

ESCUELA SUPERIOR POLITÈCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“ESTUDIO DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE
MICRONUTRIENTES SOBRE PARAMETROS AGRONOMICOS
Y SANITARIOS EN PLANTAS DE BANANO, GRUPO
CAVENDISH EN CONDICIONES CONTROLADAS”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Presentada por:

José Luis Torres Gallegos

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que laboran en el Centro de investigaciones biotecnológicas del Ecuador (CIBE), que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo, pero muy en especial a la Dr. Efrén Santos por su gran paciencia y apoyo incondicional, además al Dr. Eduardo Chica.

DEDICATORIA

A DIOS

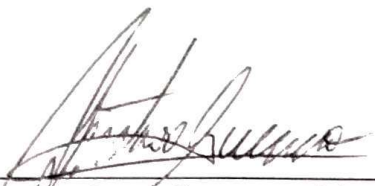
A MIS PADRES

A MIS ABUELOS

A MIS HERMANOS

A MI FAMILIA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FINCP
PRESIDENTE



Dr. Efrén Santos O.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Roberto Burbano V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente a mi; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Handwritten signature of José Luis Torres Gallegos, written in black ink. The signature is stylized and cursive, with a horizontal line drawn through it.

José Luis Torres Gallegos

RESUMEN

El cultivo de banano es el mas importante en la economía del país y desde hace dos décadas enfrenta un problema fitosanitario foliar de difícil manejo conocido como Sigatoka negra el cual es producido por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, esto representa un rubro substancial en los costos de producción del banano y un impacto ambiental negativo por las excesivas aplicaciones de fungicidas, al causar daños al medio ambiente y así desgastar los suelos por los mismos. Se evaluó el efecto de micronutrientes orgánicos e inorgánicos sobre parámetros de desarrollo agronómico en plantas de banano Cavendish (AAA), cultivar 'Williams' y de la severidad de la Sigatoka negra en condiciones de invernadero, también se analizo y comparo el efecto directo de Metalozatos sólidos y líquidos, sobre *Mycosphaerella fijiensis*, el agente causal de la Sigatoka Negra, y su hospedero. Cuatro micronutrientes, cobre, boro, manganeso, zinc, inorgánicos y orgánicos, fueron aplicados a plantas de banano a concentraciones baja media y alta a intervalos semanales, su experimentación proporciono evidencia sobre el efecto inhibitorio de algunos micronutrientes, los que reducen la Sigatoka negra en las plantas de efecto invernadero en aplicaciones semanales, el Zn(500g/ha) y Mn(200g/ha) mostró una acción favorable en la inhibición del crecimiento y desarrollo de Sigatoka negra en todas las inoculaciones de *M. fijiensis*. Las dosis aplicadas pueden ser implementadas en los planes de control de algunos productores de banano en el Ecuador.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. EL CULTIVO DEL BANANO	5
1.1. Origen.....	5
1.2. Importancia Económica	7
1.3. Clasificación Taxonómica	8
CAPÍTULO 2	
2. RELACIÓN EN EL MANEJO DE ENFERMEDADES Y NUTRICIÓN.....	12
2.1. Mecanismos de Resistencia de las Enfermedades.....	12
2.1.1. Defensas Preformadas de las Plantas.....	12
2.1.2. Defensas Inducidas por la Presencia del Patógeno	13
2.2. Nutrición del Banano.....	17

2.2.1. Requerimientos de los Macronutrientes en Banano	18
2.2.2. Función de los Macronutrientes	20
2.2.3. Efectos de Deficiencia de los Macronutrientes.....	23
2.2.4. Requerimientos de los Micronutrientes en Banano.....	27
2.2.5. Función de los Micronutrientes.....	30
2.2.6. Efectos de la Deficiencia de Micronutrientes.....	35
2.2.7. Diferencia entre Sulfatos y Metalosatos.....	40
2.2.8. Uso de los Metalosatos en el Control de Enfermedades.....	42

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.1. Materiales.....	43
3.1.1. Colonias.....	43
3.1.2. Conidias.....	44
3.1.3. Plántulas de Banano.....	44
3.1.4. Materiales de Laboratorio e invernadero.....	44
3.1.5. Micronutrientes.....	44
3.1.6. Metodología.....	45

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1. Resultados	52
4.2. Discusión.....	61

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1. Conclusiones.....	66
5.2. Recomendaciones.....	67

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

cm	Centímetros
mm	Milímetro
ABC	Área bajo la curva
ml	Mililitros
ppm	Partes por millón
g	Gramos
ha	Hectárea
lt	Litros
PIB	Producto Interno Bruto
Ton	Toneladas
Alt	Altura
EF	Emisión Foliar
Test	Testigo
(O)	Orgánico
(I)	Inorgánico
H	Hoja
Spad	Unidades usadas por el equipo SPAD-502, esta unidad se basa en la refracción de luz de la clorofila. La luz refractada es inversamente proporcional a la luz absorbida por la clorofila

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Estructura de la Hoja.....	Pág. 13
Figura 3.1	Diferentes estados de la hoja de crecimiento activo, “cigarro” o “candela”, de acuerdo a la escala de Brun (1963).....	50
Figura 4.1	Incremento en Altura de las plantas (cm) promedios de 9 evaluaciones tomadas cada 7 días, Productos Orgánicos e Inorgánicos, con diferentes dosis A: alta M: media B: baja de Cobre, Manganeso, Zinc, Boro, con testigos convencional y Absoluto.....	53
Figura 4.2	Incremento Emisión Foliar (Escala de Brun), promedios de 9 evaluaciones tomadas cada 7 días, Productos Orgánicos e Inorgánicos, con diferentes dosis A: alta M: media B: baja de Cobre, Manganeso, Zinc, Boro, con testigos convencional y Absoluto.....	54
Figura 4.3	Clorofila (Spad) de hojas de las plantas, promedios de 9 evaluaciones tomadas cada 7 días, Productos Orgánicos e Inorgánicos, con diferentes dosis A: alta M: media B: baja de Cobre, Manganeso Zinc, Boro, con testigos convencional y Absoluto.....	55
Figura 4.4	Grosor hoja 1 de las plantas (mm), promedios de 9 evaluaciones tomadas cada 7 días, Productos Orgánicos e Inorgánicos, con diferentes dosis A: alta M: media B: baja de Cobre, Manganeso, Zinc, Boro, con testigos convencional y Absoluto.....	56
Figura 4.5	Grosor hoja 2 de las plantas (mm), promedios de 9 evaluaciones tomadas cada 7 días, Productos Orgánicos e Inorgánicos, con diferentes dosis A: alta M: media B: baja de Cobre, Manganeso, Zinc, Boro, con testigos convencional y Absoluto.....	57

Figura 4.6	Severidad en Hoja 3 con respecto a incidencia de Sigatoka Negra, promedios de 9 evaluaciones tomadas cada 7 días, Productos Orgánicos e Inorgánicos, con diferentes dosis A: alta M: media B: baja de Cobre, Manganeso, Zinc, Boro, con testigos convencional y Absoluto.....	59
Figura 4.7	Severidad en Hoja 4 con respecto a incidencia de Sigatoka Negra, promedios de 9 evaluaciones tomadas cada 7 días, Productos Orgánicos e Inorgánicos, con diferentes dosis A: alta M: media B: baja de Cobre, Manganeso, Zinc, Boro, con testigos convencional y Absoluto.....	60

INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano es el más importante en la economía del país y desde hace dos décadas enfrenta un problema fitosanitario foliar de difícil manejo conocido como Sigatoka negra, el cual es producido por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*.

La Sigatoka negra, representa un rubro substancial en los costos de producción del banano y un impacto ambiental negativo por las aplicaciones de fungicidas, las mismas que se realizan con una frecuencia promedio de 24 ciclos al año (77).

Este impacto ambiental negativo, amenaza la sostenibilidad del banano ya que *Mycosphaerella fijiensis* desarrolla insensibilidad al ser expuesto a continuas aplicaciones de fungicidas de alto riesgo, lo que en términos económicos significa una dependencia cada vez mayor a estos productos y un incremento en los costos de producción (16). Para disminuir el impacto ambiental negativo de las aplicaciones de fungicidas utilizadas en el manejo de la Sigatoka negra se desarrollan nuevas alternativas de manejo, una de estas alternativas es la utilización de micronutrientes sólidos y líquidos tanto a nivel radicular como foliar. Por experiencias en diferentes ensayos preliminares, las aplicaciones de micronutrientes sólidos y líquidos podrían

ayudar en el manejo de la Sigatoka negra en banano. Los biofertilizantes líquidos y sólidos, que se preparan en fincas bananeras ecuatorianas, son productos que resultan de la fermentación anaeróbica de materia orgánica de origen animal y vegetal. Una de las características principales, según análisis químicos realizados a esta clase de productos, poseen elevadas cantidades de macro y micronutrientes en las cuales se basa su efecto nutricional. Un primer estudio, evidenció que los Micronutrientes actúan sobre el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis* al detener el avance de la enfermedad (49).

En el presente estudio se analiza el efecto directo de la aplicación de micronutrientes en formulaciones orgánicas e inorgánicas, sobre la infección de *M. Fijiensis* en hojas de banano, bajo condiciones de invernadero. Por otro lado, se espera que con la aplicación de productos en evaluación, se pueda implementar una nueva tecnología para la utilización de estos productos. Además, la evaluación sobre parámetros agronómicos y fitosanitarios de plántulas, en condiciones semicontroladas versus tratamientos convencionales de fertilización y tratamiento sin aplicaciones, permitirán deducir el efecto de acuerdo a las características de contenido nutricional de los productos valorados, permitirán relacionar su contenido nutricional con sus efectos directos sobre el patógeno.

Esta investigación fue orientada a la validación de la siguiente hipótesis:

1. “Los Micronutrientes son fuentes nutritivas que al ser aplicados directamente al follaje, mejoran las características agronómicas de las plantas e inhiben el desarrollo de Sigatoka negra”.

Planteada la hipótesis, el objetivo general de este trabajo fue:

Analizar y comparar el efecto directo de Micronutrientes líquidos y sólidos, preparados de 3 diferentes dosis (Alta- Media-Baja) en la severidad de la Sigatoka negra en banano.

Objetivos Específicos

Para cumplir con este requerimiento, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Monitorear *in vivo* el efecto de tres concentraciones de cobre, boro, zinc y manganeso en presentaciones orgánicas e inorgánicas sobre aspectos agronómicos y fisiológicos de plantas de banano en invernadero cada 7 días.

2. Evaluar la eficacia de los micronutrientes en dosis altas, medias, bajas de cobre, boro, zinc y manganeso en formulaciones orgánicas e inorgánicas en banano y sus efectos directos en el desarrollo de la Sigatoka negra en invernadero.

CAPÍTULO 1

1.EL CULTIVO DE BANANO.

1.1 Origen.

El banano se origina en el Sudeste de Asia, en las junglas de Malasia, Indonesia y Filipinas, y está distribuido desde África Occidental hasta el Pacífico (45).

Los primeros europeos que conocieron este cultivo fueron los guerreros de Alejandro El Grande mientras hacían campaña en India en el año 327 AC. Los árabes luego lo introdujeron a África de donde los portugueses lo llevaron a las Islas Canarias (45).

Durante todos estos viajes el banano cambio y se diversificó gradualmente hasta perder sus semillas y convertirse en la fruta carnosa que hoy en día se conoce (20).

Cuando los exploradores españoles y portugueses fueron al Nuevo Mundo, el banano viajó con ellos y en 1516 Tomas de Berlanga lo introdujo a Santo Domingo, desde entonces se dispersó al Caribe y América Latina (20).

El banano empezó a ser negociado internacionalmente al final del siglo XIX, cuando sistemas de transportación adecuados para la fruta fueron creados. El primer bote diseñado especialmente para el transporte del banano fue construido en 1888, y el primer compartimiento refrigerado en un barco bananero fue instalado en 1901 (20).

Hasta 1960 el banano se exportaba en racimos, ese año, la Standard Fruit Company comenzó a embalar las manos de bananos, separadas en cajas de cartón con un peso de 20 a 22 Kg., procedimiento que luego fue imitado por las otras compañías exportadoras del producto (78).

1.2 Importancia Económica.

El banano es el cuarto cultivo de mayor importancia a nivel mundial luego del trigo, arroz y maíz. Es la fruta de mayor exportación en términos de volumen, y segunda luego de los cítricos, en términos de valor. La Quinta parte de la producción mundial de este cultivo es comercializada internacionalmente (47,46).

La industria del banano representa una importante fuente de ingresos y empleo para los principales países exportadores de Latinoamérica, el Caribe, Asia y África (35).

En el 2003, la producción mundial de banano fue liderada por India con aproximadamente 23% del total, mayor parte de la cual fue destinada al mercado domestico. En el 2004, 15.9 millones de toneladas de banano fueron exportadas a nivel mundial (35).

Los cuatro países que lideran las exportaciones son Ecuador, Costa Rica, Filipinas, y Colombia. Mientras que los mayores productores son India, Brasil, China, Ecuador, Filipinas, Indonesia, Costa Rica, México, Tailandia y Colombia (35).

En Ecuador, primer exportador y cuarto productor del mundo, las divisas generadas por este cultivo representan el 32% del comercio mundial del banano y contribuyen con un 3.84 % del producto interno bruto total, 50% del PIB Agrícola y 20% de las exportaciones privadas del país (4).

Las inversiones en la actividad y en las Industrias colaterales generan trabajo para más de 500.000 familias, esto es más de 2,5 millones de personas localizadas en nueve provincias que dependen de la Industria Bananera Ecuatoriana (4).

1.3 Clasificación Taxonómica

La clasificación taxonómica del banano ha sido objeto de mucho estudio debido a su complejidad. Los cultivares de banano y plátano son derivados de las especies silvestres *Musa acuminata* Colla y *Musa balbisiana* Colla. Los híbridos provenientes de estas dos especies son muchas veces nombrados como *Musa X paradisiaca* L., *Musa X sapientum* L., o incluso, *M. acuminata X M. balbisiana* Colla, para ser más precisos (65).

A partir de 1753, en base de escasos ejemplares disponibles en Europa, Linneo clasificó a dos especies de banano como *Musa paradisiaca* y *Musa sapientum* (78).

Dicha clasificación se utilizó durante casi dos siglos debido a que las variedades introducidas en América y África se relacionan estrechamente (78).

En 1948 el botánico Cheesman descubrió que las especies descritas y publicadas en los dos siglos anteriores fueron numerosas y a la vez desprolijas. Es entonces cuando, luego de algunos estudios, Cheesman identificó a los tipos linneanos como híbridos producidos por el cruzamiento de dos especies descritas por Luigi Colla, *M. acuminata* y *M. balbisiana*. A partir de ellos, clasificó a las múltiples variedades cultivares en tres grupos según su dotación genética; uno de ellos descendería principalmente de cada una de las especies progenitoras, mientras que un tercero estaría formado por híbridos de rasgos mixtos (20).

A mediados de los años 50's Simmonds y Shepherd, que también trabajaron con Cheesman, propusieron un sistema único para la denominación de aquellas especies.

Este sistema consistía en la sustitución de los nombres linneanos por un código *ad hoc* para expresar el genotipo de la variedad. Cada híbrido se identificaría por una clave de entre dos y cuatro letras, de acuerdo a su ploidía. Cada letra respondería al origen de la variedad, siendo A para designar una rama genética procedente de *M. acuminata* o B para una procedente de *M. balbisiana*. De ese modo, un híbrido triploide con dos juegos de cromosomas procedentes de *M. acuminata* y uno de *M. balbisiana* se identificaría como AAB, y un diploide puro de *M. balbisiana* como BB, (78).

Las investigaciones han revelado que las variedades de origen A son más numerosas que las de origen B; la mayoría de los cultivares son AAA o AAB, varios plátanos son ABB, y AB. Los tetraploides del tipo AABB o AB BB son más raros (78).

Aunque la expresión botánicamente más correcta para designar a las especies de banano sería *M. acuminata x balbisiana* de acuerdo a las reglas del Código Internacional de Nomenclatura Botánica, el nombre linneano cuenta con prioridad y usado para designar genéricamente a las variedades tanto en su forma original como en la modificada *Musa x paradisíaca* (80).

Clasificación Científica del Banano

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Zingiberales
Familia:	Musácea
Genero:	Musa
Especie:	<i>M. paradisíaca</i>

Nombre binomial: *Musa x paradisiaca*, (52).

CAPÍTULO 2

2. RELACIÓN ENTRE EL MANEJO DE ENFERMEDADES Y NUTRICIÓN.

2.1 Mecanismos de Resistencia de las Enfermedades.

Las plantas están expuestas a patógenos de diversa naturaleza que pueden causarles enfermedad e incluso la muerte. Es por esto que las plantas poseen diferentes mecanismos de resistencia o defensa:

2.1.1 Defensas Preformadas de las Plantas

a) Bioquímicas

Involucran tres grandes grupos de compuestos: péptidos y proteínas; metabolitos secundarios, e inhibidores de proteasas. La mayoría de las plantas sanas poseen muchos metabolitos secundarios con propiedades antimicrobianas. Estos compuestos inhibidores

preformados se encuentran almacenados en vacuolas u otras organelas de las capas celulares externas de la planta (22).

b) Mecánicas

Incluyen grosor de la epidermis, calidad de la cutícula, forma, tamaño y localización de las estomas.

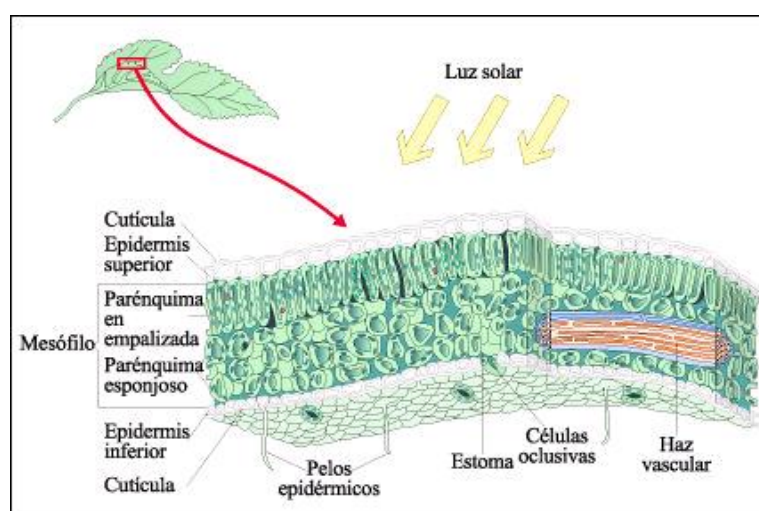


FIGURA 1.1. **ESTRUCTURA DE LA HOJA** (22).

2.1.2 Defensas Inducidas por la Presencia del Patógeno

Las plantas para activar sus respuestas de resistencia o defensa rápidamente, emplea un sistema de vigilancia sofisticado capaz de distinguir entre las señales propias y las generadas por un patógeno. Las plantas también son capaces de discriminar las señales emitidas por agentes patógenos de las generadas por organismos benéficos (22).

La respuesta de la planta es modificar el metabolismo de las células vegetales involucradas en la reacción de defensa, esto incluye la activación de genes implicados en funciones de defensa, la apertura de canales para el intercambio de iones, la modificación de proteínas y la activación de enzimas preexistentes (22).

Estas respuestas inician una contestación sistemática de más larga duración denominada *Resistencia Sistémica Adquirida* (SAR) que previene a la planta y a otras vecinas contra ataques futuros del mismo u otros patógenos. Dado que estas respuestas requieren una gran inversión de componentes celulares, las defensas se mantienen bajo un ajustado control genético y solo se activan frente a la presencia del patógeno (22).

Entre otras respuestas de defensa inducidas por la presencia del patógeno, se pueden distinguir:

Respuesta Hipersensible

Es la rápida activación de las reacciones de defensa asociadas a la muerte celular en la planta huésped. Esta respuesta afecta al patógeno de diferentes maneras: en el caso de los biótrosos, los limita del acceso a más nutrientes; en el caso de los necrótrofos, la muerte

celular resultaría en la liberación de sustancias inhibitorias para el patógeno.

a) Activación de Proteínas Relacionadas a la Patogénesis (Proteínas PR)

Son proteínas sintetizadas por la planta en respuesta al ataque del patógeno que se acumulan rápidamente después del reconocimiento. Algunas PR son quitinasas o glucanasas, enzimas capaces de degradar a los polisacáridos que constituyen la pared celular de muchos hongos, al reducir su crecimiento. Otras enzimas pueden ser las lipoxigenasa, ya que generan moléculas que extienden a toda la planta el estado de alerta.

b) Síntesis de Fitoalexinas

Son moléculas que tienen actividad antimicrobiana. Se acumulan rápidamente en los sitios de interacción con el patógeno y se biosintetizan y utilizan rutas metabólicas activadas por la presencia del patógeno.

c) Silenciamiento de Expresión Génica Post-Transcripcional

Es inducido tras la invasión de la planta por distintos virus. La planta es capaz de reconocer estadios de la replicación viral o una cantidad elevada de ácidos nucleicos por consecuencia de la replicación del virus. Como respuesta, se induce el mecanismo que consiste en la degradación del ARN viral.

d) Respuestas Estructurales

Al tener, el entrecruzamiento de componentes de la pared celular y la expulsión de papilas formadas en el sitio por el cual el patógeno intenta ingresar (22).

La Base Genética de la Resistencia a Enfermedades de las Plantas (Modelo Gen Por Gen)

Este modelo predice que la activación de los mecanismos de defensa que culminan en la resistencia de la planta a la enfermedad, ocurrirá cuando la planta posea un *gen de resistencia (R)* dominante y el patógeno exprese el *gen de la virulencia (Avr)* complementario. El modelo se cumple para la mayoría de las interacciones con patógenos biótropos.

De la interacción entre la planta y el patógeno, puede surgir también una respuesta conocida como:

Tolerancia

Significa que la interacción es compatible, pero la planta restringe los procesos bioquímicos requeridos para el desarrollo de los síntomas. Como consecuencia, el daño se mantiene en bajos niveles aun cuando las plantas están severamente afectadas. Las plantas tolerantes a las enfermedades pueden actuar como reservorios de patógenos que, a partir de ellas, pueden pasar a especies susceptibles. (22).

2.2.Nutrición del Banano

La nutrición del banano es un factor primordial en el incremento de la producción y la calidad post cosecha del producto, la tolerancia de las plagas y enfermedades, en vista que de una forma directa o indirecta los nutrientes actúan en procesos fisiológicos de vital importancia y forman parte de las estructuras de crecimiento y reproducción (1, 82).

2.2.1. Requerimientos de los Macronutrientes en Banano

Nitrógeno

Es un elemento requerido por el cultivo del banano, se estima que una producción de 70 Ton extrae del suelo 125 Kg./Ha/año (44). Se lo puede obtener de la materia orgánica al suplir las necesidades de este, pero aun así no en las cantidades necesarias por lo que se debe recurrir al nitrógeno mineral lograr los rendimientos adecuados (44).

Fósforo

Elemento que se absorbe en forma de Ion (H_2PO_4) con un pH entre 5.5-7.0, es un elemento poco móvil y es reutilizado por las plantas. Se estima que una producción de 70 Ton extrae 15 Kg. /Ha/año, al ser una cantidad baja en comparación con otros macro nutrientes, se requiere mayormente en su desarrollo vegetativo (44,56).

Potasio

Este cultivo tiene una necesidad elevada de este elemento, una producción de 70 Ton puede extraer 400 Kg./Ha/año (56).

Las cantidades suministradas al cultivo varían desde los 80 a 1000 Kg. /Ha/año. Por esto este elemento se vuelve esencial para todos los organismos vivos, especialmente en las plantas, pues no solo se lo

encuentra en los tejidos sino que participa activamente en las funciones fisiológicas y bioquímicas (56).

Azufre

El requerimiento es similar a los del Fósforo, una producción de banano de 70 Ton remueve cerca de 14 Kg. S/ Ha/ año, el Azufre se encuentra en el suelo de forma orgánica e inorgánica. Su absorción por las plantas se da como ión $(SO_4)^{2-}$ y además no es muy alterada por el pH (56).

Calcio

Las dosis en las que se aplica este nutriente por lo general son moderadas en banano debido a su abundancia en los suelos (44). Se estima que una producción de 70 Ton de banano extrae 10 Kg Calcio/ Ha/ año (44).

Magnesio

Se estima que las cosechas extraen entre 10 y 60 Kg de Magnesio Ha/ año. En banano los requerimientos de Magnesio no son altos, se estima que 70 ton de producción remueven 20Kg de Magnesio/ Ha/ año. El Magnesio tiene antagonismo con el Potasio (44).

2.2.2. Función de los Macronutrientes

Nitrógeno

Es un importante elemento constituyente de la clorofila, protoplasma, proteínas y los ácidos nucleicos, así como su participación en un sinnúmero de procesos metabólicos a nivel fisiológico (74).

Fósforo

El Fósforo cumple una función muy importante en la transferencia de energía, ya que los carbohidratos antes de ser metabolizados son fosforilados, la fosforilación es el proceso por el cual se almacena la energía mediante el cambio de ADP en ATP (74).

La presencia de Fósforo en la estructura molecular de los azúcares hace que estos sean más reactivos. En la transferencia de energía por fosforilación, juegan un papel importante los nucleótidos altamente reactivos: ATP (adenosina trifosfato), ADP (adenosina difosfato), GTP (guanosina trifosfato), GDP (guanosina difosfato), UTP (uridina trifosfato), UDP (uridina difosfato), CTP (citosina trifosfato) y CDP (citosina difosfato) (23, 67). En ciertas condiciones la planta puede absorber fosfato orgánico soluble que incluye ácidos nucleicos, la porción de ácido inorgánico absorbida es rápidamente combinado en moléculas orgánicas que entran a las raíces y son transportados hacia los brotes (10).

Potasio

Es absorbido por las plantas como ión Potasio y actúa como catalizador en procesos de respiración, fotosíntesis, formación de clorofila y regulación de contenido de agua (44, 56). Activa alrededor de 60 enzimas, su gran actividad se debe a su bajo radio iónico que le brinda gran movilidad al pasar por las membranas. Entre sus roles enzimáticos más importantes se tiene la acción sobre la enzima sintetasa del almidón (28). Además de la activación de enzimas el Potasio realiza tres funciones interrelacionadas, participación en el transporte de a través de la membrana, neutralización de aniones y de mantener el potencial osmótico al regular la turgencia de los tejidos (17).

Azufre

El Azufre tiene un papel fundamental en la estructura de proteínas ya que su formación está ligada a los grupos sulfuros y aminoácidos. Participa también en el transporte fotosintético y respiratorio de electrones por medio de agrupamiento de Hierro-Azufre. Las canalizaciones de varias enzimas y coenzimas contienen Azufre. Los compuestos secundarios de Azufre se derivan de nódulos de rizobios (44).

Calcio

Este elemento es componente de los péctatos de Calcio, que son importantes en la estructura de la pared celular, y se integran en cadenas pépticas como el boro que contribuye con su estabilidad y afecta sus propiedades mecánicas (55). Se conoce un rol enzimático del Calcio a través de la calmodulina, que es una proteína con 8 aminoácidos con 4 átomos de Calcio presente en la pared celular (27, 67).

Participa en la selectividad del transporte de iones que atraviesan la membrana celular. De esta manera se previene la integridad de la membrana y por lo tanto de las sustancias que ingresan al citoplasma. Protege a la membrana del ataque de los iones hidrógeno que perjudican las funciones de la membrana (64). La calmodulina activa la Ca-ATPasa que ayuda a mantener el bajo nivel de Calcio en el citoplasma, regulación muy importante, ya que si el nivel de Calcio se eleva se inhibe la acción de varias enzimas y también ocurre la producción de etileno que causa la senescencia de la célula (59, 70).

Magnesio

La importancia del Magnesio radica en que es el centro de las moléculas de clorofila a y b que se encuentran en los cloroplastos. Además mantiene las configuraciones de estas moléculas, por lo tanto

es básico para el proceso de fotosíntesis (36). Aparece también en la estructura de las pectinas y es parte integral de los ribosomas. Es fundamental para la formación de las estructuras del RNA y DNA (27, 67).

En el proceso de fijación de dióxido de carbono, activa a la enzima rubisco, al hacer que la misma incorpore más dióxido de carbono. Es por esto que tiene un efecto positivo en la asimilación de dióxido de carbono y procesos asociados como la producción de azúcares y almidón (67).

2.2.3. Efectos de Deficiencia de los Macronutrientes

Nitrógeno

Los bajos niveles de nitrógeno producen clorosis generalizada, un crecimiento lento y retardado. Los frutos tienen tonos vistosos, las secciones mas maduras de las plantas son las más afectadas ya que el Nitrógeno se transloca de las zonas más viejas de la planta hacia las zonas más jóvenes (27).

En el banano se observa el amarillamiento de las hojas por la falta de clorofila, al principio se presenta en las hojas más viejas pero luego continúa hacia las jóvenes, también los pecíolos de las hojas más afectadas se tornan rosados. La tasa de producción de las hojas y su

filotaxia se reduce. También la altura de las plantas y la longitud de las hojas disminuyen (44). Los bajos niveles de Nitrógeno estimulan la síntesis de ABA de la raíces y su transporte a la parte aérea, lo que provoca el cierre de estomas acelera la senescencia por la producción de etileno (67).

Fósforo

Bajo la deficiencia del Fósforo el follaje se torna azul verdoso y el crecimiento se reduce. Frecuentemente se desarrollan pigmentos verde amarillos, púrpuras y marrones en las hojas en especial a lo largo de las nervaduras (27). En el banano, la deficiencia de Fósforo se presenta con una coloración verde oscura azulada del follaje. Las hojas más viejas presentan una necrosis a manera de sierra, lo que posteriormente causa la muerte prematura del tejido (44). La reducción del crecimiento de la planta madre como de sus hijos, además la tasa de emisión foliar, la longitud y el espacio entre las hojas disminuye (44).

Potasio

Ante los bajos niveles de Potasio las plantas presentan pequeñas manchas de tejido necrótico en las hojas, puede existir también una necrosis marginal. El crecimiento de las plantas no es normal y bajo condiciones severas las yemas laterales y terminales pueden morir

(9).En banano se observa clorosis en las hojas, una coloración amarillo naranja en la punta de las hojas más viejas, luego un plegamiento hacia el interior de la hoja y provoca su muerte, otro síntoma de deficiencia es la lentitud del igual que un acortamiento de los entrenudos también denominado arrepollamiento, los racimos aparecen cortos, raquíuticos y de bajo peso (44).

Azufre

Usualmente está asociado con el déficit de Nitrógeno, cuando existe deficiencia de Azufre las plantas se presentan cloróticas, espigadas y de poco crecimiento. La Clorosis que sucede en la planta comienza en las hojas jóvenes a diferencia de la Clorosis causada por falta de Nitrógeno (79). Los síntomas de deficiencia de Azufre se observan en hojas jóvenes, las mismas que toman un color blanco amarillento. Si la falta de Azufre, es mayor hay presencia de manchas necróticas en los bordes de las hojas y de un engrosamiento en las nervaduras (5).

Calcio

Un bajo nivel de Calcio causa la pérdida de selectividad de la membrana celular, y provoca la entrada libre de iones tóxicos o metales pesados como el Aluminio. Este elemento es responsable de la fusión del aparato de Golgi y su ausencia induce a trastornos en el metabolismo celular (67). Las plantas deficientes de Calcio

típicamente presentan en la parte superior de los hijos amarillo verdosos, las partes bajas son verde oscuro y el crecimiento de flores, frutos y raíces se ve afectado (60). En el caso de las raíces estas son severamente dañadas y quedan predispuestas a cualquier infección de hongos y bacterias (27).

En el banano su deficiencia es notoria en hojas jóvenes, que provoca el engrosamiento de las nervaduras secundarias pero en especial de la central todo esto acompañado de una clorosis marginal entre nervaduras, luego las hojas se deforman hasta el punto de la desaparición de la lámina foliar y la detención de la emisión foliar y un aspecto raquíptico de la planta (44).

Magnesio

En las plantaciones de banano la deficiencia de este nutriente se manifiesta con una decoloración foliar y moteado de los pecíolos, una clorosis o amarillamiento de los semi-limbos de las hojas viejas, luego, con el tiempo estos puntos toman tonalidades oscuras hasta volverse necróticos, al final adquiere un color dorado intenso (44).

Otro síntoma de carencia de magnesio es la coloración azul púrpura en los pecíolos de las hojas afectadas. Se pueden presentar parches amarillentos en la lámina foliar de las hojas intermedias, estas manchas son más intensas en plantas con racimo (61). Cuando la

deficiencia de magnesio es muy severa las vainas se despegan del pseudotallo y se rompe lo que provoca una senescencia prematura de la hoja (44).

2.2.4. Requerimientos de los Micronutrientes en Banano

Zinc

En banano, una cosecha de 50 toneladas extrae 500 g de Zinc/ Ha/ año. Usualmente las correcciones por falta de este elemento se las realiza con aplicaciones foliares (44).

Hierro

La disponibilidad del Hierro está altamente ligada al pH del suelo. En suelos ácidos es fácilmente absorbido, al contrario en suelos neutros y alcalinos se insolubiliza al ocasionar en la planta deficiencias (42). En el banano, una producción de 50 ton de la fruta remueve del campo 900 g/Ha/año (44).

Molibdeno

Su absorción está sujeta al pH, de esta manera un incremento de pH de 5,4 a 6,4 puede aumentar el contenido foliar de Molibdeno en un 500% (41, 44, 56). En el banano sus requerimientos son muy bajos, a nivel foliar alcanza cantidades entre 0,1 a 0,23mg/Ha. Cantidades que son muy bajas en comparación con los demás microelementos (44)

Manganeso (Mn)

El Mn es el décimo elemento más abundante sobre la corteza terrestre. La disponibilidad de este elemento puede ser afectada por el pH del suelo (19). Se estima que una producción de 50 ton de banano extraen 500 g de Mn/ha/año (44).

Sodio (Na)

El Sodio es conocido con el término “nutriente funcional”, ya que estos elementos son raros en la tierra pero promueven el crecimiento de la planta en ciertas circunstancias (34). Pocas plantas tienen alguna dificultad de completar su ciclo de vida en ausencia de Sodio, tales como las euhalofitas y las plantas C4 (51).

Níquel

El níquel forma parte de la metaloenzima ureasa, la cual descompone la urea en amoníaco y dióxido de carbono. Resulta esencial para las plantas que se abonan con urea o con sus derivados, ya que juega entonces un papel importante en el metabolismo nitrogenado (76).

Cobre

Uno de los primeros usos del Cobre en la agricultura fue en el control químico de malezas. Este micronutriente, en elevadas concentraciones es altamente tóxico. Es por esto que en casi todas las

plantas se encuentra presente como un complejo. Su absorción por las plantas está ligada a los niveles de pH. Su tasa de absorción esta entre las menores de todos los elementos esenciales (39).

Cobalto (Co)

La exigencia de Cobalto en las plantas superiores no ha sido establecida aún, pero es esencial en microorganismos incluidas las cianobacterias, ya que forma parte de la cobalamina, componente de varias enzimas en microorganismos fijadores de nitrógeno (69).

Boro (B)

En el banano, una producción de 50 ton extrae alrededor de 700 g de B/ ha/ año. Su deficiencia en este cultivo causa decoloraciones y deformaciones foliares (44).

Cloro (Cl)

La mayoría de las plantas absorben Cl de forma rápida y en cantidades considerables, esta absorción está sujeta a varios factores: concentración del nutriente, solución del suelo y a los inhibidores metabólicos (30).

Silicio

La información que existe referente a este nutriente es muy limitada, ya que hasta hace poco tiempo era catalogado como un elemento “no

esencial”, debido a que muchas plantas pueden crecer en carencia este elemento. En la actualidad se han realizado varias investigaciones alrededor de este elemento en diferentes cultivos, donde se ha demostrado los efectos beneficiosos que este tiene en las plantas (26).

2.2.5. Función de los Micronutrientes

Zinc

Este microelemento interviene en la síntesis de auxinas y es activador de varias enzimas como: la deshidrogenasa alcohólica, la dismutasa de súperóxidos y la anhidrasa carbónica. Entre estas enzimas la anhidrasa carbónica controla la disolución del dióxido de carbono en soluciones acuosas necesarias para la acción de la enzima rubisco en la fijación del dióxido de carbono atmosférico (67). Es activador de enzimas responsables de la síntesis de triptófano que es precursor de la auxina AIA, que acelera la división celular (21).

Hierro (Fe)

El Hierro es componente de los grupos hemo unidos a las porfirinas, está presente en la actividad del citocromo f, b 559, c y b. Está presente en enzimas respiratorias como: peroxidasa, catalasa, ferredoxina y citocromo-oxidasa. Ayuda a la protección de los

Cloroplastos de los radicales libres producidos durante las reacciones fotosintéticas (27, 41, 67).

Este elemento tiene un papel relevante en la cadena de transporte de electrones de la mitocondria, que es donde se genera la mayoría del ATP en la fosforilización oxidativa. Todos los miembros que forman parte de esta cadena de transporte son enzimas que contienen Fe (27).

Molibdeno (Mo)

La transición del Molibdeno es esencial para muchos organismos y aparece en más de 60 enzimas catalizadoras de reacciones de oxidación-reducción (81). Gran parte de este microelemento se encuentra en la enzima nitrato reductasa de las raíces y tallos de las plantas superiores. La nitrato reductasa reduce los nitratos que entran en la planta y regulan la reducción de nitratos a forma orgánica y además está asociada a la envoltura de los Cloroplastos (56, 67, 27, 41).

Manganeso

El Manganeso tiene un papel importante en el fotosistema 2, específicamente en la fotólisis del agua. En su ausencia los electrones del agua no podrían ser transferidos a la proteína 680 y como consecuencia la fotosíntesis es alterada. A esta acción se la conoce

como la reacción de Hill. Al igual que el Hierro, el Manganese también activa una superóxido dismutasa. Esta enzima actúa sobre el ácido indol acético, que al acumularse se vuelve toxico para las plantas (27, 67).

Al igual que el Cu el Mn forma parte de la desmutasa de súper oxido, esta enzima es muy difundida en los organismos aeróbicos. La función de esta enzima es dar protección contra los radicales de oxigeno libres que son altamente tóxicos. La desmutasa transforma estos radicales libres en agua (27).

Sodio

Es un estimulante del alargamiento celular, puede reemplazar al potasio en la activación de la ADP – glucosapirofosforilasa, compuesto que interviene en la síntesis del almidón. En plantas como las halófilas, el Sodio promueve su crecimiento (72).

Níquel

El Níquel forma parte de la metaloenzima ureasa, la cual descompone la urea en amoniaco y dióxido de carbono, y juega un papel importante en el metabolismo nitrogenado. También el níquel es un componente esencial en la hidrogenasis relacionada con la fijación de nitrógeno y otros procesos bacteriales asociativos (9).

Cobre

El Cobre es altamente toxico en concentraciones elevadas. Enlazado a enzimas participa en reacciones de oxido reducción con la excepción de ciertas amino oxidasas y galacto oxidasas. Muchas de las enzimas (tirosina, laccasa, acido ascórbico oxidasas, mono y diamino oxidasas, D-galactosa oxidasas, citocromo oxidasas) de las que el Cobre forma parte reaccionan con oxígeno y lo reducen a agua oxigenada o agua (41). El Cobre por ser un elemento de transición es capaz de transferir electrones, funciona también en el transporte de electrones y en la captura de energía por medio de proteínas y enzimas oxidativas (21).

Cobalto

El Cobalto no es conocido por ser un elemento esencial definitivo en las plantas superiores. El clorhidrato de Cobalto incrementa la elongación de las ramas cuando son aplicadas con Acido Indol Acético y Sacarosa, pero la elongación es inhibida por el acetato de Cobalto. El Cobalto en forma de vitamina B12 es necesario para el crecimiento de ciertos tejidos de plantas cultivadas in Vitro. Incrementa la tasa de síntesis de peróxidos y previene la destrucción peroxidativa del AIA (2). El Cobalto también es esencial para las cianobacterias, estas forman parte de la cobalamida que es componente de varias enzimas en los microorganismos fijadores de nitrógeno (69).

Boro

El Boro es requerido para el normal crecimiento de las plantas. Los procesos iniciales del control de la absorción del boro son localizados en las raíces (14). Entre sus funciones se encuentra la de ayudar a la elongación de las raíces, participa en el metabolismo del ácido nucleico, proteínas, amino ácidos y nitratos, también en el de las auxinas, fenoles y azúcares, es responsable de la formación de flores y la producción de semillas, juega un papel importante en el transporte de metabolitos a nivel de la pared celular, igual que en las actividades de las enzimas membrana - bordes (13).

Cloro

El Cloro que se lo encuentra en la planta como componentes orgánicos clorinados, tiene un alto grado de movilidad dentro de la misma y es esencial para muchas reacciones bioquímicas como fisiológicas (23). Entre sus funciones está la de optimizar la actividad enzimática de asparagina sintetasa, amilasa y ATPasa, participa como cofactor esencial de la activación de la enzima oxígeno envolvente, que está asociada con el fotosistema II, las cantidades de Cloro requeridas para las funciones bioquímicas son relativamente bajas en comparación con las usadas para la osmo regulación. La acumulación

de Cloro en las células incrementa la hidratación de los tejidos y la presión de turgencia (38,66).

Silicio

El Silicio más que cumplir funciones vitales en la planta, presenta efectos benéficos tales como la mejora de su composición química y estructural, ayuda en la resistencia mecánica ya que su acumulación engrosa la membrana silico-celulosa, se observa un incremento en el rendimiento de las plantas y en su actividad enzimática. Mejora la resistencia a plagas y enfermedades debido a que estimula la actividad de la citinaza y una rápida acción de las peroxidasas y polifenoxidasas después de una infección fungosa. Aumenta la tolerancia a la toxicidad por metales pesados, salinidad, heladas y así muchas características más que se investigan (14, 26).

2.2.6. Efectos de la Deficiencia de Micronutrientes

Zinc

Los signos iniciales de la deficiencia de Zinc, se presentan como una clorosis en las nervaduras principales y en las secundarias aparece un color verde amarilloso, el desarrollo de las hojas es menor que lo normal y los entrenudos se acortan (3). En algunas especies disminuye la floración y fructificación de las plantas, las hojas se

muestran torcidas, necrosadas o cloróticas, pero en otras puede aparecer una coloración verde oscura o azul verdosa (27).

En los cultivos de banano se observa además la formación de racimos pequeños y deformes, la distancia entre manos se acorta, notándose así una apariencia compacta. Los dedos son cortos y su sección terminal es alargada (44).

Hierro

La deficiencia de Hierro se manifiesta con una clorosis general, pero más marcada en las hojas jóvenes, algunas de sus nervaduras principales, pueden mantenerse verdes al principio, pero al final terminan presentando Clorosis (11). En el banano, la deficiencia de Hierro se presenta con el florecimiento anticipado, lo que produce racimos pequeños, existen casos en los que los racimos no son producidos (44).

Molibdeno

Los síntomas de deficiencia de Molibdeno suelen ser muy similares a los causados por la deficiencia de Nitrógeno, especialmente en las legumbres. Debido a su gran movilidad en el xilema y floema, los indicios de bajos niveles de este elemento son visibles en toda la planta (48). Tanto en el tomate como en otras especies se observa una Clorosis entre las nervaduras, las nervaduras se tornan de un

color verde claro que dan una apariencia mosqueada y los márgenes de las hojas tienden a torcerse y enrollarse. En brassicas, las hojas se tornan necróticas y se desintegran al dejar una delgada franja de hoja alrededor de la nervadura central (27).

Manganeso

Los síntomas de deficiencia de Manganeso en las hojas son claramente reconocibles, siempre que se exista una disminución significativa del crecimiento de la planta, estos síntomas incluyen clorosis entre las nervaduras en las hojas jóvenes, caso contrario a lo que ocurre con el Hierro. En casos severos, pueden aparecer manchas o rayas necróticas y estos se muestran primero en el centro de la hoja (38). En el banano, la deficiencia de Manganeso se manifiesta con tener un desarrollo pobre del fruto, debido a la pérdida prematura del follaje (44).

Sodio

La deficiencia de Sodio se presenta generalmente en forma de clorosis, necrosis e incluso llega a impedir la formación de flores en plantas que necesitan de este elemento en su nutrición (41).

Níquel

La deficiencia de níquel en las legumbres y otras dicotiledóneas pueden hacer disminuir la actividad de la ureasa, por lo tanto se

presentará una toxicidad a la urea, al mostrar una necrosis en las hojas. Con las plantas fijadoras de nitrógeno en cambio se observa una suspensión general del crecimiento de la planta (31). En gramíneas se presenta una clorosis similar a la que se observa por la falta de Hierro, que incluye, Clorosis entre las nervaduras y necrosis en las hojas jóvenes (14).

Cobre

Los síntomas de deficiencia de Cobre varían en dependencia de la especie, pero en términos generales se puede encontrar que en la planta empiezan a aparecer los brotes en forma de roseta, manchas necróticas, distorsión de las hojas y finalmente la muerte. Algunas plantas pueden presentar pérdida de turgencia y decoloración de ciertos tejidos, en otras se nota clorosis, reducción del crecimiento (12). En el cultivo del banano, los bajo niveles de Cobre pueden ocasionar una clorosis generalizada, un alineamiento de las hojas y se produce la curvatura de la nervadura central (44).

Cobalto

El Cobalto a lo largo del tiempo ha sido conocido como un micronutriente más para los animales y los seres humanos que para las plantas, ya que es un constituyente de la vitamina B12, necesaria para el normal funcionamiento y desarrollo de los humanos y animales

es por eso que su deficiencia en las planta no ha sido hasta ahora investigada (77).

Boro

Los bajos niveles de Boro se manifiestan en los cultivos de maneras variadas, pero en general se encuentran en las yemas apicales dañadas, e incluso pueden morir, los tejidos presentan un aspecto seco, duro y quebradizo. Se afecta la floración y los frutos se tornan igual que las hojas, secas duras, quebradizas y torcidas hacia arriba. Un efecto secundario de la deficiencia de Boro es el ataque de hongos y bacterias a las raíces (27).

Cloro

Los síntomas de deficiencia de Cloro han sido bien definidos para algunos cultivos, el síntoma descrito más común es el enrollamiento de las hojas, especialmente en los márgenes, a medida que la deficiencia se vuelve más severa las hojas pueden mostrarse enrolladas y necróticas, se puede presentar también como clorosis o una lesión necrótica en el tejido de la hoja (21). También provoca un enanismo y engrosamiento de las raíces. La pérdida de la turgencia celular es otro síntoma de la deficiencia de Cloro (67, 44).

Silicio

El Silicio hasta hace pocos años fue considerado como un elemento “no esencial”, porque existen plantas que mantienen un crecimiento normal ante la ausencia de este nutriente, pero hay investigaciones en cultivos como arroz, caña de azúcar, cebada, maíz, sorgo, pastos y otros más en los que se ha probado sus beneficios. Por lo tanto no se han observado síntomas visibles de la falta de este elemento en las plantas superiores (53).

2.2.7. Diferencia entre Sulfatos y Metalosatos

Los sulfatos son sales o ésteres que se derivan del ácido sulfúrico, contienen como unidad común el átomo de Azufre en el centro de un tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno, estos compuestos son absorbidos por la planta de manera lenta. Los sulfatos son activamente transportados dentro de las raíces de planta por protones, este transporte se da gracias al gradiente que hacen que estos atraviesen la membrana plasmática, esta absorción está condicionada por el estado del azufre en la planta que determina la actividad de absorción de los sulfatos (43); mientras que, los micronutrientes quelatados son generalmente la fuente más efectiva de brindar micronutrientes a la planta. Este sistema requiere que el agente quelante provea por lo menos dos grupos donadores para que se

combinen con el mineral. Uno de estos grupos viene generalmente del grupo amino ($-\text{NH}_2$) que forma una ligadura covalente compleja. El otro grupo donador es carboxilo ($-\text{COOH}$) y forma una ligadura iónica (44,50).

La quelación es un proceso natural que previene la precipitación de los nutrientes absorbidos. El ingreso de nutrientes catiónicos a las células de la planta serán quelatizados por medio de ácidos orgánicos y aminoácidos. Este proceso permitirá a los minerales moverse libremente dentro de la planta. Los ácidos orgánicos y los aminoácidos como el ácido cítrico y la glicina son agentes quelantes naturales, estos como los minerales contribuyen a la estabilidad de los quelatos, si el agente quelatante es muy fuerte lo puede volver poco asimilable a la planta, por otro lado un agente quelatante débil no podría proteger a los quelatos minerales de las reacciones químicas y reduciría la disponibilidad de los minerales en la planta (44).

Los metalosatos, son productos obtenidos de un proceso químico-biológico en el que el mineral o ion metálico está suspendido entre dos aminoácidos, rodeados de proteína vegetal hidrolizada de la misma manera que se hace en la naturaleza, los cuales pueden ser absorbidos y translocados muy fácilmente pues su tamaño molecular es inferior a los 10 angstrom y su peso molecular es inferior a los 100

daltons haciéndolos ideales para la nutrición vegetal. Aporta a la planta minerales y aminoácidos naturales que forman parte de las rutas metabólicas de las proteínas, a su vez las proteínas son muy importantes porque sin ellas no hay formación de nuevos compuestos necesarios para el crecimiento y división celular (75).

2.2.8. Uso de los Metalosatos en el Control de Enfermedades

Los metalosatos desempeñan un papel vital en los esquemas de la naturaleza funcionan directa e indirectamente para proveer energía al regular los procesos fisiológicos como:

Se ha comprobado que el Boro unido a fungicidas brinda un mecanismo adicional de tolerancia a la infección de patógenos gracias a la participación de agentes fenolitos en la lignificación de las paredes celulares. En estudios realizados en tomate se ha demostrado que el Zinc y el Cobre EDTA ayudan a reducir los daños causados por *Fusarium oxysporum* que elimina la acción del ácido Fusárico (18, 68).

El Silicio induce al fortalecimiento de las paredes celulares de las hojas en el cultivo del banano, como mecanismo de defensa contra posibles ataques de patógenos. El mantenimiento de la productividad a pesar del padecimiento de enfermedades en el cultivo de arroz es otro de los efectos del elemento (29).

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

La investigación se realizó en el invernadero del Departamento de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), edificio PROTAL de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus “Gustavo Galindo” ubicado en el Km 30,5 de la vía Perimetral en la ciudad de Guayaquil.

3.1 Materiales.

3.1.1 Colonias

En el campo, se seleccionaron hojas infectadas con *Mycosphaerella fijiensis*. y se separaron las partes con presencia de síntomas esporulantes. Luego se siguió el protocolo monospórico del CIBE para obtención de las conidias, al transferir las colonias a un medio PDA (APÉNDICE A) (17).

3.1.2 Conidias

Las colonias obtenidas mediante el procedimiento explicado anteriormente fueron subcultivadas sobre un medio PDA por 7 días, En igual forma se siguió protocolos del CIBE para la obtención del medio para inoculación controlada, conidias donadas por CIBE (APÉNDICE A) (17).

3.1.3 Plántulas de banano

Las plantas de banano, variedad Williams (grupo Cavendish, AAA), se obtuvieron a partir de micropropagación en el laboratorio de cultivo de tejidos de SEBIOCA.

3.1.4 Materiales de Laboratorio e Invernadero.

Los materiales y equipos utilizados en el desarrollo de la fase experimental, se encuentran detallados en el APÉNDICE B.

3.1.5 Micronutrientes

Los micronutrientes evaluados se obtuvieron de la compañía ALBION que los producen de forma orgánica e inorgánica como: Cobre, Boro, Zinc, Manganese (APÉNDICE C).

Los micronutrientes empleados en este estudio son producto de la quelación, que es un proceso en el cual se une un mineral

en dos o más lugares a una molécula orgánica específica, que forma un anillo. La molécula de aminoácidos y proteína vegetal hidrolizada sujeta al mineral como una garra, cubre y protege de interacciones adversas.

Los micronutrientes quelatados como el Cu, B, Zn, Mn, son unidos a aminoácidos, debido a que los aminoácidos son la base de la construcción de las proteínas y se encuentran en todo ser viviente, por eso la quelación de minerales con aminoácidos se transforma en una enorme ventaja para la eficiencia de la absorción y transporte de los minerales dentro de las plantas (6).

3.1.6 Metodología

Para cumplir los objetivos planteados se dividió en bio-ensayos *in vivo orgánico e inorgánico*.

Bio-ensayo *in vivo* Orgánico e Inorgánico

Una vez obtenidas, las plántulas de 3cm de altura fueron plantadas en fundas de plástico con substrato compuesto de arena, ceniza de arroz y tierra arcillosa (2:1:1). Una semana después se iniciaron los tratamientos. Cada tratamiento fue

conformado por 10 plantas, las cuales recibieron 250ml de la dilución de micronutrientes foliarmente (Boro, Cobre, Zinc, Manganeso) (APÉNDICE D).

Para los controles convencionales se utilizó urea 1.5g/l, mientras que los controles absolutos solamente recibieron riego. Las aplicaciones se efectuaron durante ocho semanas, tiempo después del cual se procedió a la inoculación dirigida de *M. fijiensis*. Las hojas número 2, 3 y 4, contadas de arriba hacia abajo, fueron asperjadas con una solución conidial de 3×10^3 conidias/ml con el uso de un aerógrafo Badger® 100 (APÉNDICE D).

Los tratamientos utilizados en condiciones in Vivo,

Tratamiento 1 (T1): diluciones de 250 ml Cobre 4%

Tratamiento 2 (T2): diluciones de 250 ml Cobre 16%(O)

Tratamiento 3 (T3): diluciones de 250 ml Manganeso 4%

Tratamiento 4 (T4): diluciones de 250 ml Manganeso 16%(O)

Tratamiento 5 (T5): diluciones de 250 ml Zinc 4%

Tratamiento 6 (T6): diluciones de 250 ml Zinc 19%(O)

Tratamiento 7 (T7): diluciones de 250 ml Boro 4%

Tratamiento 8 (T8): aplicaciones de N (control convencional).

Tratamiento 9 (T9): no aplicaciones, 0%, (control absoluto).

Estos tratamientos fueron aplicados una vez a la semana y tres dosis por cada uno de los productos diferenciados en dosis (alta, media, baja) y 10 repeticiones por cada uno de ellos, además de ser evaluados semanalmente.

Por trabajarse en condiciones semi-controladas, el modelo del diseño experimental que se empleó fue el completamente al azar (DCA) (APÉNDICE D).

Los tratamientos estuvieron conformados por un factor, la concentración de los micronutrientes, en aplicaciones semanales.

Diseño Experimental y Análisis Estadísticos.

En la presente investigación el análisis estadístico que se utilizó fue una ANOVA de una vía. Uno de los requisitos para realizar este análisis de variancia es que los tratamientos escogidos tengan varianzas homogéneas, aun cuando sus medias poblacionales sean diferentes.

Además el análisis de variancia es aplicable cuando los datos que se toman provienen de variables que se distribuyen normalmente, de no ser así, las variaciones de los errores

experimentales pueden ser demasiado grandes o pequeñas. También se determinó el área bajo la curva de la severidad.

En el ANOVA, la prueba indica en primera instancia y de forma general, si los efectos de los tratamientos en evaluación son diferentes o no estadísticamente, pero no establece cual o cuales de los tratamientos son diferentes si es que los hubiera. Para conocer esto, se utiliza las pruebas de significancia o pruebas de comparación de medias. En esta investigación se utiliza la prueba de Rango Múltiple de Duncan, porque permite comparar todas las medias de los tratamientos entre sí sin restricciones, ya que no necesita un valor F significativo.

Los parámetros fueron evaluados antes y después de la inoculación. Las evaluaciones de estos parámetros se realizaron durante 8 semanas.

Parámetros de Evaluación

Bio-ensayo *in vivo*

Las evaluaciones en estos ensayos se realizaron durante nueve semanas, los parámetros monitoreados semanalmente fueron:

1. Altura de planta.- Este parámetro fue evaluado con una regla, para lo cual se midió la longitud de la planta comprendida desde la base hasta la inserción de la hoja bandera. Para los análisis estadísticos se usó el incremento cada siete días de las nueve evaluaciones, a partir de la primera aplicación de los productos.

2. Emisión Foliar.- Al igual que las anteriores este parámetro fue valorado con el empleo de la escala de Brun (49), para determinar el estado de la hoja bandera. Este parámetro fue tomado desde el trasplante hasta la culminación del ensayo. Es una variable de tipo cuantitativa y está formada por una parte entera y una parte decimal. La parte entera está determinada por el número de hojas brotadas que tiene la planta y la parte decimal está definida por el estado evolutivo de la hoja candela que es la hoja más joven que nace en la planta y se desarrolla según la escala. Para los análisis estadísticos se usó el incremento cada siete días de las nueve evaluaciones, a partir de la primera aplicación de los productos. Para ilustrar de mejor manera los estados de desarrollo descritos por Brun se presentan los mismos:

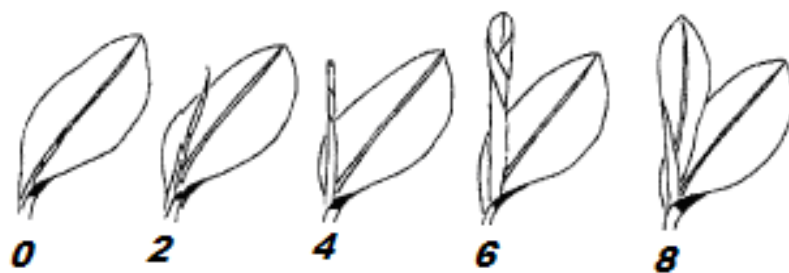


FIGURA 3.1 DIFERENTES ESTADOS DE LA HOJA DE CRECIMIENTO ACTIVO, “CIGARRO” O “CANDELA”, DE ACUERDO A LA ESCALA DE BRUN Fuente: (49).

3. Clorofila.- Se empleó un medidor de clorofila SPAD-502, marca Konica-Minolta, para determinar la cantidad de clorofila en las hojas 1, 2, 3 y 4, hojas más jóvenes de las plantas, las cuales se midieron y se promedió en todas las plantas.

4. Grosor de hojas.- Se midió el grosor de las hojas 1, 2 y 3 con la ayuda de un micrómetro, marca Mitutoyo, modelo PK-0505.

5. El desarrollo de la enfermedad.- Fue monitoreado cada 7 días de acuerdo a Alvarado (7) la cual es una modificación de la escala presentada por Fullerton y Olsen (37). La forma de evaluación de la incidencia de la enfermedad fue la siguiente:

0= Para hojas con ausencia de síntomas,

1= Manchas rojizas o menor variedad de síntomas en la superficie. Sin síntoma en hoja superficie superior.

2 = Manchas regulares e irregulares manchas circulares en la variedad de síntomas de la superficie inferior de la hoja, sin síntomas en la superficie superior.

3= Mancha regular o difusa luz, manchas marrones circulares en la superficie superior de la hoja.

4 = Manchas circulares negras o cafés, a veces con un halo amarillo o clorosis de tejidos adyacentes sobre la parte alta de la superficie de la hoja.

5 = Para manchas negras con centro seco de color gris y la hoja completamente necrótica (APÉNDICE E).

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Efecto de Micronutrientes sobre Parámetros Agronómicos.

i. Bio-ensayo *in Vivo* Orgánico e Inorgánico antes de la Inoculación de *M. fijiensis*:

Altura:

En el presente ensayo Figura 4.1 la comparación del desarrollo de las plantas con los tratamientos Orgánicos e Inorgánicos demostró una diferencia estadística significativa ($P \leq 5\%$), entre tratamientos. Se notó un aumento del desarrollo vegetativo de las plantas con Zn(I), Zn(O), B(I), Cu(O), Mn(O), Mn(I), la excepción fue el tratamiento con Cu(I) que mostró toxicidad, al detener el desarrollo de las plantas. Cabe señalar que los tratamientos contrastados con el testigo mostró un mejor desarrollo. El Zn (0) dosis Alta (500 g/ha), cuyo valor medio de 1,15 cm de incremento de la altura semanal fue

el mejor tratamiento, distada de entre los otros. De igual manera el Zn (I) en todas sus dosis (300, 400,500 g/ha) mostró buen desarrollo 0,95 -1cm por semana (APÉNDICE F).

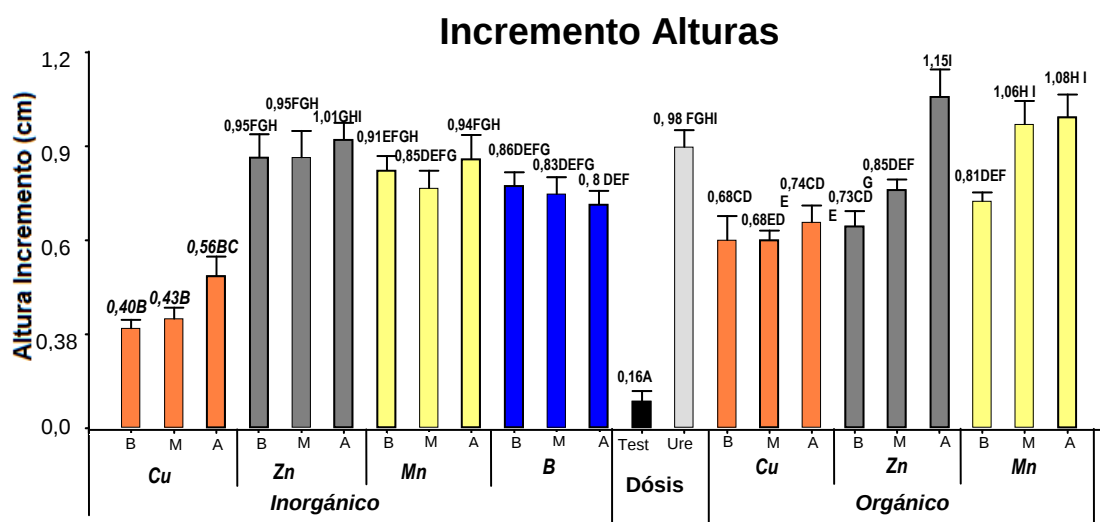


Figura 4.1 INCREMENTO EN ALTURA DE LAS PLANTAS (CM) PROMEDIOS DE NUEVE EVALUACIONES TOMADAS CADA SIETE DÍAS, PRODUCTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS, CON DIFERENTES DOSIS A: ALTA M: MEDIA B: BAJA DE : COBRE (BARRAS COLOR NARANJA), MANGANESO (COLOR AMARILLO), ZINC (COLOR GRIS),BORO(COLOR AZUL), CON TESTIGOS CONVENCIONAL(COLOR PLOMO) Y ABSOLUTO(COLOR NEGRO). ANÁLISIS UTILIZADO PRUEBA DE DUNCAN, MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ($P \leq 0,05$).

Emisión Foliar:

En la Figura 4.2 se muestra el desarrollo foliar cada siete días, durante nueve semanas de los tratamientos. El Cu(O) dosis alta (300g/ha) muestra significancia ($P \leq 5\%$) y dista de los más altos valores medios del Zn y Mn, así como del testigo convencional. De igual manera se muestra el Mn(O) con una media 0,72 en dosis media (200g/ha) y alta

(300g/ha), mostró un incremento marcado con respecto a los demás tratamientos. Los tratamientos resultan tener un mejor incremento en la Emisión Foliar a comparación del testigo en la que muestra significancia estadística ($P \leq 5\%$), el testigo no muestra un desarrollo foliar (APÉNDICE G).

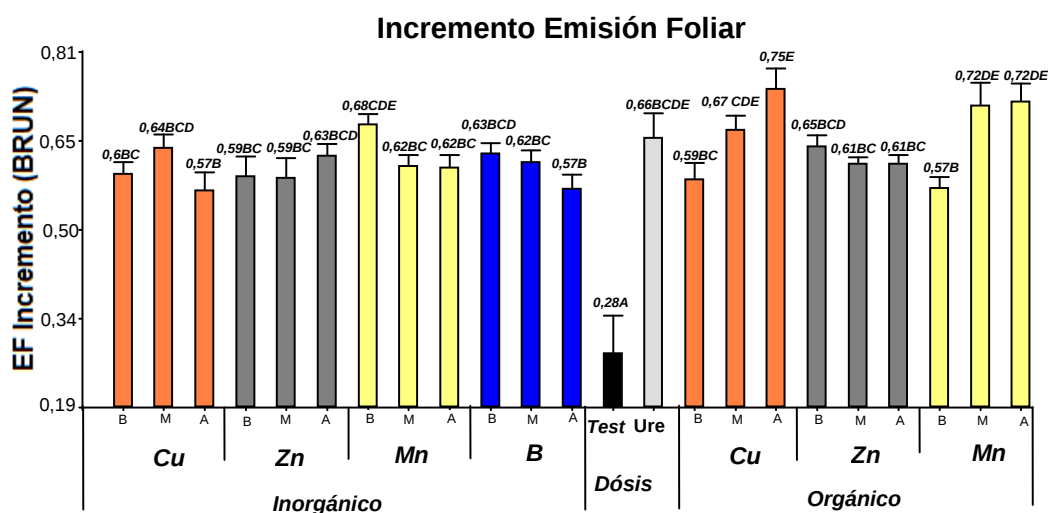


Figura 4.2 INCREMENTO DE LA EMISIÓN FOLIAR (ESCALA DE BRUN), PROMEDIOS DE NUEVE EVALUACIONES TOMADAS CADA SIETE DÍAS, PRODUCTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS, CON DIFERENTES DOSIS A: ALTA M: MEDIA B: BAJA DE COBRE (BARRAS COLOR NARANJA), MANGANESO (COLOR AMARILLO), ZINC (COLOR GRIS), BORO (COLOR AZUL), CON TESTIGOS CONVENCIONAL (COLOR PLOMO) Y ABSOLUTO (COLOR NEGRO). ANÁLISIS UTILIZADO PRUEBA DE DUNCAN, MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ($P \leq 0,05$).

Clorofila:

En la Figura 4.3 se muestra los promedios obtenidos de las muestras de clorofila tomadas en las hojas 1, 2, 3 y 4 de las plantas de banano, al promediar la cantidad de clorofila en todos los tratamientos, al ser

el Mn (O) en dosis alta (300 g/ha) y el Zn(O) dosis alta (500g/ha) los que indican una diferenciación estadística del resto de tratamientos, se muestra una significancia ($P \leq 5\%$) similar entre ellos. Se observó que el Zn (I), Mn (I), B (I) en dosis medias y altas indica significancia estadística en comparación con el testigo. Los valores inferiores, que representan grados de clorosis, fueron observados en las plantas con tratamiento absoluto (test) (APÉNDICE H).

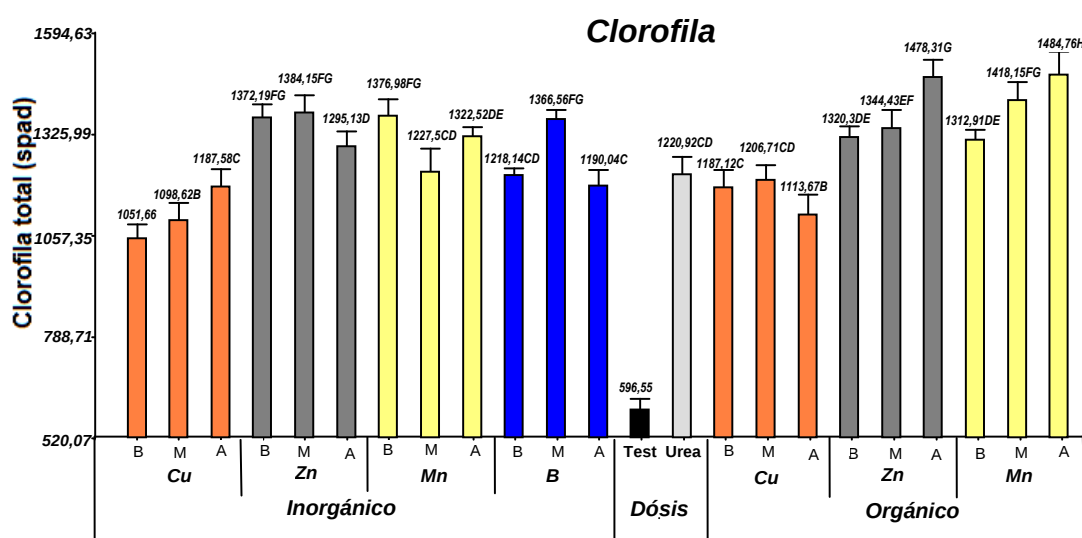


Figura 4.3 CLOROFILA (SPAD) DE HOJAS DE LAS PLANTAS, PROMEDIOS DE NUEVE EVALUACIONES TOMADAS CADA SIETE DÍAS, PRODUCTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS, CON DIFERENTES DOSIS A: ALTA M: MEDIA B: BAJA DE COBRE (BARRAS COLOR NARANJA), MANGANESO (COLOR AMARILLO), ZINC (COLOR GRIS), BORO (COLOR AZUL), CON TESTIGOS CONVENCIONAL (COLOR PLOMO) Y ABSOLUTO (COLOR NEGRO). ANÁLISIS UTILIZADO PRUEBA DE DUNCAN, MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ($P \leq 0,05$).

Grosor en Hoja:

En la Figura 4.4 se observa el parámetro de grosor de hoja, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre

los tratamientos, que la translocación en hojas de banano jóvenes fue mejor en dosis altas de Mn(O), Mn (I), Zn(O), Zn (I), B (I), a diferencia del testigo. Se mostro el Mn(O) en dosis media (200 g/ha), con valor medio de 0,28 significativo ($P \leq 5\%$) a diferencia de los demás tratamientos, fué el de mejor incremento en el grosor de la hoja (APÉNDICE I).

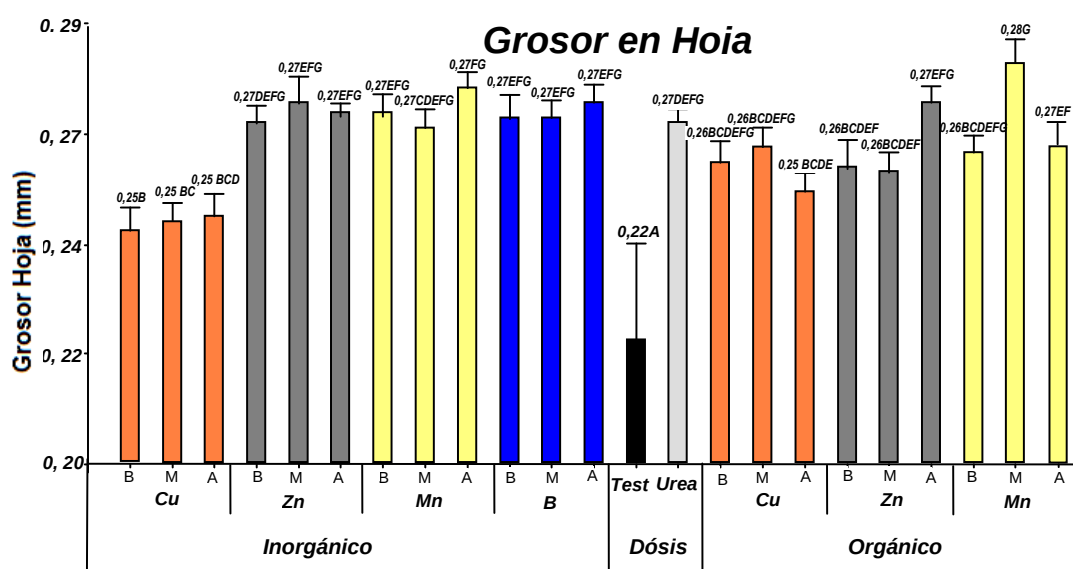


Figura 4.4 GROSOR HOJA UNO DE LAS PLANTAS (MM) , PROMEDIOS DE NUEVE EVALUACIONES TOMADAS CADA SIETE DÍAS, PRODUCTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS, CON DIFERENTES DOSIS A: ALTA M: MEDIA B: BAJA DE COBRE(BARRAS COLOR NARANJA), MANGANESO(COLOR AMARILLO),ZINC(COLOR GRIS),BORO(COLOR AZUL),CON TESTIGOS CONVENCIONAL(COLOR PLOMO) Y ABSOLUTO(COLOR NEGRO). ANÁLISIS UTILIZADO PRUEBA DE DUNCAN, MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ($P \leq 0,05$).

En la Figura 4.5 el grosor en la hoja 2 muestra que el Zn(O) dosis alta (500g/ha) mostro significancia estadística ($P \leq 0.05$) con respecto a los tratamientos, fueron mejores los tratamientos en igual forma el Zn (I) dosis baja(300g/ha), Mn(O) dosis alta(300g/ha), Mn (I) dosis alta(300g/ha) además de mostrar una significancia estadística con respecto a los demás tratamientos, sin embargo el testigo no demuestra un desarrollo en grosor de hoja(APÉNDICE I).

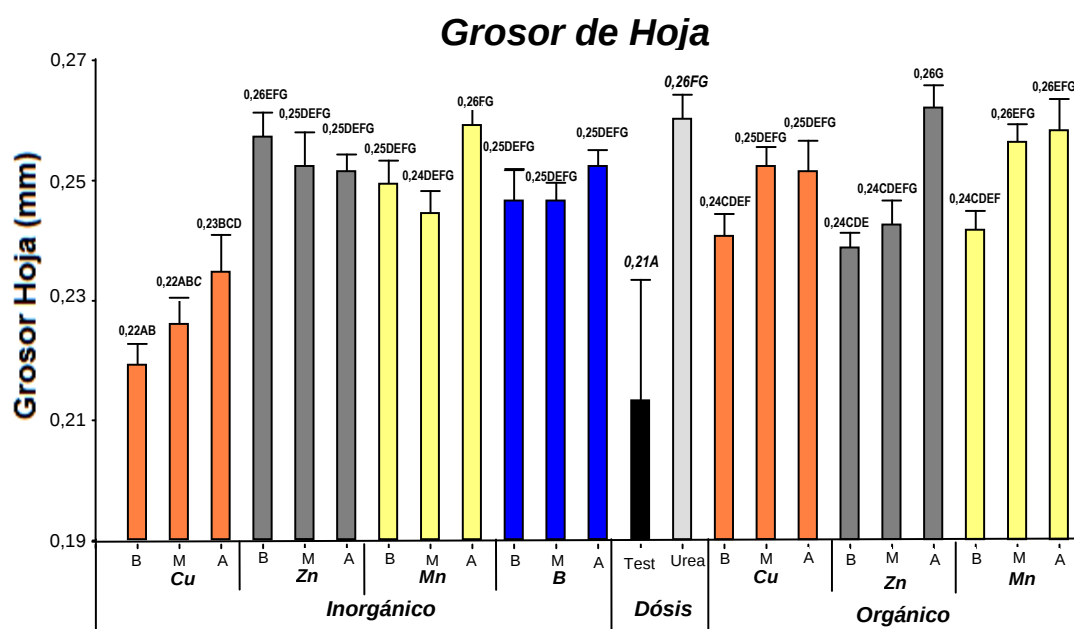


Figura 4.5 GROSOR DE HOJA DOS DE LAS PLANTAS (MM) , PROMEDIOS DE NUEVE EVALUACIONES TOMADAS CADA SIETE DÍAS, PRODUCTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS, CON DIFERENTES DOSIS A: ALTA M: MEDIA B:BAJA DE COBRE (BARRAS COLOR NARANJA), MANGANESO (COLOR AMARILLO),ZINC (COLOR GRIS),BORO (COLOR AZUL),CON TESTIGOS CONVENCIONAL (COLOR PLOMO) Y ABSOLUTO(COLOR NEGRO). ANÁLISIS UTILIZADO PRUEBA DE DUNCAN, MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ($P \leq 0.05$).

Efecto de Micronutrientes sobre Parámetros Sanitarios.

- i. **Bio-ensayo in vivo orgánico e inorgánico luego de la inoculación de *m. Fijiensis*:**

Severidad:

En la Figura 4.6 la incidencia de la Sigatoka Negra en la hoja 3, muestra que la enfermedad no rebasa el nivel 3 (mancha regular o difusa a la luz, manchas marrones circulares en la superficie superior de la hoja, según escala de Alvarado (7) se muestra que los micronutrientes tienen un efecto de resistencia a la enfermedad. (49). La severidad se vio disminuida debido a la aplicación de los tratamientos, al ser el Zn (I) dosis alta (500g/ha) y el Mn (O) dosis baja (100 g/ha), los que muestran un resultado de resistencia del hongo y significancia estadística ($P \leq 0.05$) a diferencia de los demás tratamientos y de los testigos. El Cu(O) en dosis alta (300 g/ha) muestra un incremento de la enfermedad debido a que presento toxicidad y esto detuvo el desarrollo de la plantas al reducir su transpiración y fotosíntesis. (APÉNDICE J).

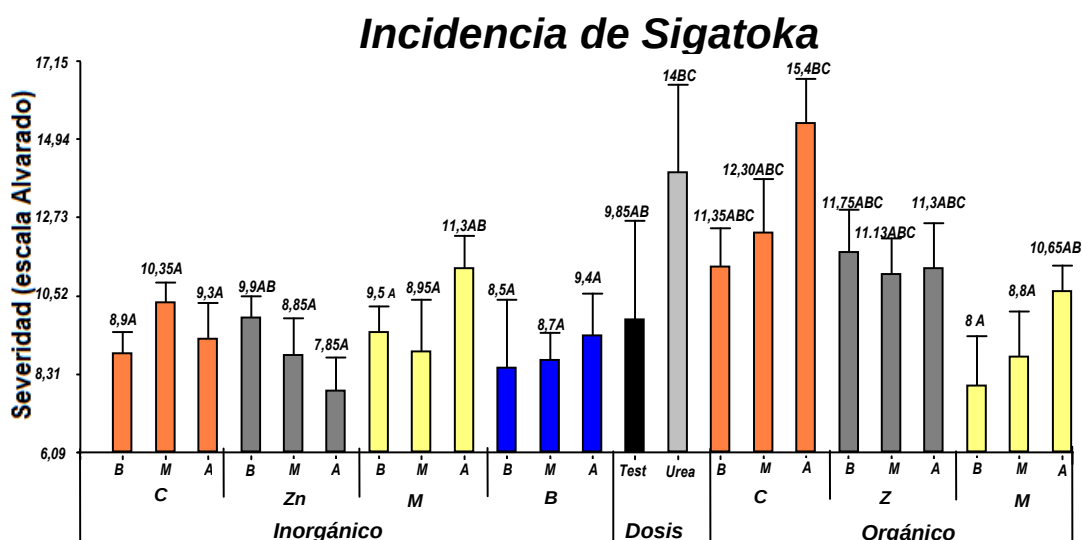


Figura 4.6 SEVERIDAD EN HOJA TRES CON RESPECTO A INCIDENCIA DE SIGATOKA NEGRA, PROMEDIOS DE NUEVE EVALUACIONES TOMADAS CADA SIETE DÍAS, PRODUCTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS, CON DIFERENTES DOSIS A: ALTA M: MEDIA B: BAJA DE COBRE (BARRAS COLOR NARANJA), MANGANESO (COLOR AMARILLO), ZINC (COLOR GRIS), BORO (COLOR AZUL), CON TESTIGOS CONVENCIONAL (COLOR PLOMO) Y ABSOLUTO (COLOR NEGRO). ANÁLISIS UTILIZADO PRUEBA DE DUNCAN, MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ($P \leq 0,05$).

En la Figura 4.7 se observa que en Zinc (I) dosis alta (500g/ha) existió diferencia en medias, pero con las demás dosis hubo diferencias significativas no muy marcadas. El Cu(I) dosis baja (100 g/ha), Zn(I) dosis alta (500g/ha), Mn(I) dosis media (200g/ha), Mn(O) dosis baja (100g/ha), B(I) dosis baja (150g/ha), son los que muestran un resultado en control de incidencia del hongo y significancia estadística a diferencia del tratamiento convencional, en este caso el

testigo se desarrollo estrechamente poco y sus hojas no muestran un mayor desarrollo luego de inoculación (APÉNDICE J).

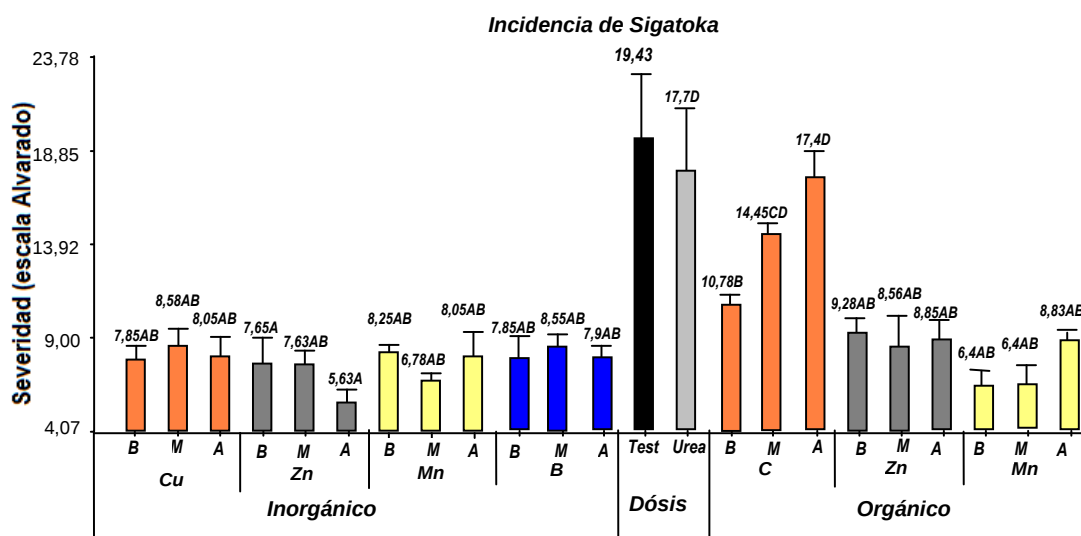


Figura 4.7 SEVERIDAD EN HOJA CUATRO CON RESPECTO A INCIDENCIA DE SIGATOKA NEGRA, PROMEDIOS DE NUEVE EVALUACIONES TOMADAS CADA SIETE DÍAS, PRODUCTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS, CON DIFERENTES DOSIS A: ALTA M: MEDIA B: BAJA DE COBRE (BARRAS COLOR NARANJA), MANGANESO (COLOR AMARILLO), ZINC (COLOR GRIS), BORO (COLOR AZUL), CON TESTIGOS CONVENCIONAL (COLOR PLOMO) Y ABSOLUTO (COLOR NEGRO). ANÁLISIS UTILIZADO PRUEBA DE DUNCAN, MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ($P \leq 0,05$).

4.2 Discusión

En estudios realizados por Duffy y Defago (24), en el cultivo de tomate se demostró que el Zinc y el Cobre EDTA disminuyen los daños causados por *Fusarium oxysporum*, estos estudios ayudan a confirmar que la acción de estos microelementos es válida también en el banano ante la presencia del patógeno causante de la Sigatoka negra (32). En este estudio se confirma esto, en el cuadro de severidad de la hoja 3 y 4, vale decir que el cobre que se usó no tiene el mismo tipo de quelante. Según Ríos, Corella F. (73), comenta que entre los procesos metabólicos en que participa el Cu están: la fotosíntesis, respiración, regulación hormonal y metabolismo de compuestos secundarios. Según Mackay D. C., Chipman E.W., Gupta U.C. (63), usado por la planta en reacciones de oxidoreducción, esta sustancia se encuentra al formar parte estructural de la plastocianina, proteína componente de la cadena de transporte de electrones en la fotosíntesis, EDROMA, E. L. (33) comenta que además se encuentra en una enzima clave para la formación de lignina. Por lo que demostró un buen desarrollo agronómico en plantas de banano además de incidir los parámetros fitosanitarios.

Según Brams, E. A., Fiskell, J. G. A (15) puede ocurrir fitotoxicidad con Cu si la solución a aplicar tiene un pH menor de 6.5, se ha

demostrado que el cobre a mas de 50 ppm es tóxico, Espinoza L., lo comprueba en pruebas *in vitro* (32). El cobre en altas cantidades reduce la absorción de Fe e impide la acumulación del mismo en los cloroplastos que provocan una disminución en la producción de Clorofila, sin olvidar que no llegan nutrientes de la raíz a las hojas jóvenes, además su reacción con pectinas y proteínas desnaturalizadas al combinarse con grupos fosfatos dentro de la raíz explica parcialmente el raquítico y degradado sistema radical (15). Por lo cual las dosis altas del mismo indicaron una toxicidad, produjeron clorosis y se redujo cualquier proceso de transporte de nutrientes hacia las hojas jóvenes en las que la Sigatoka negra tiene su mayor efecto, es lo que me permite corroborar los resultados de severidad que se muestran en la Hoja 3 y la Hoja 4 del presente estudio en el banano.

Según estudios hechos por Ruiz, García, Rivero y Romero, se observó que el Boro unido a fungicidas brinda un mecanismo adicional de tolerancia a la infección de patógenos (74). Por otra parte Dixon G. (25), comenta que se ha determinado que el Boro reduce enfermedades causadas por *Plasmodiophora brassicae* en crucíferas; *Fusarium solani* en fréjol; *Verticillium albo-atrum* en tomate; *Gaeumannomyces graminis* en algodón y Marschner, H en

Blumeria graminis en trigo (62). Los resultados obtenidos en los ensayos realizados en banano aplicados con boro muestran una reducción del hongo en su incidencia sobre la hoja, además de mostrar un desarrollo sobre parámetros agronómicos.

Según Espinoza, L, en estudio de Monitoreo *in vitro* del potencial de cinco nutrientes (B, Mn, Zn, Cu, Si) sobre órganos de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet agente causal de la Sigatoka negra, se pudo conocer que los micronutrientes redujeron el crecimiento del agente causal y solo el Cu inhibió el crecimiento del hongo *in vitro*. (32). Debido a que la experimentación realizada en invernadero muestra una diferencia muy marcada con el efecto observado de los micronutrientes a la tolerancia en Sigatoka negra *in vitro*, sin mostrar el cobre como inhibidor sino como tolerante al igual que los micronutrientes, esto debido a los procesos metabólicos presentes en las plantas a diferencia de las condiciones *in vitro*.

Según Jiménez M, ha demostrado que ciertos microelementos como el silicio (Si), el zinc (Zn) y el boro (B), el manganeso (Mn) y el cobre (Cu) mejoran el crecimiento en las plantas en invernadero con aplicaciones semanales, que las aplicaciones regulares prevalecen sobre la concentración de los micronutrientes cuando se trata de la

inhibición del crecimiento de *Mycosphaerella fijiensis*. Sumado a esto, se observó que los micronutrientes aplicados estimulan el crecimiento de las plantas, hasta cierto punto de producir un efecto sobre el patógeno causante de la Sigatoka Negra y potencialmente para reducir el desarrollo de la enfermedad (49). Se produjo en igual forma un efecto en el crecimiento de las plantas en sus parámetros agronómicos para aseverar que los micronutrientes son fuentes nutritivas para las plantas y son parte importante de los procesos metabólicos presentes, esto se corrobora en el Capítulo 2.2.5 en la que se detalla la función de los micronutrientes y su importancia.

Según Yáñez J., (82) se ha comprobado que un exceso de nitrógeno puede causar susceptibilidad a enfermedades como la Botrytis en fresa (*Fragaria* sp.) y tomate (*Lycopersicum esculentum*), la cual puede contrarrestarse con aplicaciones de micronutrientes, elementos que provocan el endurecimiento de los tejidos. Jiménez, M., (49) también comenta que los cultivos convencionales, se beneficiarían si se reciben menos nitrógeno, este nutriente estimula la Sigatoka negra, que deja en claro por qué el nitrógeno debe ser usado en dosis que no provoquen el incremento de la enfermedad. En el presente estudio se demostró el incremento en la incidencia de la Sigatoka negra debido a la aplicación de nitrógeno que corrobora

lo dicho por Jiménez M., también se evidencio que los micronutrientes son primordiales para mostrar tolerancia para el hongo que provoca la enfermedad.

LINDSAY, W. L dice que los nutrientes de poca movilidad como Zn, Mn, Fe, B, se distribuyen en la hoja por vía xilema, la movilidad dependerá del genotipo de la planta (58), Kishk y Hassan (54) habla que el cobre debe tener un pH óptimo para su mayor absorción en raíces y membranas celulares. Jiménez, M (49), reafirma esto y explica que debido al pH está determinada la movilidad de los nutrientes en la planta, al dar evidencia sobre el efecto inhibitorio del pH y de algunos micronutrientes en contra de *M. fijiensis* Morelet bajo condiciones específicas en vivero.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

Los resultados de la presente investigación permiten concluir en lo siguiente:

- Las concentraciones de los elementos evaluados demostraron un efecto positivo como fuente nutritiva sobre el desarrollo agronómico en el material vegetal bajo las condiciones ensayadas.
- El efecto de los productos de características orgánicas como inorgánica de Boro, Cobre, Zinc y Manganese, fue variable en todos los ensayos con efectos sobre la incidencia de la Sigatoka negra en las plántulas de banano en medio controlado.

- El Zn y Mn en presentación orgánica e inorgánica mostró los mejores resultados en todos los ensayos y su efecto fisiológico permitió que el hongo no se desarrolle en mayor magnitud, a diferencia de los demás micronutrientes que en igual forma se nota inhibición a diferencia del control convencional.
- Los productos estudiados mostraron una respuesta diferenciada en cada uno de los Parámetros Agronómicos en sus diferentes dosis, debido a su vital importancia en los procesos fisiológicos en el banano y una notable mejora como control de Sigatoka negra en invernadero.

5.2 Recomendaciones

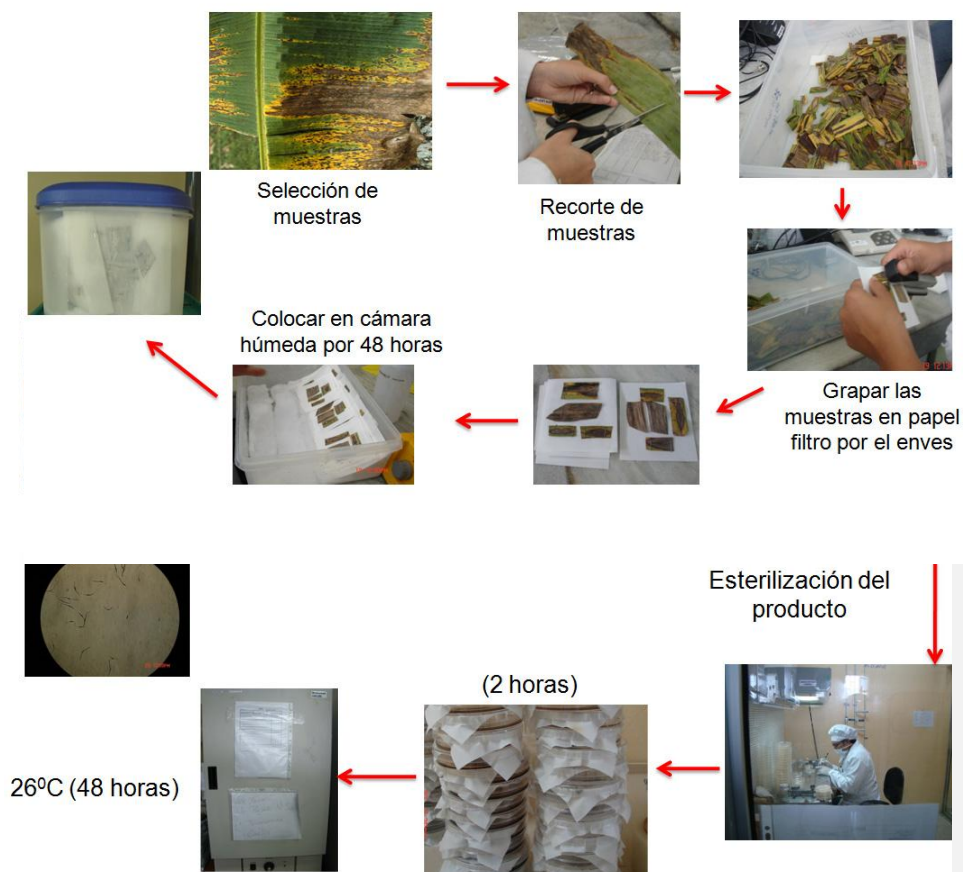
- Se recomienda continuar con la realización de estos ensayos, a nivel de campo para evaluar la relación planta-patógeno ante la aplicación de estos productos y conocer sus efectos a través de parámetros agronómicos y fisiológicos.
- Deben realizarse ensayos con Cobre (I) con dosis menores a 50 ppm para obtener una dosis más exacta que permita un control efectivo del hongo y evitar toxicidad.

- Realizar análisis foliares para medir la capacidad de absorción y translocación de los micronutrientes en las plantas.
- Realizar estudios en campo con el objetivo de evaluar programas de fertilización con diferentes niveles de microelementos, en materiales de Musáceas con diferente expresión a la Sigatoka negra.

APÉNDICES

APÉNDICE A

SECUENCIA DE FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ASCOSPORAS.



Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Fitopatología

APÉNDICE B

LISTADO DE MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA EL DESARROLLO DE LA FASE EXPERIMENTAL.

Equipo de Laboratorio

Agitador
Balanza electrónica
Cámara fotográfica
Materiales de Vidrio
Agitador de vidrio
Frascos
Matraces de Erlenmeyer
Pipetas
Vasos de precipitación
Material biológico
Mycosphaerella fijiensis Morelet
Algodón
Espátulas
Etiquetas adhesivas
Gasa
Marcadores rotuladores
Papel de pH
Papel filtro
Papel de aluminio
Pinzas
Regla
Materiales varios

Sustancias y Reactivos

Agua destilada
Alcohol
Micronutrientes Orgánicos
Micronutrientes Inorgánicos
Urea

Equipo de Invernadero

Bombas de Fumigación de 2lt
Fundas Plásticas
Vasos Plásticos
Plantas

Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Fitopatología

APÉNDICE C

DOSIFICACIONES DE LOS MICRONUTRIENTES Y CONCENTRACIONES PRODUCTOS PRODUCIDOS POR ALBION.

Líquidos Inorgánicos

Cobre			
Concentración % 4			
Densidad	1400 plantas/ha		
Dosis	Dosis g/ha	ml/planta	ml/10/250 ml H ₂ O
BAJA	100	0,071	0,71
MEDIA	200	0,143	1,43
ALTA	300	0,214	2,14

Manganeso			
Concentración % 4			
Densidad	1400 plantas/ha		
Dosis	Dosis g/ha	ml/planta	ml/10/250 ml H ₂ O
BAJA	100	0,071	0,71
MEDIA	200	0,143	1,43
ALTA	300	0,214	2,14

Zinc			
Concentración % 4			
Densidad	1400 plantas/ha		
Dosis	Dosis g/ha	ml/planta	ml/10/250 ml H ₂ O
BAJA	300	0,0214	0,214
MEDIA	400	0,286	2,86
ALTA	500	0,357	3,57

Boro			
Concentración % 4			
Densidad	1400 plantas/ha		
Dosis	Dosis g/ha	ml/planta	ml/10/250 ml H ₂ O
BAJA	150	0,107	1,07
MEDIA	250	0,179	1,79
ALTA	350	0,25	2,5

Sólidos Orgánicos

Cobre			
Concentración % 16			
Densidad	1400 plantas/ha		
Dosis	Dosis g/ha	g /lt	g/250 ml H ₂ O
BAJA	100	0,155	0,03875
MEDIA	200	1,605	0,40125
ALTA	300	3,75	0,9375

Manganeso			
Concentración % 16,4			
Densidad	1400 plantas/ha		
Dosis	Dosis g/ha	g/planta	g/250 ml H ₂ O
BAJA	100	0,3	0,075
MEDIA	200	3,05	0,763
ALTA	300	7,31	1,828

Zinc			
Concentración % 19,3			
Densidad	1400 plantas/ha		
Dosis	Dosis g/ha	g/planta	g /250 ml H ₂ O
BAJA	300	0,26	0,065
MEDIA	400	2,59	0,648
ALTA	500	6,21	1,553

Urea	
Concentración % 48%	
Densidad	1400 plantas/ha
Dosis g/lt	1,5

APÉNDICE D

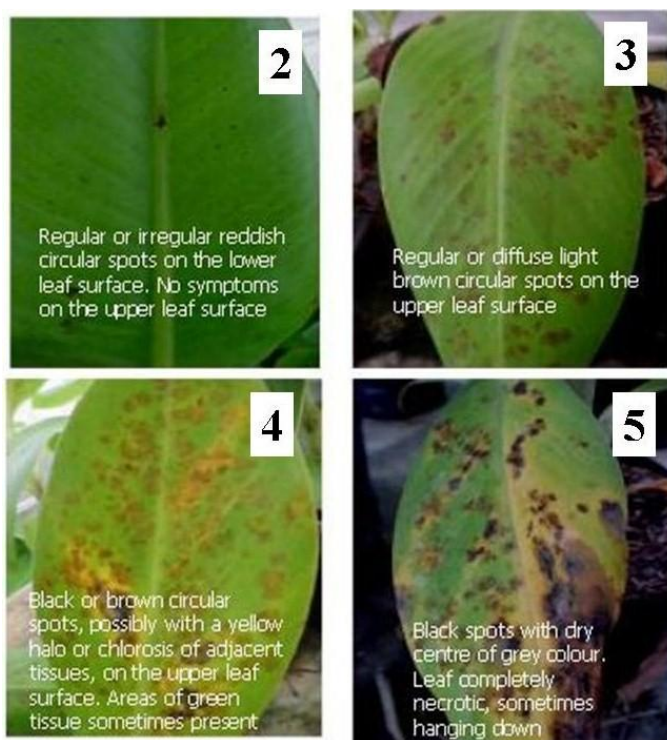
FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE DESARROLLO DE LOS ENSAYOS, APLICACIÓN DE PRODUCTOS E INOCULACION *Mycosphaerella fijiensis* Morelet.



Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Fitopatología

APÉNDICE E

EVOLUCIÓN DE LOS SÍNTOMAS DEL MYCOSPHAERELLA FIJENSIS MORELET. BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO (FOTO CIBE - ESPOL). LOS NÚMEROS CORRESPONDEN A LA ESCALA DETALLADA ANTERIORMENTE



Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Fitopatología

APÉNDICE F

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICRONUTRIENTES EN PLANTAS DE BANANO

Análisis de Varianza para determinar diferencias entre los Promedios de los tratamientos para el parámetro altura.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALT	230	0,63	0,59	23,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,37	22	0,56	16,19	<0,0001
Producto	12,37	22	0,56	16,19	<0,0001
Error	7,19	207	0,03		
Total	19,56	229			

Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Bioestadística

APÉNDICE G

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICRONUTRIENTES EN PLANTAS DE BANANO

Análisis de Varianza para determinar diferencias entre los Promedios de los tratamientos para el parámetro de Emisión Foliar.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EF	230	0,49	0,43	15,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,7	22	0,08	8,89	<0,0001
Producto	1,7	22	0,08	8,89	<0,0001
Error	1,8	207	0,01		
Total	3,5	229			

Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Bioestadística

APÉNDICE H

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICRONUTRIENTES EN PLANTAS DE BANANO

Análisis de Varianza para determinar diferencias entre los Promedios de los tratamientos para el parámetro clorofila.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Clorofila	230	0,67	0,64	10,6

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7467583,66	22	339435,62	19,31	<0,0001
Producto	7467583,66	22	339435,62	19,31	<0,0001
Error	3639225,01	207	17580,80		
Total	11106808,67	229			

Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Bioestadística

APÉNDICE I

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICRONUTRIENTES EN PLANTAS DE BANANO

Análisis de Varianza para determinar diferencias entre los Promedios de los tratamientos para el parámetro de Grosor de Hoja 1.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
H1	230	0,32	0,25	7,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	22	0,0016	4,47	<0,0001
Producto	0,03	22	0,0016	4,47	<0,0001
Error	0,07	207	0,00035		
Total	0,11	229			

Análisis de Varianza para determinar diferencias entre los Promedios de los tratamientos para el parámetro de Grosor de Hoja 2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
H2	230	0,35	0,28	7,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	22	0,0017	5,03	<0,0001
Producto	0,04	22	0,0017	5,03	<0,0001
Error	0,07	207	0,00034		
Total	0,11	229			

Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Bioestadística

APÉNDICE J

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICRONUTRIENTES EN PLANTAS DE BANANO

Análisis de Varianza para determinar diferencias entre los Promedios de los tratamientos para el parámetro de Severidad Hoja 3

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ABCH3	114	0,33	0,16	28,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	387,84	22	17,63	2,01	0,0114
Producto	387,84	22	17,63	2,01	0,0114
Error	797,91	91	8,77		
Total	1185,75	113			

Análisis de Varianza para determinar diferencias entre los Promedios de los tratamientos para el parámetro de Severidad Hoja 4

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ABCH4	114	0,66	0,58	31,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1598,86	22	72,68	8,14	<0,0001
Producto	1598,86	22	72,68	8,14	<0,0001
Error	812,3	91	8,93		
Total	2411,16	113			

Fuente: Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE). Área de Bioestadística

BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, G. 1997. Fitopatología. 4ta ed. México. Editorial Limusa S.A. 838pp.
2. Ahmed, S.; Evans, H. 1960. Cobalt: A micronutrient for the growth of soybean plants under symbiotic conditions. Soil Sci. 90: 205-210.
3. Alten, F.; Orth, H. 1941. Untersuchungen über den Aminosäuregehalt und die Anfälligkeit der Kartoffel gegen die Kraut und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) Phytopathol. Z. 13:243-271
4. AEBE, 2005). AEBE. Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador. Base de datos estadísticos del 2005. <http://www.aebe.com.ec> (consultado, Abril 2007)
5. Arciniegas A.; Riveros, A.; Loaiza, J. 2002. Efecto de extractos vegetales sobre el desarrollo *In vitro* de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musáceas. Colombia. 242pp .

6. ALBION, "Minerals-Science-Chelates, Disponible en: <http://www.albionplantnutrition.com/> Visitado Octubre del 2009
7. Alvarado Y., Leiva M., Dita M., Acosta M., Cruz M., Portal N., Gomez R., Garcia L., Bermudez I., and Padrón J, 2003 Early evaluation of black leaf streak resistance by using mycelial suspensions of *Mycosphaerella fijiensis* Jacome L., Lepoivre P., Marin D., Ortiz R., Romero R. and Escalant J.V. *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas: present status and outlook. Montpellier, France, INIBAP
8. Belalcázar C.; Merchán V.; Mayorga, M. 1991. El cultivo del plátano (*Musa* AAB Simmonds) en el trópico. ICA, Manual de Asistencia Técnica No. 50. Cali, Colombia. 376pp.
9. Bennett, W. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS Press. St. Paul, MN.
10. Bertrand, D.; De Wolf, A. 1967. Nickel: a dynamic trace element for higher plants. *C R Academic Sci.* 265: 1053-1055
11. Bielecky, R. 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev. Plant Physiology.* 24: 225, 252

12. Bould, C.; Hewitt, E.; Needhan, P. 1983. Diagnosis of mineral disorders in higher plants. Volume I. Principles London: Her Majesty's Stationery Office.
13. Brennan, R.; Bolland, M. 2003. Comparing copper requirements for fava bean, chickpea and lentil with spring wheat. J. Plant Nutrition. 26: 883 – 899.
14. Bromfield, S.; Cumming, R.; David, D.; Williams, C. 1983. Change in soil pH, manganese and aluminum under subterranean clover pasture. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husbandry 23: 181-191.
15. BRAMS, E. A., FISHELL, J. G. A., 1971. Copper accumulation in citrus roots and desorption with acid Soil Science Society of America Proceedings 35(5): 772-775.
16. Chang, J. 2000. Efectos de la dolarización en el costo de producción de banano en el Ecuador. ACORBAT – Ecuador. 6pp
17. CIBE, 2000. Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador. Preliminary studies of *Mycosphaerella fijiensis* from

Ecuador. IV Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal, Cuba. Poster.

18. Coleno, A. 1987. Role fungicide du soufre. Proc. Int. Symp. Elemental Sulphur Agric. 1:31-37.

19. Cooz, R.; Chávez, L. 1992. Informe Técnico sobre la situación actual de la sigatoka negra en el sur del Lago de Maracaibo. UNISUR - FONAIAP Chama, Venezuela: p1-10.

20. Cheesman, E. 1948. Classification of the Bananas. III. Critical Notes on Species. c. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L. Kew Bulletin 2:3 145–153.

21. Duger, W. 1983. Boron in plant metabolism. In: Encyclopedia of Plant physiology, new series, New York: Springer p 626 – 650.

22. Departamento de Educacion, Universidad y Cultura “Mecanismos de resistencia de las enfermedades” Disponible en: www.educa.aragob.es Revisado Octubre del 2007.

Código de campo cambiado

23. EMBL- EBI, 2007. The European Bioinformatics Institute (EMBL-EBI), which is part of the European Molecular Biology

Laboratory. Disponible en:
http://www.ebi.ac.uk/Information/About_EBI/about_ebi.html#intro
o. Visitada Agosto del 2007.

24. Duffy, B.; Défago, G., 1997. Zinc improves biocontrol of fusarium crown and root rot of tomato by *Pseudomonas fluorescens* and represses the production of pathogen metabolites inhibitory to bacterial antibiotic biosynthesis. Disponible en: www.path.ethz.ch/docs/publications/90er/1997/1997/_duffy_1. Visitado el 15 de Agosto del 2007.

25. Dixon, G., 1996. Repression of morphogenesis of *Plasmodiophora brassicae* Wor. By boron-A review. *Acta Horticulturae*. 407, 393-401

26. Engvild, K. 1986. Chlorine-containing natural compounds in higher plants. *Phytochemistry* 25: 781-791

27. Epstein, E. 2000. The discovery of the essential elements. In: *Plant Biology*, v. 3. Kugs, S; Yang, S (Eds). World Scientific, Singapore. p1-16.

28. Epstein, E.; Bloom, A. 2004. Mineral nutrition of plants. Sunderland: Sinauer Associates Ed. p58 – 65

29. Eskew, D.; Welch, R.; Norvell, W. 1983. Nickel: An essential micronutrient for legumes and possible higher plants. *Science* 222: 621 – 623.
30. Evans, H.; Wildes, R. 1971. Potassium and its role in enzyme activation. In: *Potassium in Biochemistry and physiology*. 8° Colloquium of the International Potash Institute. International Potash Institute, Bern p13-39.
31. Epstein, E. 2001. Silicon in plants: Facts and concepts. In: *Silicon in agriculture*. Datnoff, L; Snyder, G; Korndorfer, G. (Editors). Elsevier Science. B.V. Amsterdam, The Netherlands. Ch 1. p1 – 10.
32. Espinoza, L, 2007, "Monitoreo in vitro del potencial de cinco nutrientes (B, Mn, Zn, Cu, Si) sobre órganos de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet agente causal de la Sigatoka negra", Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción" ESPOL, p79-90.
33. EDROMA, E. L. 1974. Copper pollution in Rwenzori National Park, Uganda. *Journal of Applied Ecology* 11 (3): 103-105.

34. Fixen, P. 1993. Crop responses to chloride. *Adv. Argon* 50: 107-150.
35. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. Agricultural data base. <http://faostat.fao.org>. (Revisado Septiembre 2, 2007)
36. Fouré, E.; Mouloum, P.; Mourichon, X. 1990. Etude de la sensibilité variétale des bananiers et des plantains à *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Cameroun. Caractérisation de la résistance au champ des bananiers appartenant à divers groupes génétiques. *Fruits* 45:339-345.
37. Fullerton R.A. y Olsen T.L. 1995, Pathogenetic Variability in *Mycosphaerella Fijensis* Morelet, cause Sigatoka in banana Plantain. *New Zealand Journal Crop Horticultural Science* 23,39-48.
38. Gauhl, F. 1989. Epidemiology and ecology of Black Sigatoka on plantain and banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Centro America. Ph D. Thesis of Systematisch – Geobotanische-Institut der Georg - August-Universität Göttingen and Institut für

Pflanzenpathologie und Pflanzenchutz der Georg - August-
Universität Göttingen.

39. Gauhl, F. 1994. Epidemiology and Ecology of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morlet) on Plantain and Banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Central America. 120pp.
40. Graham, R.; Weeb, M. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Micronutrients in agriculture. Ed. by Welch, R. 2nd Edition. Soil Sci. Soc. America, Madison, WI. p329 – 370.
41. Grundon, N; Robson, A; Lambert, M; Snowball, K. 1997. Nutrient deficiency and toxicity symptoms. Vic.:CSIRO Publishing. p37 – 51.
42. Heckman, J. 1989. Corn and soybean tissue water content, Nutrient accumulation. Yield and growth pattern responses to potassium and chloride fertility differences. Ph.D. Dissertation. North Carolina State University, Raleigh. NC.
43. Hell, R. 1997. Molecular physiology of plant sulfur metabolism. *Planta* 2002: 138-148.

44. Hewitt, E.; Smith, T. 1975. Plant mineral nutrition. London: The English University Press. p16
45. INIBAP, ICA, CIID, Comité Departamental de Cafeteros del Quindío: 1991. 376 pp.
46. INIBAP, International Network for the Improvement of Banana and Plantain. 1993. Annual Report. Risks involved in the transfer of banana and plantain germplasm. Montpellier, France. 39-47.
47. Importancia del Banano, Disponible en: <http://newscientist.com>
Visitado el 28 Noviembre del 2007
48. Johnson, R. 1984. A critical analysis of durable resistance. Annual Review of Phytopathology, 22:309 – 330.
49. Jiménez Ma. I. 2008 “Effect of the Nutrition Status of Banana (MUSA spp.) on Leaf Disease Infestation by *Mycosphaerella Fijensis* Morelet In Ecuador” Universiteit Leuven ,Departement Biosystemen, Ch.1 p14-28 28, Ch. 4 p77-88

50. JH Biotech, 2007. Chelation and mineral nutrition. Disponible en: http://www.jhbiotech.com/plant_products/chelation.htm
Visitado el 16 de Agosto del 2007.
51. Klein, H. 1961. Effects of fungicides, oil, and fungicide-oil-water emulsions on development of *Cercospora* leaf spot of bananas in the field. *Phytopathology* 51: 294-297.
52. Kress, W. 1990. The phylogeny and classification of the Zingiberales. *Annual of the Missouri Botanical Garden* 77: 698-721.
53. Klikocka, H.; Haneklaus, S.; Boelm, E.; Schnug, E. 2005. Influence of Sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. *J. Plant Nutr.* 28:819-833
54. KISHK, F. M. y HASSAN, M. N. ,1973. Sorption and desorption of copper by and from clay mineral. *Plant and Soil* 39: 497-505.

55. Lawrence, E.; Wade, H.; Huber, D. 2007. Mineral nutrition and plant disease. Ed. American Phytopathological Society. St. Paul. Minn. p46 – 54.
56. Leonard, K. 1984. Population genetics of gene for gene interaction between plant host resistance and pathogen virulence. Oxford and IBH Publ. Co. p 131-148.
57. Lepoivre, P.; Busogoro, J.; Etame, J.; El Hadrami, A.; Carlier, J.; Harelimana, G.; Mourichon, X.; Panis, B.; Riveros, A.; Sallé, G.; Strosse, H.; Swennen, R. 2003. Banana *Micosphaerella fijiensis* interaction. In: *Micosphaerella* leaf spot disease of banana. San Jose, Costa Rica. p151-159.
58. LINDSAY, W. L. 1972, Inorganic phase equilibria of micronutrients in soil. In Mortvedt, J. J., et al, eds. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America . pp 41-57.
59. Marin, D.; Romero, R. 1992. El combate de la Sigatka negra. Boletín N°4, departamento de investigación. CORBANA. Costa Rica. 22pp.

60. Martillo, E.; Solano, P. 2003. Situación de la Sigatoka en el Ecuador. In: Taller del manejo alternativo de Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en el trópico. Guayaquil, Ecuador. p13
61. Mendel, R.; Schwarz, G. 1999. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. Crit. Rev. Plant Sci 18: 33 – 69.
62. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Second edition. London., UK. Mills, H.A. and J. Benton Jones, Jr. 1996. Analysis handbook II Micro-macro publishing, Inc. USA, p492.
63. MACKAY, D. C., CHIPMAN, E.W. GUPTA, U.C. 1966, Copper and molybdenum nutrition of crops grown on acid sphagnum peat soil. Soil Science Society of America Proceedings 30: 755-759.
64. McAinsh, M.; Ng, C.; Gray, E.; Hunt, L.; Leckie, C.; Mills, L.; Hetherington, A. 2001. Calcium – Based signalling system in guard cells. New Phytologist: 151: 109-120
65. Ortiz, R. 1995. Musa genetics. En: S. Gowen (ed.). Bananas and plantains. Chapman & Hall, London. 84-109.

66. Páez R. 1996. El Moko del plátano. Manizales : Universidad de Caldas. Tesis (M.Sc.). 44 p.
67. Palomaki, V. 1995. Effects of magnesium deficiency on needle ultra structure and growth of Scots pine seedlings. Can. J. Forest Res. 25: 1806-1814.
68. Pérez L. 1983. Epifitiología de la mancha de la hoja del plátano (Sigatoka) causada por *Mycosphaerella musicola*. Factores que influyen en el período de incubación y el desarrollo de la enfermedad en Cuba. Agrotecnia de Cuba 15(1):55-64.
69. Pérez L., 1998. Black Sigatoka disease control in banana and plantains plantations in Cuba. Management of the disease based on an integrated approach. INFOMUSA. Vol. 7(1):27-30. *Mycosphaerella* leaf spot diseases of bananas: present status and outlook 84
70. Ploetz, R.; Zentmyer, G.; Nishijima, W.; Rohrbach, K.; Ohr, H. 1994. Compendium of Tropical Fruit Diseases. American Phytopathological Society Press. St. Paul, MN.

71. Román, S. 2001. Fertilización de Cultivos de la Zona Centro Norte de Chile. Agenda del Salitre SOQUIMICH 2001. Undécima Edición. 332-334. SOQUIMICH COMERCIAL S.A (ed.). Santiago, Chile.
72. Romero, R. 2000. Black leaf streak. Control. In: Diseases of banana, acabá and enset. Jones, D.S. (ed.). CABI publishing, Wallingford, UK.
73. Rios, R. & Corella, F. 1999. Manejo de la Nutrición y Fertilización del mango en Costa Rica. <http://www.mag.go.cr>
74. Ruiz J.; García P.; Rivero R.; Romero L. 1999. Response of phenolic metabolism to the application of carbendazim plus boron in tobacco.
75. Salisbury, F.; Ross, C. 1992. Plant Physiology. 4th Edition. Belmont, CA: Wadsworth Publishers. p124-125.
76. Schoroeder, J.; Allen, G.; Hugouvieux, V.; Kwak, M.; Waner, D. 2001. Guard cell signal transduction. Annual Review of plant physiology and plant molecular Biology 52: 627-658.

77. SICA, 2003. Servicio de información y censo agropecuario del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Disponible en; <http://www.sica.gov.ec/cadenas/banano/docs/descripcion.htm>. Visitado el 26 de Agosto del 2007
78. Simmonds, N. y Shepherd, K. 1955. Taxonomy and origins of cultivated bananas. London, UK. Journal of the Linnean Society of Botany 55:302-312.
79. Sierra, L. 1993. El Cultivo del banano. Medellín. 679pp
80. Valmayor, R., Jamaluddin, S., Silayoi, B., Kusumo, S., Dahn, L., Pascua, O. y Espino, R. 2000. Banana Cultivar Names and Synonyms in Southeast Asia. Los Baños, Laguna - Philippines.
81. Williams, R.; Fraústo, J. 1993. The biological chemistry of the elements. The inorganic chemistry of life. Clarendon Press. Oxford.
82. Yamada, T. 1996. La nutrición mineral y la resistencia de las plantas a las enfermedades. Informaciones agronómicas N° 23, INPOFOS. p7-10.

83. Yáñez, J. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. Efecto de los nutrientes sobre la calidad de los productos y la resistencia físico química de las plantas a plagas, enfermedades y al estrés ambiental. Buenavista-Salttillo-Coahuila. <http://www.uaaan.mx>