0,660
Repetición	134,19	3	44,73	2,96	0,0751
Error	181,35	12	15,11		
Total	352,16	19			

Anexo 18

Análisis de varianza para la variable circunferencia de pseudotallo del hijo de sucesión (cm) a los 90 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	36,62	4	9,16	0,61	0,660
Repetición	134,19	3	44,73	2,96	0,0751
Error	181,35	12	15,11		
Total	352,16	19			

Anexo 19

Análisis de varianza para la variable circunferencia de pseudotallo del hijo de sucesión (cm) a los 120 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	48,64	4	12,16	1,01	0,4381
Repetición	101,83	3	33,94	2,83	0,0831
Error	143,79	12	11,98		
Total	294,26	19			

Anexo 20

Análisis de varianza para la variable circunferencia de pseudotallo del hijo de sucesión (cm) a los 150 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	75,35	4	18,84	1,57	0,2445
Repetición	101,83	3	33,94	2,83	0,0831
Error	143,79	12	11,98		
Total	320,97	19			

Anexo 21

Análisis de varianza para la variable emisión foliar del hijo de sucesión a los 30 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,35	4	0,09	0,35	0,8384
Repetición	7,79	3	2,60	10,36	0,0012
Error	3,01	12	0,25		
Total	11,15	19			

Anexo 22

Análisis de varianza para la variable emisión foliar del hijo de sucesión a los 60 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,70	4	0,17	3,21	0,0522
Repetición	2,11	3	0,70	13,01	0,0004
Error	0,65	12	0,05		
Total	3,46	19			

Anexo 23

Análisis de varianza para la variable emisión foliar del hijo de sucesión a los 90 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,43	4	0,11	4,67	0,0167
Repetición	0,22	3	0,07	3,16	0,0642
Error	0,28	12	0,02		
Total	0,93	19			

Anexo 24

Análisis de varianza para la variable emisión foliar del hijo de sucesión a los 120 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	1,13	4	0,28	9,54	0,0010
Repetición	0,02	3	0,01	0,27	0,8461
Error	0,36	12	0,03		
Total	1,51	19			

Anexo 25

Análisis de varianza para la variable emisión foliar del hijo de sucesión a los 150 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,13	4	0,3	0,83	0,5326
8Repetición	0,17	3	0,06	1,43	0,2823
Error	0,46	12	0,04		
Total	0,76	19			

Anexo 26

Análisis de varianza para la variable número de hojas del hijo de sucesión a los 30 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,35	4	0,09	0,35	0,8384
Repetición	7,79	3	2,60	10,36	0,0012
Error	3,01	12	0,25		
Total	11,15	19			

Anexo 27

Análisis de varianza para la variable número de hojas del hijo de sucesión a los 60 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,87	4	0,22	0,59	0,6771
Repetición	5,64	3	1,88	5,07	0,0170
Error	4,45	12	0,37		
Total	10,97	19			

Anexo 28

Análisis de varianza para la variable número de hojas del hijo de sucesión a los 90 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	2,49	4	0,62	1,86	0,1823
Repetición	7,23	3	2,41	7,21	0,0051
Error	4,01	12	0,33		
Total	13,73	19			

Anexo 29

Análisis de varianza para la variable número de hojas del hijo de sucesión a los 120 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	6,74	4	1,68	5,14	0,0120
Repetición	7,61	3	2,54	7,75	0,0038
Error	3,93	12	0,33		
Total	18,28	19			

Anexo 30

Análisis de varianza para la variable número de hojas del hijo de sucesión a los 150 días después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	8,19	4	2,05	5,33	0,0106
Repetición	6,42	3	2,14	5,57	0,0125
Error	4,61	12	0,38		
Total	19,21	19			

Anexo 31

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (K) previa a la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,71	4	0,18	0,85	0,5215
Repetición	5,20	3	1,73	8,31	0,0029
Error	2,50	12	0,21		
Total	8,40	19			

Anexo 32

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (Ca) previa a la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	62,98	4	15,75	2,16	0,1356
Repetición	102,95	3	34,32	4,71	0,0214
Error	87,46	12	7,29		
Total	253,39	19			

Anexo 33

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (Mg) previa a la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	1,52	4	0,38	0,90	0,4936
Repetición	1,50	3	0,50	1,19	0,3552
Error	5,06	12	0,42		
Total	8,08	19			

Anexo 34

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (Na) previa a la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,01	4	0,03	0,32	0,8589
Repetición	0,03	3	0,01	1,86	0,1902
Error	0,07	12	0,01		
Total	0,11	19			

Anexo 35

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (K) después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,40	4	0,10	1,36	0,3050
Repetición	3,51	3	1,17	15,98	0,0002
Error	0,88	12	0,07		
Total	4,70	19			

Anexo 36

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (Ca) después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	82,47	4	20,62	1,26	0,3374
Repetición	112,69	3	37,56	2,30	0,1292
Error	195,91	12	16,33		
Total	391,07	19			

Anexo 37

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (Mg) después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	2,16	4	0,54	5,51	0,0094
Repetición	1,77	3	0,59	6,00	0,0097
Error	1,18	12	0,10		
Total	5,11	19			

Anexo 38

Análisis de varianza para la variable concentración de bases intercambiables (Na) después de la aplicación de las alternativas nutricionales

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,03	4	0,01	1,76	0,2023
Repetición	0,03	3	0,01	2,28	0,1313
Error	0,04	12	0,03		
Total	0,10	19			

Anexo 39

Análisis de varianza para la variable niveles de CICE previa a la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	66,11	4	16,53	1,42	0,2849
Repetición	95,98	3	31,99	2,76	0,0883
Error	139,23	12	11,60		
Total	301,32	19			

Anexo 40

Análisis de varianza para la variable niveles de CICE después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	65,40	4	16,35	0,96	0,4627
Repetición	112,96	3	37,65	2,22	0,1388
Error	203,80	12	16,98		
Total	382,16	19			

Anexo 41

Análisis de varianza para la variable niveles de pH previa a la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,17	4	0,04	1,07	0,4125
Repetición	1,12	3	0,37	9,46	0,0017
Error	0,47	12	0,04		
Total	1,76	19			

Anexo 42

Análisis de varianza para la variable niveles de pH después de la aplicación de las alternativas nutricionales.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,43	4	0,11	3,69	0,0351
Repetición	0,18	3	0,06	2,12	0,1516
Error	0,35	12	0,03		
Total	0,96	19			

Anexo 43

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (N) a nivel foliar previa a la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,05	4	0,01	1,77	0,1994
Repetición	0,79	3	0,26	39,50	0,001
Error	0,08	12	0,01		
Total	0,92	19			

Anexo 44

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (P) a nivel foliar previa a la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	8,3E-04	4	2,1E-04	1,93	0,1700
Repetición	0,04	3	0,01	124,45	0,0001
Error	1,3E-03	12	1,1E-04		
Total	0,04	19			

Anexo 45

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (K) a nivel foliar previa a la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,28	4	0,07	1,30	0,3250
Repetición	5,05	3	1,68	31,19	0,0001
Error	0,65	12	0,05		
Total	5,98	19			

Anexo 46

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (Ca) a nivel foliar previa a la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	2,9E-03	4	7,3E-04	0,67	0,6228
Repetición	0,08	3	0,03	24,05	0,0001
Error	0,01	12	1,1E-03		
Total	0,09	19			

Anexo 47

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (Mg) a nivel foliar previa a la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	8,3E-04	4	2,1E-04	0,84	0,5267
Repetición	0,10	3	0,03	134,79	0,0001
Error	3,0E-03	12	2,5E-04		
Total	0,10	19			

Anexo 48

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (S) a nivel foliar previa a la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	7,2E-04	4	1,8E-04	1,54	0,2519
Repetición	0,05	3	0,02	147,93	0,0001
Error	1,4E-03	12	1,2E-04		
Total	0,05	19			

Anexo 49

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (N) a nivel foliar después de la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,16	4	0,04	2,29	0,2212
Repetición	0,14	3	0,14	8,15	0,0462
Error	0,07	4	0,02		
Total	0,37	19			

Anexo 50

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (P) a nivel foliar después de la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	1,9 E - 04	4	4,8E - 04	1,67	0,3164
Repetición	3,6E - 04	3	3,6E - 04	1,26	0,3239
Error	1,1E - 03	12	2,9E - 04		
Total	3,4E - 03	19			

Anexo 51

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (K) a nivel foliar después de la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,25	4	0,06	0,52	0,7315
Repetición	6,4E - 04	3	6,4E - 04	0,01	0,9460
Error	0,49	12	0,12		
Total	0,75	19			

Anexo 52

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (Ca) a nivel foliar después de la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	0,01	4	3,0E-03	0,88	0,5477
Repetición	0,00	3	0,00	0,00	0,999
Error	0,01	12	3,4E - 03		
Total	0,03	19			

Anexo 53

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (Mg) a nivel foliar después de la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	2,3E – 03	4	5,7E-04	0,37	0,8203
Repetición	1,4E-03	3	1,0E - 03	0,66	0,4635
Error	0,01	12	1,5E-03		
Total	0,01	19			

Anexo 54

Análisis de varianza para la variable concentración de macronutrientes (S) a nivel foliar después de la aplicación de las alternativas nutricionales en el cultivo de banano.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-valor
Tratamientos	71,4E-03	4	3,6E-04	2,57	0,1913
Repetición	4,9E – 04	3	4,9E – 04	3,50	0,1347
Error	5,6E-04	12	1,4E-04		
Total	2,5E – 03	19			

7.2 Anexos del manejo de la investigación



Figura 1. Identificación de tratamientos



Figura 2. Identificación de tratamientos



Figura 3. Planta con síntomas de mal de balastro



Figura 4. Muestreo de raíces



Figura 5. Muestreo de suelo



Figura 6. Muestras de tejido foliar



Figura 7. Carga de fertilizantes



Figura 8. Fertilizantes



Figura 9. Mezcla de fertilizantes



Figura 10. Aplicación de fertilizantes



Figura 11. Unidad experimental



Figura 12. Registro de altura



Figura 13. Registro de circunferencia



Figura 14. Registro de emisión foliar