

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN, DIRECCIÓN DE
PROYECTOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA AGRICULTURA
SOSTENIBLE DEL TRÓPICO HÚMEDO (CIDASTH)



INFORME FINAL
RESPUESTA AGRONÓMICA DEL PLÁTANO A LA FERTILIZACIÓN CON
BORO, ZINC Y CALCIO EN SAN CARLOS, COSTA RICA.

FEBRERO DEL 2016

Contenido

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	¡Error! Marcador no definido.
Objetivos específicos	2
MATERIALES Y MÉTODOS	3
Información general	3
Preparación del suelo, siembra y conducción del cultivo	3
Tratamientos, diseño experimental y análisis estadístico de los datos experimentales	4
Medición de características de crecimiento, del racimo y de la fruta durante la cosecha	5
Análisis químicos de hojas	6
Evaluación visual del desorden fisiológico	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
Parámetros de crecimiento (altura y circunferencia del pseudotallo, AS y CS respectivamente)	8
Parámetros generales de rendimiento	10
Parámetros específicos de rendimiento y calidad	10
Número de manos (N _M).....	10
Número de frutos (N _F) por racimo.....	11
Longitud y calibre del fruto (LF y CF).....	12
Peso del racimo (PR)	13
Resultados de análisis foliar	14
Boro	14
Zinc.....	16
Calcio.....	18
Desorden fisiológico que afecta la apertura de la hoja “candela”	20
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN	25
AGRADECIMIENTO	25
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	29

CUADROS

CUADRO 1. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS CORRESPONDIENTES A LOS LOTES DE SIEMBRA. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE 2015.	3
CUADRO 2. FUENTES DE FERTILIZANTES EN CADA TRATAMIENTO, SUS RESPECTIVAS DOSIS Y FECHA DE APLICACIÓN. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DE 2015.	4
CUADRO 3. EVALUACIÓN VISUAL DEL DESORDEN FISIOLÓGICO EN PLANTAS DE PLÁTANO, ENROLLAMIENTO, AMARILLAMIENTO O LESIONES, EN LA HOJA "CANDELA" QUE DIFICULTA LA EXPANSIÓN DE ÉSTA. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DE 2015.....	6
CUADRO 4. PROMEDIO DE SEVERIDAD EXPRESADA EN PORCENTAJE POR CADA GRADO DE SEVERIDAD Y POR NÚMERO DE EVALUACIÓN DEL DESORDEN FISIOLÓGICO EN LA HOJA "CANDELA" DE PLÁTANO. LOTE 24. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015.....	22
CUADRO 5. PROMEDIO DE SEVERIDAD EXPRESADA EN PORCENTAJE POR CADA GRADO DE SEVERIDAD Y POR NÚMERO DE EVALUACIÓN DEL DESORDEN FISIOLÓGICO EN LA HOJA "CANDELA" DE PLÁTANO. LOTE 41. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015.....	23

FIGURAS

- FIG. 1. ALTURA PROMEDIO DE SEUDOTALLO DE PLÁTANO CURRARÉ, SEGÚN TRATAMIENTO, A LA EDAD DE OCHO MESES. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015..... 9
- FIG. 2. CIRCUNFERENCIA PROMEDIO DE SEUDOTALLO DE PLÁTANO CURRARÉ, SEGÚN TRATAMIENTO, A LA EDAD DE OCHO MESES. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015..... 9
- FIG. 3. NÚMERO DE MANOS POR RACIMO DE PLÁTANO CURRARÉ, PROMEDIO DE LOS DOS LOTES SEGÚN TRATAMIENTO. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 11
- FIG. 4. NÚMERO PROMEDIO DE FRUTOS POR RACIMO DE PLÁTANO CURRARÉ, SEGÚN TRATAMIENTO EN DOS LOTES. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015..... 12
- FIG. 5. LONGITUD DEL FRUTO CENTRAL DE LA SEGUNDA MANO DE PLÁTANO CURRARÉ, SEGÚN TRATAMIENTO. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015..... 13
- FIG. 6. CALIBRE DEL FRUTO CENTRAL DE LA SEGUNDA MANO DE PLÁTANO CURRARÉ, SEGÚN TRATAMIENTO. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 13
- FIG. 7. PESO DEL FRUTO DE PLÁTANO CURRARÉ, SEGÚN TRATAMIENTO. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015..... 14
- FIG. 8. CONCENTRACIÓN DE BORO EN LA HOJA DE MUESTREO TRADICIONAL Y EN LA HOJA EN PROCESO DE APERTURA EN LOS DOS LOTES EXPERIMENTALES EN LOS TRATAMIENTOS CON BORO. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 16
- FIG. 9. CONCENTRACIÓN DE ZINC EN LA HOJA DE MUESTREO TRADICIONAL Y EN LA HOJA EN PROCESO DE APERTURA EN LOS DOS LOTES EXPERIMENTALES EN LOS TRATAMIENTOS CON ZINC. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 17
- FIG. 10. CONCENTRACIÓN DE BORO Y ZINC EN LA HOJA DE MUESTREO TRADICIONAL Y EN LA HOJA EN PROCESO DE APERTURA EN LOS DOS LOTES EXPERIMENTALES EN LOS TRATAMIENTOS CON ESTOS DOS ELEMENTOS. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015..... 18
- FIG. 11. CONCENTRACIÓN DE CALCIO EN LA HOJA DE MUESTREO TRADICIONAL Y EN LA HOJA EN PROCESO DE APERTURA EN LOS DOS LOTES EXPERIMENTALES EN LOS TRATAMIENTOS CON CALCIO. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 19
- FIG. 12. CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO Y POTASIO EN LA HOJA DE MUESTREO TRADICIONAL Y EN LA HOJA EN PROCESO DE APERTURA EN LOS DOS LOTES EXPERIMENTALES. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 20
- FIG. 13. INCIDENCIA DEL DESORDEN FISIOLÓGICO EN LA HOJA "CANDELA" POR TRATAMIENTO Y NÚMERO DE EVALUACIÓN. LOTE 24, SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015.... 21
- FIG. 14. INCIDENCIA DEL DESORDEN FISIOLÓGICO EN LA HOJA "CANDELA" POR TRATAMIENTO Y NÚMERO DE EVALUACIÓN. LOTE 41. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015.... 21
- FIG. 15. PROMEDIO PONDERADO DEL GRADO DE SEVERIDAD (GS) DEL DESORDEN FISIOLÓGICO EN LA HOJA "CANDELA" EN LAS CINCO EVALUACIONES HECHAS EN EL LOTE 24. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 23
- FIG. 16. PROMEDIO PONDERADO DEL GRADO DE SEVERIDAD (GS) DEL DESORDEN FISIOLÓGICO EN LA HOJA "CANDELA" EN LAS CINCO EVALUACIONES HECHAS EN EL LOTE 41. SANTA CLARA, SAN CARLOS. DICIEMBRE DEL 2015. 24

CÓDIGO DEL PROYECTO: 2151-035

TÍTULO

RESPUESTA AGRONÓMICA DEL PLÁTANO A LA FERTILIZACIÓN CON BORO, ZINC Y CALCIO EN SAN CARLOS, COSTA RICA.

Elaborado por:

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, M. Sc.

Correo electrónico: pafurcal@itcr.ac.cr

Coordinador del proyecto

Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Escuela de Agronomía, Sede San Carlos.

RESUMEN

Respuesta del plátano a la fertilización con calcio, boro y zinc en San Carlos, costa rica.

El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de boro, zinc y calcio en plátano (*Musa AAB*). El ensayo se llevó a cabo desde abril de 2014 a diciembre de 2015 en una finca privada en Ulima, Florencia, San Carlos, Costa Rica; en un suelo del orden inceptisol, con contenido medio de calcio y medio-alto en fósforo. La siembra del plátano Curraré se realizó a razón de 3300 plantas/ha. Se aplicó Ca, B y Zn tanto al suelo como al follaje de la planta durante el crecimiento y desarrollo del cultivo en dos lotes y en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron crecimiento, rendimiento y calidad, y la dificultad de apertura de la hoja en proceso de emisión en el cultivo. La aplicación de zinc foliar (ZnF) produjo los mayores valores promedios en la mayoría de las variables como mayor altura (260,91 cm) y circunferencia de pseudotallo (64,24 cm), número de manos (5,9), longitud de frutas (24,11 cm) y peso de racimo de plátano (8,94 kg), no así la combinación zinc más boro al suelo y foliar (Zn+B)SF que presentó valores más bajos que los anteriores; el calcio y el boro no surtieron efectos positivos en la producción y calidad del plátano como el zinc. Los elementos aplicados no redujeron los síntomas relacionados con la dificultad de apertura de la hoja en proceso de apertura, este se presentó en la etapa de mayor crecimiento y desarrollo del cultivo.

Palabras clave: Micronutrientes en *Musa AAB*, desorden fisiológico, longitud de frutos de *Musa AAB*, fertilización mineral en *Musa AAB*.

ABSTRACT

Plantain response to fertilization with calcium, boron and zinc in San Carlos, Costa Rica.

The objective of this experiment was to evaluate the effect of the application of boron, zinc and calcium in the plantain crop (*Musa AAB*). The trial was conducted from April 2014 to September 2015 on a private farm in Ulima, Florencia, San Carlos; on a soil of the inceptisol order, with average content of calcium and medium-high phosphorus content. The Currare plantain was sown at the rate of 3000 plants/ha. Ca, B and Zn were applied both the soil and the foliage during growth and development of the crop in two batches and in a randomized block design with four replications. The evaluated variables were growth, yield and quality, and the leaf opening difficulty of the emission process in the culture. The foliar application of zinc (ZnF) produced the highest averages values in most of the variables as greater height (260,91 cm) and circumference of pseudostem (64,24 cm), number of hands (5.9), length of fruits (24,11 cm) and plantain bunch weight (8,94 kg), not so the combination zinc more boron to the soil and foliar ((Zn+B)SF) which showed lower values than the previous; calcium and boron not had positive effects on the production and quality of the plantain as the zinc. The applied elements did not reduce the symptoms related to the leaf opening difficulty in process of opening; this one was presented in the higher growth and development crop stage.

Keywords : Micronutrients in *Musa AAB*, physiological disorder, length fruits of *Musa AAB*, mineral fertilization in *Musa AAB*.

INTRODUCCIÓN

El plátano es un cultivo importante en la Región Huetar Norte por su aporte social al ser cultivado por pequeños productores con posibilidades de diversificación con otras actividades económicas productivas (Barrientos y Chaves, 2008). Este cultivo representa un aporte económico para la región, cuya producción se ve favorecida por las condiciones edafoclimáticas de la zona. La región Huetar Norte aporta el 25% de la producción nacional y la región Caribe entre el 50 y 51% (Barrientos y Chaves, 2008; CNP, 2009), con una superficie de 9000 ha sembradas en los años 2012 y 2013, una producción de 80000 y 100000 t, respectivamente. La producción de plátano genera al menos 15000 empleos directos en el país; en la región Caribe se estimó una población de 800 productores (SEPSA, 2014).

Para el año 2006 muy pocos estudios en Costa Rica y especialmente en Región Huetar Norte se referían a la respuesta del cultivo de plátano a la fertilización, la remoción y la dosis de los elementos de mayor consumo por este cultivo, potasio (K) y nitrógeno (N), y del elemento fósforo (P), que aunque este último no es de alto consumo por las musáceas, su aplicación es elevada debido a su deficiencia en la mayoría de los suelos de la zona y a su baja eficiencia de absorción. Basado en lo anterior y a la importancia del plátano en la zona norte, se plantearon en el 2007 dos proyectos en fertilización del cultivo de plátano (*Musa AAB*) con N, K, P y S en San Carlos, Costa Rica.

Una de las recomendaciones en esos proyectos de investigaciones en la Región Huetar Norte fue que debe tomarse en consideración algunos síntomas visibles presentes, similar a las producidas por las deficiencias de boro (B) y de calcio (Ca); para el B en estado avanzado se manifiesta con clorosis intervenal severa y la formación incompleta de la lámina por dificultad al momento de brotar del meristemo y producción escasa de raíces (Cayón y Salazar, 2001); la sintomatología de la deficiencia de B en cv Hartón de plátano se manifiesta como dificultad de apertura en la hoja bandera al momento de brotar desde el meristemo (Martínez, 2009). De igual manera, la falta de Ca produce mala lignificación del meristemo, estos se necrosan y mueren, igual que con la deficiencia de boro (Martínez, 1990).

Los desórdenes fisiológicos se refieren al daño o colapso del tejido de la planta o de la fruta que no es causado por patógenos ni por daños mecánicos. Estos pueden desarrollarse en gran medida como respuesta a un ambiente adverso, especialmente a la temperatura, o a la deficiencia nutricional durante el crecimiento y desarrollo (Wills et al., 1989). En el caso del desorden fisiológico en la hoja en proceso de apertura de la mata de plátano se presenta como un daño en un tejido que en pocos días definirá un área fotosintéticamente activa, aunque no se ha demostrado si tiene efecto en el rendimiento y la calidad de la fruta.

El balance de nutrimentos en el suelo debe asegurarse desde el inicio del ciclo vegetativo de las plantas, para un crecimiento propio de material genético hasta la aparición del racimo (Yamada, 2003). El plátano, igual que otras musáceas, requiere por encima de 250 kg de K/ha (Furcal-Beriguete y Barquero-Badilla, 2014) esto acarrea que la absorción de micronutrientes sea afectada, a excepción del cloro (Cl), el cual es usado para la formación de ATPasa en la membrana y el tonoplasto. Después del Cl, le siguen en importancia el Mn, Fe, Zn y B. Las aplicaciones con B y Zn aumentaron en cuatro y cinco los días a cosecha respecto a las plantas no fertilizadas (Nava y Villarreal, 2000), esto podría repercutir en la programación y calidad de la cosecha ((Muñoz y Molina, 1992; Nava y Villarreal, 2000). En suelo medio en B y Zn (0,4 ppm y 2,6 ppm) al aplicar 15 kg de borato de sodio/ha, los racimos fueron 73% de tamaño mediano a grande, mayor de 20 kg/racimo (Muñoz y Molina, 1992). Bajo el mismo concepto, en otro estudio los rendimientos aumentaron con una onza por planta de Bórax aplicado al suelo, estos autores encontraron que el contenido de este elemento se elevó en las hojas conforme se incrementó la dosis de Bórax, siendo suficiente 25 ppm de B en las hojas una onza de ZnSO₄ por planta no produjo efectos significativos (Silva y Chandler, 1974).

La aplicación de las dosis entre 0 y 4 g de B por planta, durante tres ciclos del cultivo no afectaron significativamente las variables morfométricas del racimo, la sintomatología visual de deficiencia de B, ni la hoja más joven manchada por Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). Por el contrario, con los ciclos se aumentaron las variables de rendimientos y calidad del racimo, y la concentración de boro foliar (Gómez-Cárdenas et al., 2010). Las deficiencias de Ca y de B afectan el peso de los hijos, ya que la falta de Ca produce mala lignificación del meristemo, estos se necrosan y mueren, igual que con la deficiencia de boro debido a la influencia de este elemento en el transporte de fotosintetizados desde la planta madre a los hijos y en la lignificación (Martínez, 1990).

La deficiencia de B en plátano en la etapa inicial se observan como pequeñas rayas blanquecinas translúcidas, paralelas a la nervadura central de las hojas jóvenes; en estados más avanzados presentan clorosis intervenal severa y la formación incompleta de la lámina, producción de escasas raíces y de color café oscura, así como racimos con pocas manos y dedos (Cayón y Salazar, 2001). Del mismo modo, la sintomatología de la deficiencia de B en cv Hartón se manifiesta como dificultad de apertura en la hoja bandera al momento de brotar desde el meristemo, debido a la falta de lignificación del tejido; aparecen deficiencias de potasio y magnesio por el pobre desarrollo radicular y en las hojas las nervaduras secundarias son gruesas por la acumulación de fotosintatos al no poder ser transportado por la deficiencia de este elemento (Martínez, 2009). La deficiencia de B en el suelo produce interacciones de nutrientes a nivel del tejido foliar, las cuales pueden manifestarse con disminución de casi todos los elementos como N, P, K, Mg, S, pero se produce aumento en la concentración de Ca y Zn (Martínez, 2009).

En el caso de deficiencia de Zn, el principal síntoma que aparece en el cv Hartón de plátano es una clorosis en las hojas más nuevas, lo cual es muy común en suelos ricos en fósforo (Martínez, 2009).

Las deficiencias de Ca en el suelo conlleva interacciones a nivel del tejido foliar con los demás elementos minerales, manifestándose un aumento en las concentraciones de N por el efecto sobre el ciclo del elemento y aumentan las concentraciones de potasio y magnesio por disminuir la competencia catiónica. Hay también aumento en las concentraciones de B a nivel de tejido foliar por las interacciones negativas que existen con este elemento (Martínez, 2009).

Los rangos de los micronutrientes en las hojas de plátano para el funcionamiento normal de esta planta son: 650 ppm de Mn, 70 ppm de Fe, 11 a 24 ppm de Cu, 18 a 43 ppm de Zn y 20 ppm de B (Martínez, 1990). En otro trabajo se proponen niveles críticos como guía para la fertilización en plátano, a partir de análisis en la tercera hoja más joven abierta, basados en peso seco, los porcentajes propuesto son N: 2,4 – 3,0; P: 0, 25; K: 2, 7 – 3, 5; Ca: 0, 4 – 1, 0; Mg: 0, 20 – 0,36; en (ppm) Mn: 25 – 150; Zn: 15 – 18; Fe: 60 – 80; B: 11; Cu: 5 – 9. Sin embargo en estudios en zonas plataneras en Colombia, se correlacionaron análisis de suelos y de tejido foliar, encontrándose que esta metodología de análisis foliar en plátano, para recomendación de fertilización es confiable para nitrógeno, fósforo y zinc; para potasio, calcio, magnesio, cobre y boro no es confiable, siendo la correlación peor la de B con 0,17 (Crane y Belardi, 1998).

Basado en lo anterior se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de los elementos Ca, B y Zn sobre parámetros de crecimiento y rendimiento, y en el desorden fisiológico de deformación de la hoja en proceso de apertura en el cultivo de plátano (*Musa AAB*).

Objetivos específicos

- Analizar el efecto de la aplicación de Ca en el crecimiento y el rendimiento del cultivo de plátano.
- Analizar el efecto de la aplicación de B en el crecimiento y el rendimiento del cultivo de plátano.

- Analizar el efecto de la aplicación de Zn en el crecimiento y el rendimiento del cultivo de plátano.
- Evaluar el efecto del Ca y del B sobre la deformación de la hoja en proceso de apertura (hoja “candela”).

MATERIALES Y MÉTODOS

Información general

Este estudio se llevó a cabo en Ulima, distrito de Florencia, cantón San Carlos, en la finca propiedad del señor Rodolfo Salazar. Los suelos son de origen aluvial con una fertilidad alta (Cuadro 1) (Cubero, 2001; Núñez, 2001) y relaciones de bases con desbalance por exceso de calcio respecto al magnesio y al potasio, según los niveles propuestos por Méndez y Bertsch (2012). Los lotes 24 y 41 donde se ubicó el experimento se encuentran a una altura de 74 msm, en las coordenadas 10° 26.53' 21" N; 84° 29,48' 07" O y 10° 26.51' 80" N; 84° 29,48' 07" O, respectivamente. La zona se encuentra en el trópico húmedo, donde la temperatura se presenta en un rango de 31,5° C y 22 °C, y la precipitación es alrededor de 3000 mm anual, con un período de febrero a abril con pocas lluvias (Estación 069579)¹.

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos correspondientes a los lotes de siembra. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Lote	pH	cmol(+)/L				mg/L						%		
		Ca	Mg	K	Acidez	Cu	Fe	Mn	Zn	P	B	Arena	Limo	Arcilla
24	5,35	15,45	2,88	0,45	0,21	7	127	12	3,5	23,8	0,18	24	39	37
41	6,15	16,93	3,30	0,46	0,25	5	75	7	1,6	19,1	0,57	20	41	39

Textura: Franco arcillosa

Preparación del suelo, siembra y conducción del cultivo

La preparación del suelo, previamente sembrado de *Cucurbita pepo*, consistió en un pase de rastra a 20 cm, posteriormente se procedió al ahoyado. La siembra se hizo a doble hilera en cama de 13,7 m de ancho, estas camas fueron separadas por drenajes para evacuación de aguas superficiales y desplazamiento de maquinarias para hacer labores de cultivo. La siembra se hizo el 15 de abril y el 20 de mayo de 2014, lotes 41 y 24 respectivamente, con cormos del cultivar “Curraré” provenientes de la finca, la densidad de siembra fue alta, 3300 plantas por hectárea. Las labores agronómicas de manejo del cultivo fueron: control de nematodos, control químico y cultural de sigatoka negra, control de malezas, deshojas y embolsado, estas labores fueron hechas tanto por el productor como por el responsable del experimento de la escuela de Agronomía del TEC, siempre en coordinación respecto a la fecha, producto y dosis aplicación.

En cuanto al combate de la sigatoka, enfermedad muy agresiva en la zona, se procedió con control cultural, este consistió en poda parcial o total de las hojas o deshoje con la presencia del hongo, ya que este órgano es la única fuente del inóculo. Al ser las hojas depositadas en el suelo en secciones amontonadas provoca una rápida degradación, con esta práctica la vida del patógeno se reduce a 3 o 6 semanas y por ende la de las ascoporas (Orozco-Santos et al., 2008), además de la disminución de áreas con inóculos; otras prácticas que se hicieron para el manejo de la enfermedad fueron drenaje superficial y nutrición del cultivo de manera tal que las plantas mantuvieran un buen ritmo de emisión foliar y contrarrestar la agresividad de la enfermedad.

¹ Estación meteorológica de Santa Clara. Latitud: 10° 21 N y longitud 84° 31 W, 120 msnm. ITCR, Sede San Carlos.

Otra forma de atacar este patógeno y prevención de bacteriosis fue a través de tratamiento químico con los productos y dosis que se detallan a continuación: Complejo de yodo plus (solución desinfectante, 1,5 ml/L); Tebutriazell 30EC® (fungicida Triazol: Tebucinazol+Triadimenol, dosis 0,5 l/ha; Agromart® (Aceite mineral, 2,5 cc/L); Propiconazol 25 EC® (fungicida Triazol, 0,6 l/ha); Cosmo-In 1,5 ml/L (coadyuvante); Agrimycin-16,5 WP ((bactericida-antibiótico) Estreptomina, Oxitetraciclina, dosis: 1,5 g/L); Cobrethane 61,1 WP®, fungicida Ditiocarbamato, inorgánico (Macozeb+Oxicloruro de cobre, 2,5 kg/ha); Sunxamyl 24 SL® insecticida-nematicida. Carbamato (Oxamyl 1,35 cc/L, 6 ml del caldo por mata); Nativo 75WG® (Tebuconazol, grupo químico Estobilurina-Triazol, 500 g/ha); Score®250 EC (Difenoconazol, grupo químico Triazol, dosis: 485 ml/ha o 1,35 cc/L); Antracol® 70 WP (Fungicida ditiocarbamato-propineb, dosis 2 kg/ha); Carbendazina® 50 SC: (Metil benzimidazol-2-carbamato), 0,8 l/ha.

Tratamientos, diseño experimental y análisis estadístico de los datos experimentales

El experimento constó de ocho tratamientos con cuatro repeticiones, con fertilizantes a base de calcio (Ca), boro (B) y zinc (Zn) aplicados al suelo y vía foliar, más un testigo compuesto de nitrógeno (N) y potasio (K). Este último (NK), además de fungir como testigo se aplicó como base en los demás tratamientos, para mejor expresión de los mismos y desarrollo del cultivo. La fertilización al suelo con N-P-K es la tradicional en este cultivo, sin embargo, el P (fósforo) no se aplicó debido a que los suelos presentaron niveles importantes de este elemento (Cuadro1); Furcal y Barquero (2013) no encontraron respuesta del cultivo de plátano a este elemento en dos ciclos consecutivos, en suelos con contenido por encima de 5 ppm de P extraído con Olsen Modificado.

Los tratamientos aplicados fueron: N-K₂O (testigo), Ca (suelo y foliar), B (suelo y foliar), Zn (suelo y foliar), Ca foliar, B foliar, Zn foliar y B+Zn (suelo y foliar). Se aplicó Mg al suelo como un tratamiento adicional por el contenido alto de Ca en el suelo, pero no estaba previsto en el inicio del experimento. Algunas otras combinaciones de los tratamientos se hicieron respecto al proyecto original con el propósito de buscar mejores resultados durante el análisis de los datos, sin afectar los objetivos propuestos del estudio.

Los fertilizantes usados como fuente de los elementos experimentales, su distribución en el ciclo del cultivo y la dosis se detallan en el cuadro 2. La aplicación de los fertilizantes al suelo y foliar fue alterna, este aporte se hizo durante el período vegetativo del cultivo de acuerdo a la idea de Yamada (2003) y Sancho (1999), el primero indica que los nutrientes deben aplicarse en forma balanceada durante la etapa de crecimiento cuando el cultivo los necesita para su desarrollo, hasta la aparición del racimo; mientras que el segundo propone que la mayor parte de los fertilizantes debe aportarse a partir de la emisión de la hoja 16 hasta la aparición de la inflorescencia, dado que este es el período del ciclo biológico del plátano de mayor demanda de nutrientes.

Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes en cada tratamiento, sus respectivas dosis y fecha de aplicación. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Fecha	Fertilizantes aplicados al suelo (kg/ha)					
	Ca(NO ₃) ₂	ZnSO ₄	H ₃ BO ₃	NH ₄ NO ₃	KCl	MgSO ₄
45 DDS	35,08	7,42	3,43	119,4 (20%)	83,4 (20%)	68,03
105 DDS	35,08	7,42	3,43	238,8 (40%)	166,7(40%)	68,03
165 DDS	35,08	7,42	3,43	238,8 (40%)	166,7(40%)	68,03
Total	105,24	22,26	10,67	597,00	416,80	204,09
Elemento	20 (Ca)	5 (Zn)	1,9 (B)	200 (N)	250 (K₂O)	20 (Mg)
Fecha	Fertilizantes aplicados al follaje (l/ha)					
	Cyto Ca 17%	Cyto Zn 11%	Metalosato B 5%			
90 DDS	1,6	1,6	1,0			
120 DDS	2,4	2,4	1,0			
150 DDS	2,4	2,4	1,0			

Total	6,4	6,4	3,0
-------	-----	-----	-----

DDS: Días después de la siembra

El N y K se aplicaron en forma granular alrededor de cada planta, mientras que el Ca, B, Zn y Mg, por ser poca cantidad por aplicación por planta, después que las fuentes fueron pesadas en balanza digital se disolvieron en forma individual en un volumen de agua proporcionar a las 10 plantas de cada unidad experimental (40 plantas por tratamiento), aplicándose 50 ml de la disolución en las dos primeras aplicaciones y 100 ml en la última, en forma de “drench”, alrededor de la base de cada planta. Las aplicaciones de los tratamientos en forma foliar se hicieron con una bomba de presión manual con capacidad para ocho litros, previamente calibrada para determinar el volumen descargado por unidad experimental.

Las variables obtenidas durante las cosechas y los resultados de análisis químicos de hojas se analizaron a través de un diseño en bloques al azar con muestreo, puesto que las mediciones se hicieron en 5 de las 10 plantas que conformaron cada unidad experimental; mientras que las variables de crecimiento (altura de planta y circunferencia de pseudotallo) se analizaron por medio de un modelo matemático de diseño en bloques al azar sin muestreo, debido a que estas dos variables se midieron en las 10 plantas. El modelo que representa este diseño se expresa como:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + m_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable dependiente (observación)

μ = media general de la población

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = efecto de bloque

ε_{ij} = error aleatorio experimental

m_{ijk} = error de muestreo

El análisis de los datos recopilados se hizo mediante el software estadístico InfoStat. Con este se realizó el análisis de varianza (ANDEVA) y análisis de medias con la prueba de Tukey, además se hicieron contrastes, comparándose los tratamientos: zinc foliar vs zinc foliar más al suelo (ZnF vs Zn FS), boro foliar vs boro foliar más al suelo (BF vs BFS), calcio foliar vs calcio foliar más al suelo (CaF vs CaFS), boro vs boro más zinc (B vs BZn), zinc vs boro más zinc (Zn vs BZn), boro vs calcio (B vs Ca), en estos últimos tres contrastes se unen todos los tratamientos de cada elemento sea aplicado al suelo o foliar; finalmente el último contraste es todos los tratamientos vs nitrógeno y potasio (Todos vs NK), el NK fungió como testigo.

Medición de características de crecimiento, del racimo y de la fruta durante la cosecha

Vegetativas. *Altura del pseudotallo (AS)* y *circunferencia del pseudotallo (CS)*. La AS se midió desde la superficie del suelo hasta el punto de salida de la inflorescencia floral. En la base del tallo, 10 cm por encima de la superficie del suelo, se midió la CS. Estas mediciones se hicieron en las 10 plantas que conformaron la unidad experimental, próximo a la aparición de la inflorescencia de las primeras plantas que ocurrió a los ocho meses.

Características (productivas) del racimo. Durante el ciclo de cosecha del cultivo, en cada cosecha (una vez por semana, durante tres meses) se midieron las variables: *longitud externa y calibre (diámetro o grado) de la fruta (LF y CF)*, *número de manos y número de frutas por racimo (N_M y N_F)*, y *peso del racimo (PR)*. Estas variables se midieron en 5 de las 10 plantas en cada unidad experimental. Para obtener estos datos se usaron: cinta métrica flexible para LF, calibrador “pie de rey” para CF y balanza digital con capacidad para 50 kg con la que se hizo el pesaje de cada racimo cosechado. La LF se obtuvo con la medida por la curvatura externa del dedo central de la

segunda mano, desde el extremo distal hasta el extremo proximal donde se considera que inicia y termina la pulpa; mientras que el CF se tomó en la parte central del mismo dedo donde se midió la LF.

Análisis químicos de hojas

Concentración de nutrientes (CN). Se tomó la parte media (sin nervadura) de la última hoja completamente abierta, normalmente corresponde a la tercera hoja a partir del meristemo de la planta. Esta muestra se tomó cuando las plantas tenían una edad de ocho meses de sembradas, en una hoja de cada una de las cinco plantas centrales de cada parcela o unidad experimental. Como el desorden fisiológico en la hoja (síntoma de deformación de la hoja) se aprecia en la hoja más joven (hoja recién emitida), el muestreo también se hizo en esta hoja con el propósito de medir la concentración de nutrimentos en la misma, especialmente Ca y B.

Las muestras se transportaron en bolsas de papel, luego se secaron a 60°C durante 72 horas en hornos con flujo de aire forzado, finalmente se procedió al análisis químico a través de digestión seca y posterior determinación por Absorción Atómica, excepto el nitrógeno total que se obtuvo por el método Dumas, en tanto el fósforo y el boro que se midieron en un Espectrofotómetro Ultravioleta Visible, este último elemento la muestra previamente fue tratada con Ca(OH)₂ y luego con Azometino-H. Para obtener el calcio, posterior a la digestión de la muestra, esta fue tratada con solución de Lantano al 1%. En cambio la lectura del Zn se hizo con el equipo de Absorción atómica directamente en la muestra digerida y disolución con agua destilada.

Evaluación visual del desorden fisiológico

Síntoma característico que dificulta la apertura de la hoja en emisión en plátano (*Musa AAB*) (conocida en este documento como hoja candela o meristemática), atribuido a la deficiencia de Ca y/o B.

Se hicieron cinco observaciones visuales en todas las plantas de cada unidad experimental, a partir del mes y medio, hasta los siete meses. Las plantas previamente fueron enumeradas en cada unidad experimental, para tener control del progreso del desorden en la planta donde se presentara. Para la observación o evaluación se usó una escala de daños diseñada para tal fin (Cuadro 3), a partir de una escala para evaluar el síntoma de Mal de Balastro en banano (*Musa sp. AAA*) (Álvarez 2013).

Cuadro 3. Evaluación visual del desorden fisiológico en plantas de plátano, enrollamiento, amarillamiento o lesiones en la hoja “candela” que dificulta la expansión de ésta. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015

Escala de daños en la hoja		
Clasificación del grado de severidad (Grado n)	Grado de afectación o estado de severidad del síntoma	Porcentaje de cada grado de severidad del síntoma y de incidencia
Sin síntomas (hoja normal (Grado 0))	Sin síntomas visibles en la hoja candela y en la última hoja abierta.	Grado de severidad (%) = (Nº de plantas grado n/total ptas) x 100.
Leve (Grado 1)	La hoja candela enrollada y doblada	Incidencia (%) = (Nº de plantas del área (unidad experimental) afectadas/Nº total de plantas) x 100.
Medio o moderado (Grado 2)	La hoja candela enrollada y doblada y con una lesión o lo anterior más la última hoja abierta, amarillenta o con franjas amarillentas.	

Alto o severo
(Grado 3)

La hoja candela enrollada y doblada, con lesiones en más de un lugar o lo anterior más la última hoja abierta con lesiones.

$$\text{Promedio Ponderado de Infección (PPI)} = \sum_{i=1}^4 \left[\frac{\% \text{ grado} * n}{100} \right]$$

Nota: la hoja de la planta pueden estar afectada sin lesiones, esto se da cuando la hoja permanece enrollada parcial o totalmente con dificultad de abrirse, pero sin lesiones evidentes. En este documento hoja “candela” se define como la hoja en proceso de apertura.

Donde: n= Grado n según la escala de severidad de daño en las hojas: 0, 1, 2 y 3

% grado = porcentaje para un determinado grado n

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de crecimiento (altura y circunferencia del pseudotallo, AS y CS respectivamente)

En Altura en el lote 24 se encontró en contrastes que el tratamiento ZnF superó al ZnSF. La media de todos los tratamientos en el lote 41, superó a la media de NK que fungió como testigo. Al unirse los datos de los dos lotes, en altura tanto con Tukey como con contrastes el tratamiento ZnF superó a NK con promedio de 260,91 cm y 248,19 cm, respectivamente, además con los contrastes se encontró que la media de todos los tratamientos (ZnF, ZnSF, BF, BSF, CaF, CaSF) superó a la media de NK; de la misma manera los tratamientos con Zn (ZnF y ZnSF) superaron a los tratamientos Zn y B (ZnF, ZnSF, BF y BSF), ver anexo.

En circunferencia del pseudotallo, la media de todos los tratamientos superó a la media de NK que fungió como testigo.

En conclusión, los tratamientos magnesio al suelo (MgS) y Zn foliar (ZnF) alcanzaron el mejor valor promedio, tanto en AS como en CS, como se observa en las Figuras 1 y 2; sin embargo esta diferencia en MgS no se tradujo en rendimiento. Por otro lado, pareciera que la aplicación de Zn y B ((Zn+B)SF) en conjunto no fue buena opción, de la misma manera que la aplicación de B y de Ca indistintamente que sea vía suelo o foliar, puesto que estos tratamientos a pesar que presentan medias más altas estadísticamente no superaron al testigo en estas variables.

En un estudio similar en banano se obtuvo menor respuesta al aplicar Ca-B en conjunto, del mismo modo que Zn-B, que cuando se aplicaron cada elemento por separado (Azofeifa et al., 2010). Resultado parecido se encontró en otro experimento con Zn y B en producción en banano (Martínez et al., 2008), indican que se debió a incompatibilidad de la mezcla al momento de la aplicación. Por otra parte se menciona sobre deficiencia de B y Zn en las hojas cuando el Ca se encuentra en niveles altos en el suelo o viceversa, también indica del posible aumento de Ca y Zn si el B es deficiente en el suelo (Martínez, 2009). Existen interacciones y antagonismos de elementos, tal es el caso del Ca si se incrementa a niveles altos en el suelo, disminuye la absorción de otros elementos como la del B, también puede afectar al Zn (Bolaños y García, 2000). En los lotes en estudio a pesar que el Ca no se encuentra en exceso en el suelo, los niveles llegan a ocasionar desbalance respecto al Mg y al K.

Algunos autores como Furcal y Barquero (2014) encontraron que altura y circunferencia en plátano son superiores cuando el cultivo es tratado con N respecto al testigo absoluto; en el experimento actual el uso de NK fue superado cuando a estos dos elementos (NK) se agregó ZnF o MgS. Azofeifa et al. (2010) con la aplicación foliar de Zn, B, Ca, Mg, Ca-B y Zn-B en banano no obtuvieron diferencias en circunferencia y altura a la floración y cosecha, respecto al testigo sin aplicaciones foliares. También en banano, Gómez et al. (2011) no encontraron diferencias significativas en crecimiento y producción con aplicaciones de B y Zn quelatados a las hojas respecto al testigo que correspondió a estos dos elementos aplicados al suelo en forma de “drench” cada siete semanas durante seis ciclos.

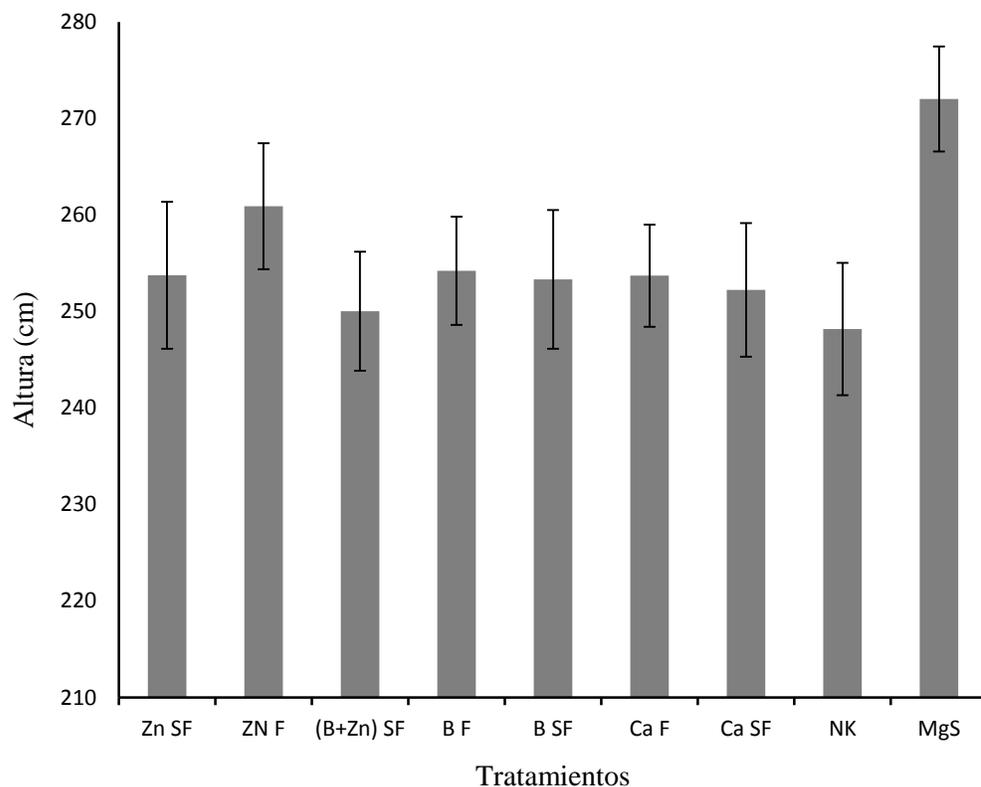


Figura 1. Altura promedio e intervalo de confianza de pseudotallo de plátano Curraré, según tratamiento, a la edad de ocho meses. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015

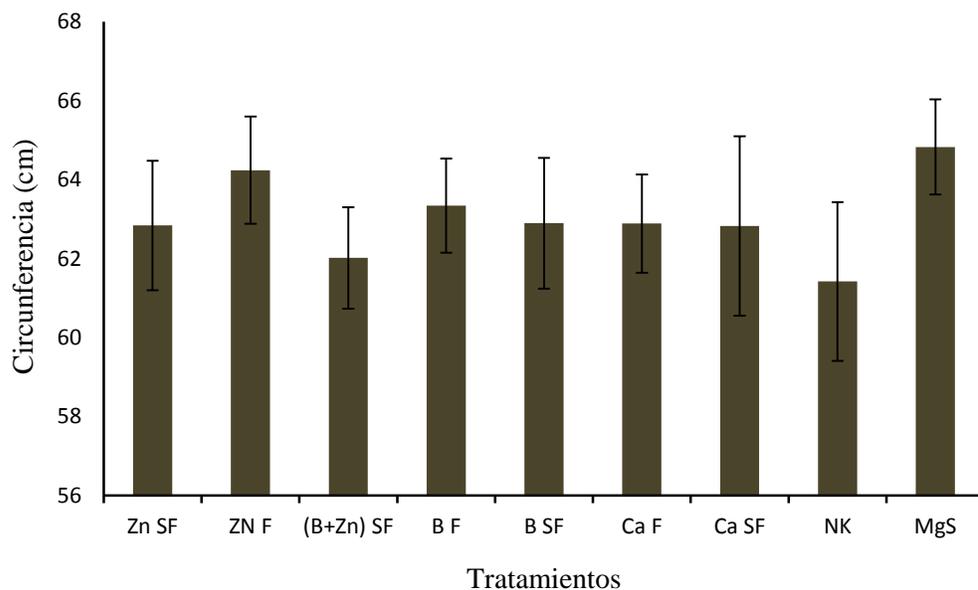


Figura 2. Circunferencia promedio y límite de confianza de pseudotallo de plátano Curraré, según tratamiento, a la edad de ocho meses. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Parámetros generales de rendimiento

Respecto a las variables de rendimiento (N° de manos, número y longitud de frutas, grado o diámetro de frutas, peso de racimo, entre otras), Azofeifa et al. (2010) no encontraron diferencias con la aplicación de Zn, B, Ca y Mg aplicado foliarmente en banano; de igual manera O'Hallorans et al. (2006) no evidenciaron diferencias en estas variables en el cultivo de plátano y en la concentración de estos elementos en los tejidos de hojas y peciolas, con las aplicaciones de 0.23 kg/ha de Zn, 0.23 y 0.45 kg/ha de B, a pesar de haber observado bajos contenidos en los suelos, la concentración de B en las hojas fue en un rango de 19,8 a 47 mg/kg. Gómez-C. et al. (2010), con aplicaciones de 1 a 4 g de boro al suelo, tampoco encontraron diferencias respecto al testigo en las variables morfológicas de rendimiento, la concentración de B foliar y en la hoja más joven manchada por Sigatoka negra, tampoco se eliminó la sintomatología de deficiencia foliar visual. Respuesta similar encontraron Gómez et al. (2011) en crecimiento y producción de banano con aplicaciones de B y Zn quelatados a las hojas intercalado con el testigo, siendo el testigo estos dos elementos, aplicados al suelo en forma de "drench" cada siete semanas durante seis ciclos.

Contrario a los resultados obtenidos por Azofeifa et al. (2010), O'Hallorans et al. (2006), Gómez-C. et al. (2010) y Gómez et al. (2011), se manifiestan Martínez et al. (2008) ellos encontraron incremento en la producción de banano cuando al plan de fertilización se le agregó 2 kg/ha/año de Zn y B al suelo, pero la aplicación en conjunto (2 kg/ha/año de cada elemento) ocasionó un descenso en el peso del racimo de banano, lo cual puede atribuirse a posible incompatibilidad en la mezcla durante la aplicación de estos y otros elementos; Moreira et al. (2010) elevaron el rendimiento de banano al aplicar 4 a 12 kg/ha de B en dos ciclos en un suelo oxisol, evidenciaron que para tener máximos rendimientos y contenido de B suficiente en las hojas y frutos es necesario aportar 4,1 y 6,1 kg/ha de B en el primer y segundo ciclo respectivamente; Muñoz y Molina (1992) mejoraron significativamente el rendimiento y la calidad de los racimos de plátano con 15 kg de Bórax/ha en suelo medio en B y Zn (0,4 ppm y 2,6 ppm). Bajo el mismo concepto Silva y Chandler (1974), elevaron los rendimientos con una onza por planta de Bórax aplicado al suelo, esos autores encontraron que el contenido de B se elevó en las hojas conforme se incrementó la dosis de Bórax, siendo suficiente para mejorar el rendimiento 25 ppm de B en las hojas; en ese estudio una onza de ZnSO₄ por planta no produjo efectos significativos. Nava y Villareal (2000) con alta tasa de N-K₂O, por encima de 300 kg/ha de estos elementos y 6,4 kg de Zn/ha se incrementó el rendimiento en 20%, al agregar al N y K₂O 3,5 kg de B/ha no hubo incremento en racimo de plátano.

Es conocido que, aún en condiciones adversas, la raíz es el órgano especializado en la absorción de agua y soluto (Gutiérrez, 2002; Segura, 2002), en este estudio los elementos B, Ca y Zn aportado al suelo no arrojaron resultados positivos. Sin embargo, el Zn foliar resulta la mejor opción, a pesar que la efectividad de absorción foliar varía con la especie, la edad y estructura de la hoja, y las sustancias involucradas. Estos resultados también contradicen lo expuesto por Gómez et al. (2011) que con aplicaciones adecuadas (métodos, fuentes, frecuencia) de B y Zn al suelo, no es necesario la aplicación foliar de micronutrientes, en este caso se debe considerar que los mejores resultados obtenidos por ellos fueron en las generaciones siguientes después de seis ciclos.

Parámetros específicos de rendimiento y calidad

Número de manos (N_M)

En esta característica no se encontró diferencias significativas entre tratamientos, los valores promedios oscilaron entre 6,35 a 5,65 manos por racimo (Figura 3), alcanzándose los más altos en el lote 24. En un estudio en banano no encontró diferencia con aplicaciones vía foliar de Ca, Mg, Zn y B (Azofeifa et al., 2010), por su parte Furcal y Barquero (2013, 2014) tampoco encontraron diferencias en esta característica con la aplicación de dosis de N, P, K y S en plátano. Se menciona que esta característica es fija en cada material genético, definida durante la diferenciación floral y sólo es afectada por condiciones especiales de clima y nutrición (Orozco y Chaverra, 1999; Soto, 2008); Crane y Belardi (1998) indican que el N_M y el número de frutas (N_F) que alcance el racimo

de plátano dependerá del crecimiento que experimente el cultivo entre el tercer y cuarto mes; de manera tal que el manejo de la fertilización es factor de cuidado. El manejo de la fertilización entre el primer y el sexto mes después de la siembra y el crecimiento experimentado en este estudio (Figuras 1 y 2) justifican buen $N_{\%M}$ y $N_{\%F}$ por racimo de acuerdo al material genético utilizado, incluso con la alta densidad de siembra de 3300 plantas por hectárea.

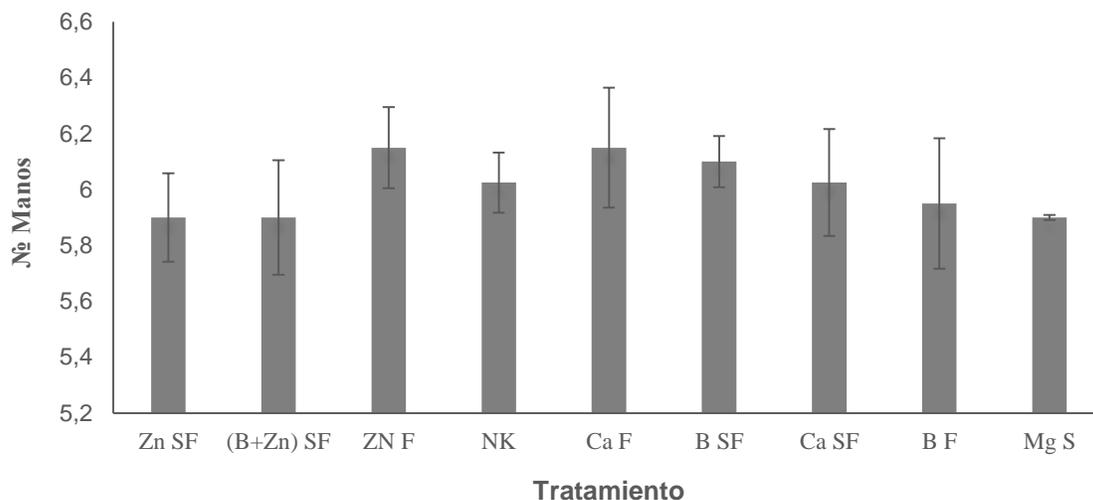


Figura 3. Número de manos por racimo de plátano Curraré, promedio de los dos lotes e intervalo de confianza, según tratamiento. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Número de frutos ($N_{\%F}$) por racimo

El valor promedio más alto fue de 27,46 y el más bajo de 23,45 frutos por racimo, ambos en el lote 41, el promedio de ambos lotes se encuentra dentro del rango de 26,78 y 24,35 frutos (Figura 4), sin encontrarse diferencias significativas entre tratamientos con el análisis de varianza. Molina y Muñoz (1992) encontraron respuesta al B y al Zn en $N_{\%F}$ en suelos con nivel medio en estos elementos, aplicando 15 kg/ha de Borax al suelo (5,48 kg de B_2O_3). En este experimento en el lote 41 donde el Zn es bajo en el suelo, al hacer contrastes se encontró que el tratamiento ZnF superó significativamente al ZnSF, igualmente que en el promedio de los dos lotes; mientras que en el lote 24 que presenta nivel medio de Zn en el suelo no se encontró este resultado. El hecho que el ZnF se manifestara mejor que el ZnSF en un suelo deficiente en este elemento, podría deberse a la inhibición de la absorción del Zn en el suelo por parte del Ca (Bolaños y García, 2000), elemento que está en un nivel medio en estos suelos (Méndez y Bertsch, 2012); esta misma situación podría presentarse con el P (Martínez, 2009) que se encuentra en nivel medio-alto en el suelo (Méndez y Bertsch, 2012).

En ninguno de los dos lotes hubo respuesta al B aplicado tanto al suelo como vía foliar, a pesar que en el lote 41 este elemento es bajo, no así en el lote 24, posiblemente este comportamiento se debe a la misma razón expuesta con el Zn y el Ca, Bolaños y García (2000), y Martínez (2009) manifiestan las interacciones negativas entre el Ca y el B, cuando el primero es alto en el suelo; mientras que Alarcón (sf) expresa la existencia de sinergismo entre estos elementos siempre que se encuentren con valores normales. En otro estudio también encontró correlación negativa entre el B y el P (Bolaños y García, 2000). Con aplicaciones foliares se evidenció respuesta más baja en plátano cuando la aplicación de Ca y el B fue en conjunto que su aplicación en forma individual (Azofeifa et al., 2010).

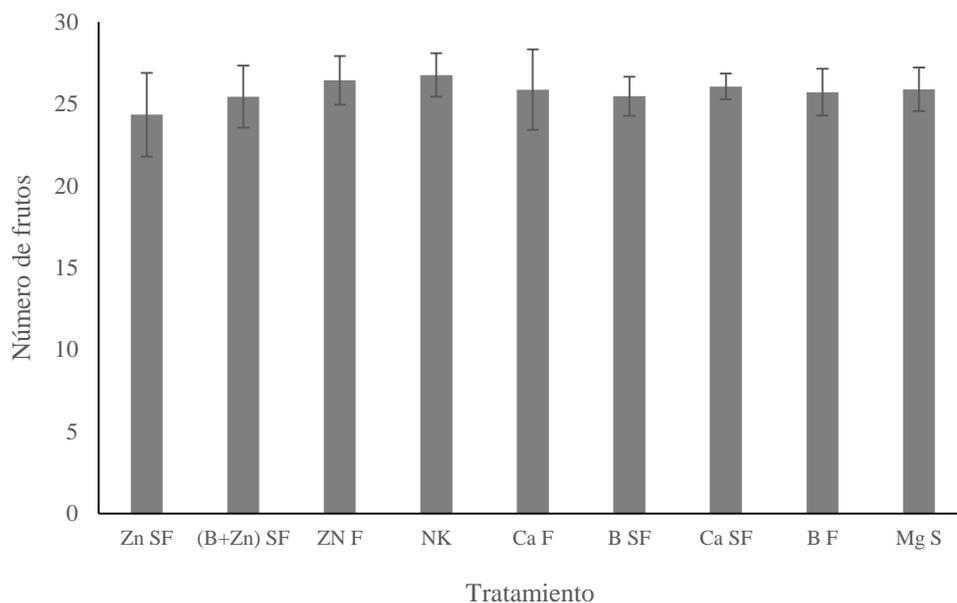


Figura 4. Número promedio de frutos por racimo de plátano Curraré de dos lotes e intervalo de confianza, según tratamiento. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Longitud y calibre del fruto (LF y CF)

En estas dos variables no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) en ninguno de los dos lotes cuando se analizaron en forma independiente ni en el promedio de los mismos con el análisis de varianza, el rango fue entre 24,11 y 23,05 cm de longitud. Sin embargo, al hacer contrastes en los tratamientos se encontró que en LF el uso del zinc superó el uso de este elemento más el boro (Zn vs Zn B), tanto en el lote 41 como en el promedio de los dos lotes (24 y 41). El otro contraste que presentó diferencias entre sus medias para la variable LF, fue todos los tratamientos sobre el testigo NK. Martínez et al. (2008) encontraron como mejor opción la aplicación de Zn y B por separado, al juntarlo (2 kg/ha/año de cada uno) hubo un descenso en el peso del racimo de plátano, aducen que pudo ocurrir incompatibilidad en la mezcla durante la aplicación de estos y otros elementos. Azofeifa et al. (2010) de igual manera observaron posible antagonismo entre el Zn y el B al ser aplicado en conjunto para el control de la Sigatoka negra. Este comportamiento del Zn y el B, además, pudo estar afectado por el contenido de Ca y P en los suelos, estos elementos se encuentran en concentraciones media y media-alta respectivamente.

En las Figuras 5 y 6 se observa que los tratamientos con zinc (zinc foliar y zinc al suelo más foliar) fueron los que presentaron el valor más alto en las variables LF y CF, mientras que los valores promedios más bajos en estos dos parámetros se obtuvieron con NK. Con estos resultados se podría sugerir que la mejor opción es aplicar NK complementado con el elemento Zn aplicado a las hojas (ZnF), sin el aporte de B.

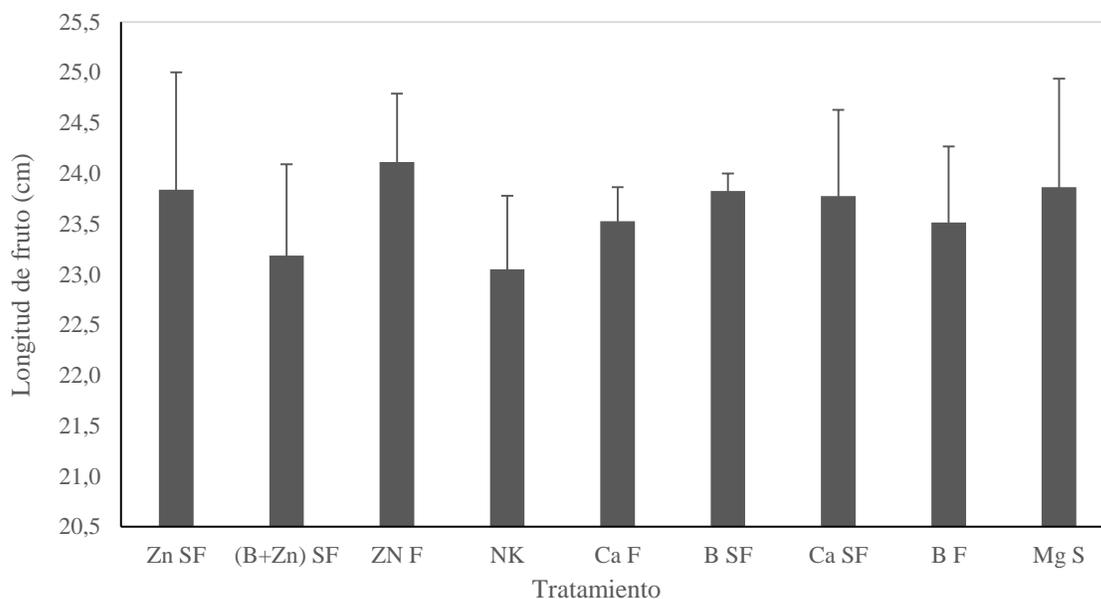


Figura 5. Longitud del fruto central de la segunda mano de plátano Curraré e intervalo de confianza, según tratamiento. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

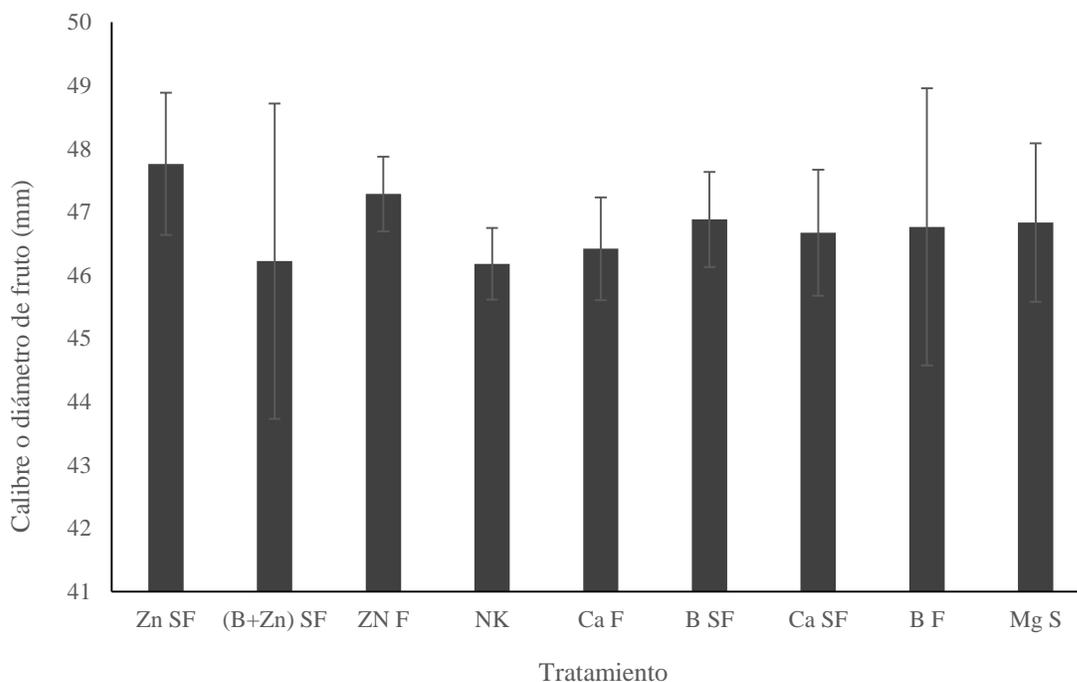


Figura 6. Calibre del fruto central de la segunda mano de plátano Curraré e intervalo de confianza, según tratamiento. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Peso del racimo (PR)

Los análisis de varianzas no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), no obstante al enfrentar en contraste el B contra el B + Zn o bien el Zn contra B+Zn se encontró que tanto el B (BF y BSF) y el Zn (ZnF y ZnSF) superaron a la combinación B y Zn en peso del racimo en el lote 24, del mismo modo en el promedio de ambos lotes (24 y 41), el Zn nuevamente supera a

la combinación B y Zn, por lo que se evidencia igual que en la variable LF que la aplicación del B y el Zn en conjunto al parecer no es la mejor alternativa. Al combinar los dos lotes se encontró que el ZnF supera al ZnSF, lo que reitera igual que los resultados previamente discutidos en otras variables evaluadas como N_oF y LF, al parecer es mejor aplicar zinc foliar que zinc al suelo y foliar. En la figura 7 se muestra que el tratamiento con mayor PR es zinc foliar (ZnF) con 8,95 kg por racimo, valor adecuado si se considera que la población fue muy elevada, 3300 plantas por hectárea de plátano “Curraré”.

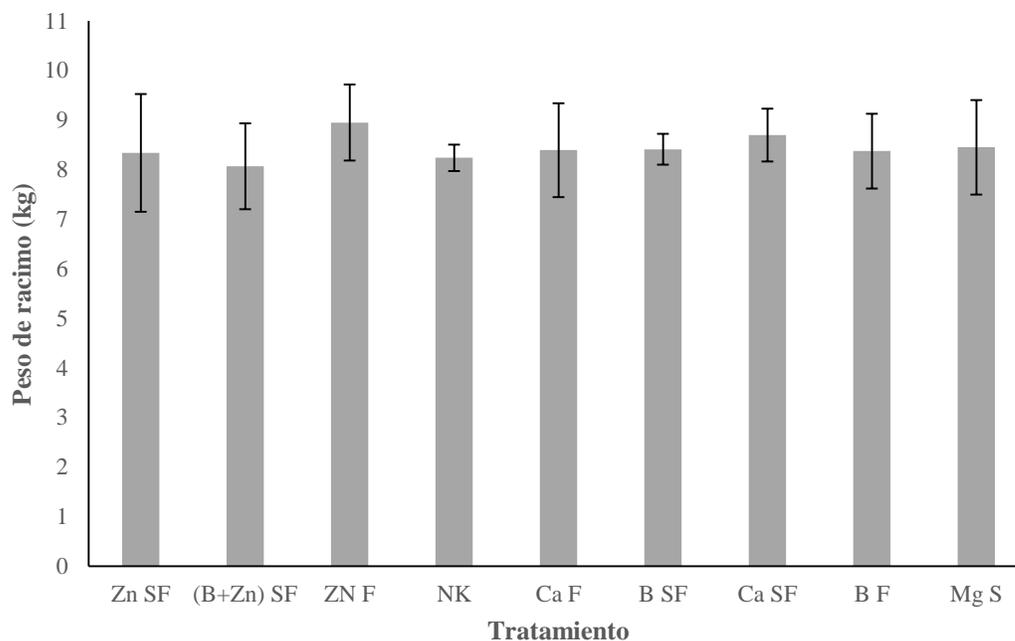


Figura 7. Peso del fruto de plátano Curraré e intervalo de confianza, según tratamiento. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Resultados de análisis foliar

Boro

Este elemento es de bajo requerimiento por el plátano, se encontró que este cultivo absorbe 1,25 kg de B/ha/año (Malero et al., 2008).

El contenido de este elemento por lo general fue mayor en la hoja candela que en la hoja tradicional (Figura 8); sin embargo la concentración no alcanzó el nivel crítico requerido en las hojas. La deficiencia de B en plátano en la etapa inicial son pequeñas rayas blanquecinas translúcidas paralelas a la nervadura central de las hojas jóvenes, en estados más avanzados presenta clorosis intervenal severa y la formación incompleta de la lámina por dificultad al momento de brotar del meristemo y producción escasa de raíces (Cayón y Salazar, 2001), estos autores coinciden con Martínez (1990, 2009) en el sentido que este síntoma es debido a la falta de lignificación del tejido. Por otro lado, la falta de Ca produce mala lignificación del meristemo, estos se necrosan y mueren, igual que con la deficiencia de boro debido a la influencia de este elemento en el transporte de fotosintetizados desde la planta madre a los hijos (Martínez, 1990).

Para el funcionamiento normal de la planta de plátano, la concentración de este elemento debe ser de 20 ppm (Martínez 1990), mientras que Silva y Chandler (1974) proponen 25 ppm, la figura 8

muestra que el contenido promedio de este elemento se encuentra entre 8 y 9 ppm, muy por debajo de lo expuesto por estos autores; sin embargo el nivel guía en las hojas para proponer fertilización es de 11 ppm, pero que su correlación con el nivel en el suelo es bajo (Crane y Belardi, 1998), no se indica el método de extracción. En otro trabajo se encontró que la comparación de las concentraciones de B disponibles en el suelo y los niveles en las hojas fue similar entre el extractante KCl 1 M y la disponibilidad con agua caliente, no así con Mehlich 3 (Moreira et al., 2010). Alarcón (sf) cita que los niveles adecuados se encuentran entre 20 y 80 ppm y que muchas especies manifiestan deficiencias de B cuando la concentración de este en las hojas es menor que los valores 15 o 20 ppm, además indica que hay sinergismo de B con los elementos P, K, Ca y Mg si estos no se encuentran en exceso, en ese sentido existe estrecha relación entre el B y Ca si el rango es óptimo de ambos elementos. Se manifiestan interacciones negativas entre el Ca y el B, cuando el primero es alto en el suelo (Bolaños y García, 2000; Martínez, 2009). También se manifiesta interacción negativa entre el B y el P (Bolaños y García, 2000).

Igual que con los elementos anteriores, si el Fe y Mo se encuentran en exceso ejercen antagonismo con ese elemento B, del mismo modo que fertilización con alta cantidad de N. En este caso es importante mencionar que el método de extracción del B tiene importancia en los resultados de los análisis de este elemento; la mejor correlación se ha encontrado con la extracción del B con agua hervida caliente (Alarcón, sf); por lo anterior los niveles críticos en este elemento se deben manejar con cautela. Con lo expuesto anterior y la existencia de suelo con fósforo con tendencia alta, se aplicó el elemento tanto al suelo como a las hojas, presentándose los valores de B bajos en las hojas, pero a pesar de eso la sintomatología de posible deficiencia en B se presentó con baja incidencia y severidad, sin importar que las aplicaciones fueran solo foliar o combinada suelo y foliar.

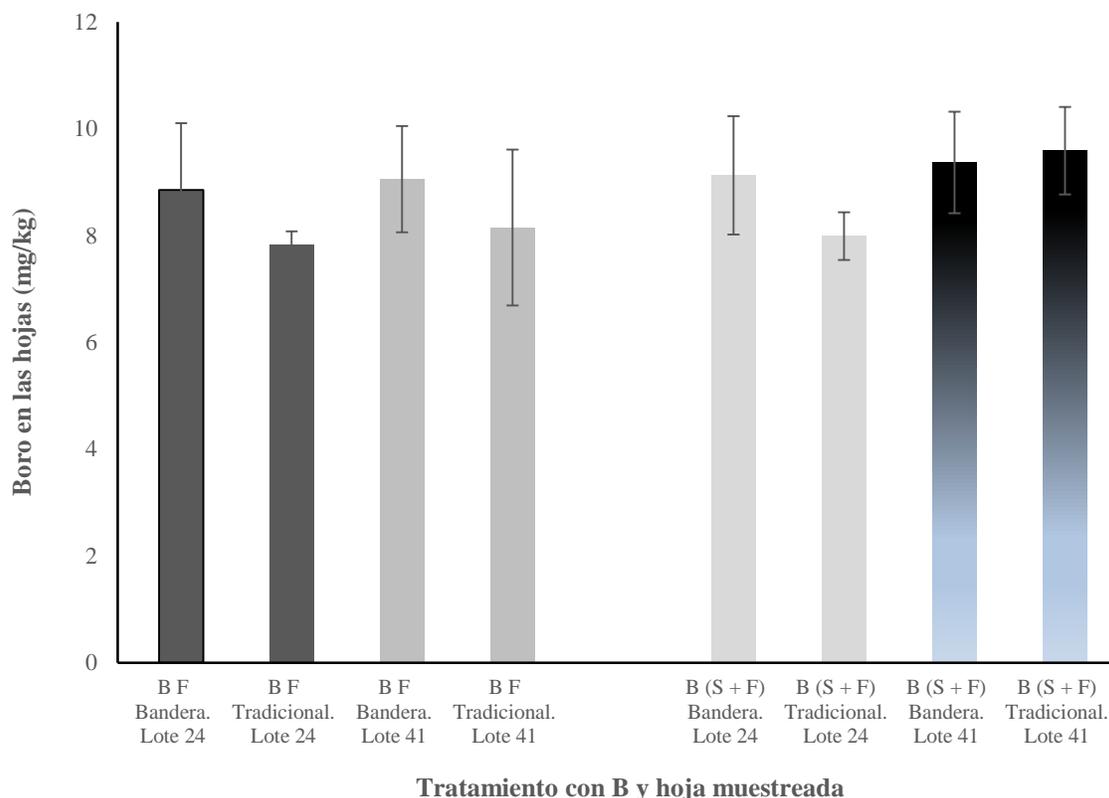


Figura 8. Concentración de boro en la hoja de muestreo tradicional y en la hoja en proceso de apertura e intervalo de confianza en los dos lotes experimentales en los tratamientos con boro. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

La concentración del B en suelos y plantas no solo varía con el tipo de suelo, las especies de plantas y las condiciones ambientales, sino también que el exceso y la deficiencia afectan la producción y el crecimiento de la planta (Tariq y Mott , 2007), quizás esta es la razón de la inexistencia de respuesta al B.

Cuando se analiza el contenido de B y Zn en las hojas de plátano correspondientes al tratamiento con estos dos elementos aplicados en conjunto, tanto al suelo como a las hojas, se encontró que no hubo diferencias respecto al contenido de estos dos elementos en las hojas con los tratamientos de cada uno de ellos aplicados en forma independiente; este resultado manifiesta que el B y el Zn fue preferible aplicarlos en forma independiente. En la Figura 8 se reporta el contenido de B en las hojas manejadas con dos tratamientos de este elemento (boro foliar, y boro al suelo y foliar), mientras que en la figura 10 se reporta el boro del tratamiento boro más zinc al suelo y foliar.

Zinc

Este elemento no es de altos requerimientos por el plátano, Malero et al. (2008) encontraron que este cultivo absorbe 1,50 kg de Zn/ha/año.

Los análisis foliares se hicieron tanto en la hoja tradicional de muestreo como en la hoja recién abierta con el propósito de buscar posibles diferencias en la concentración de los elementos experimentales Ca, B y Zn en las hojas de la planta, dado que la deficiencia de estos tres elementos se manifiesta en las hojas recién emitidas o en proceso de apertura (Cayón y Salazar, 2001; Martínez 1990, 2009). La deficiencia de Zn es más común en suelos ricos en P, los suelos donde se ubicaron los experimentos presentan valores igual al nivel alto del rango de suficiencia de este elemento (Martínez, 2009). En las Figuras 9 y 10 se observa que no es consistente el mayor contenido de Zn

en la hoja tradicional respecto a la hoja “bandera”, quizás debido a la variabilidad existente entre los valores de concentración de este elemento entre unidades experimentales como se aprecia en la línea del error en cada barra.

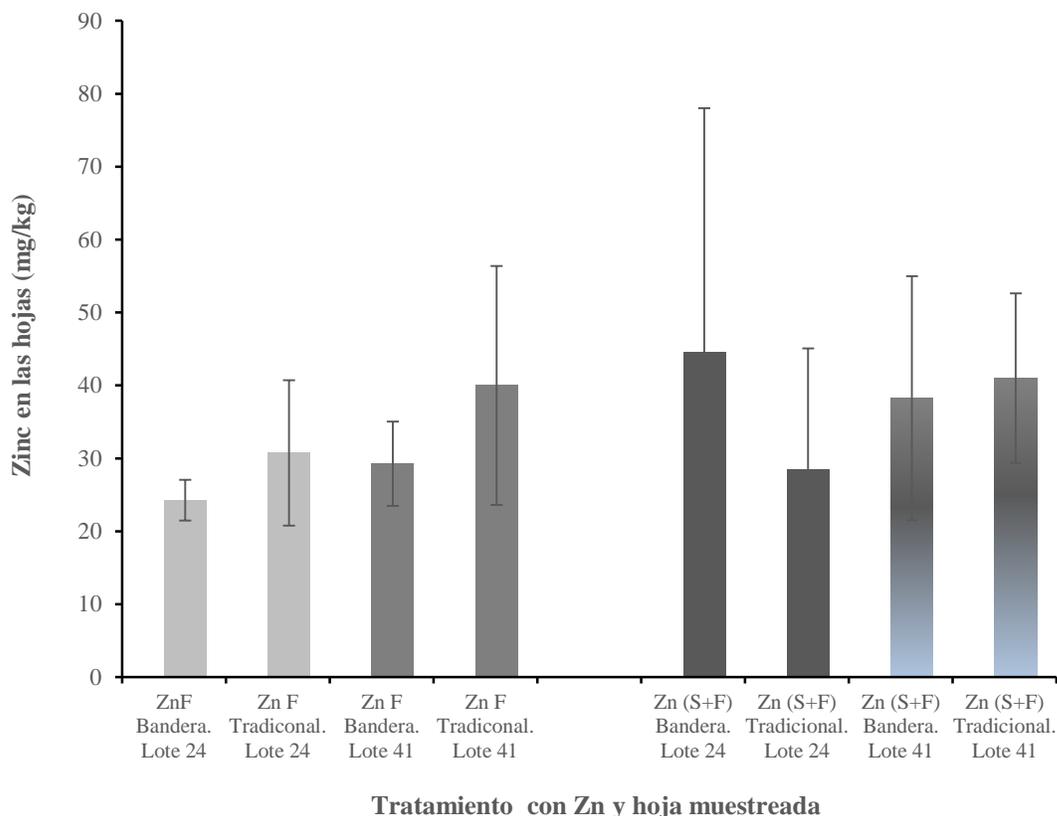


Figura 9. Concentración de zinc en la hoja de muestreo tradicional y en la hoja en proceso de apertura e intervalo de confianza en los dos lotes experimentales en los tratamientos con zinc. Ulma, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Las Figuras 9 y 10 contienen la concentración de Zn cuando este elemento se aplica en forma independiente y a su vez en conjunto con B (zinc foliar, zinc al suelo y foliar, y zinc más boro al suelo y foliar), respectivamente. Este elemento (Zn) no presenta diferencia en las hojas con ninguno de estos tratamientos, no obstante contrario al B, su concentración en las hojas es suficiente para el funcionamiento normal de este cultivo, Martínez (1990) propone valores por encima de 18 ppm hasta un máximo de 43 ppm y Crane y Belardi (1998) entre 15 y 18 ppm, en cada caso el contenido de este elemento supera el valor mínimo necesario para el funcionamiento normal del cultivo.

La deficiencia de B en el suelo produce interacciones de nutrientes en las hojas, las cuales pueden manifestarse con disminución de casi todos los elementos, por el contrario, produce aumento en la concentración de Ca y Zn (Martínez, 2009), debido a las interacciones negativas que existen con este elemento, especialmente con el Ca cuando se encuentra elevado, contrario a lo que opina Alarcón (sf) que en concentraciones normales no existe antagonismo entre el Ca y el B. En el lote deficiente en B en suelo (lote 24), el contenido de Zn en las hojas es más bajo que en el lote suficiente en B en el suelo (lote 41), donde el Zn es más alto en las hojas (Figura 10), más que antagonismo, pareciera que hay sinergismo; su principal antagonismo se manifiesta con el Fe, Mn y P (García, 2008).

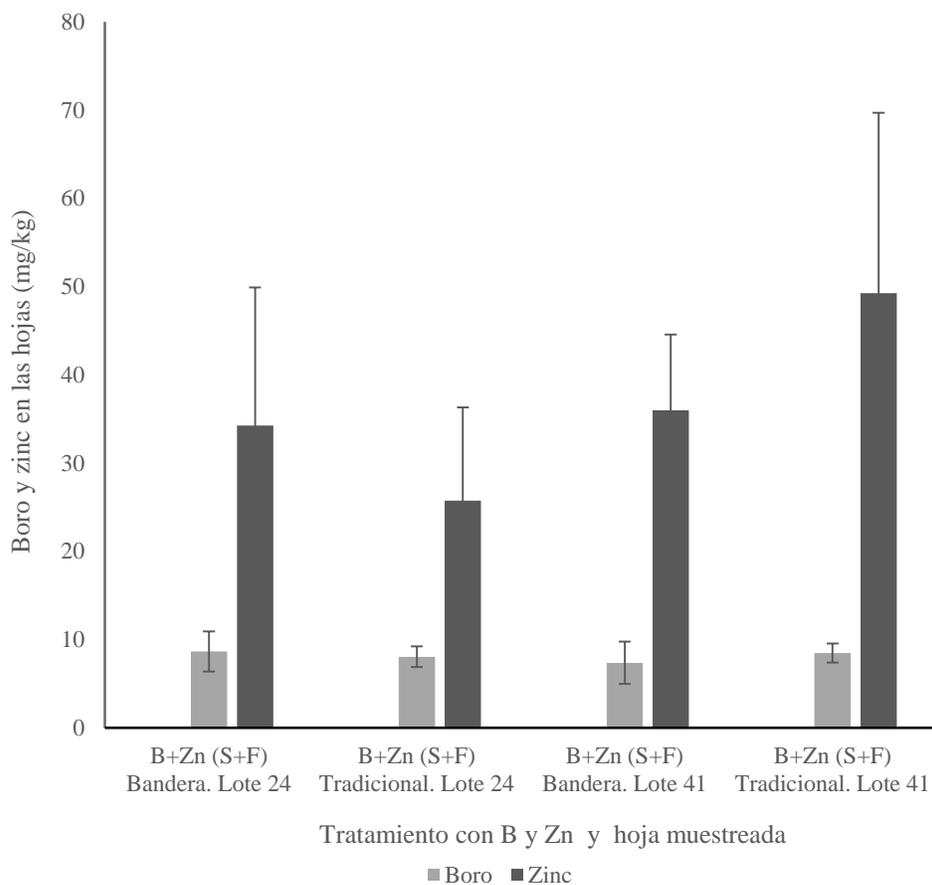


Figura10. Concentración de boro y zinc en la hoja de muestreo tradicional y en la hoja en proceso de apertura e intervalo de confianza en los dos lotes experimentales en los tratamientos con estos dos elementos. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Calcio

Este elemento se presenta con niveles medios en el suelo de cada uno de los lotes experimentales (Cuadro 1) (Méndez y Bertsch, 2012), con tal situación se esperaría que la absorción de B presenta tendencia normal (Bolaños y García, 2000), de lo contrario, si el Ca es alto se podría afectar la absorción del B por las interacciones negativas que existen con este elemento (Martínez 2009). La deficiencia de Ca en las hojas de plátanos se manifiesta muy similar a la de B, mala lignificación del meristemo, estos se necrosan y mueren, mayormente porque en esta situación de deficiencia la planta madre transfiere el elemento Ca a los hijos (Martínez, 1990). Se presentan síntomas similares de deficiencias en forma generalizada con reducción de crecimiento en brotes o yemas terminales mayormente en condiciones tropicales y subtropicales (García, 2008; Menguel y Kirkby, 2001).

El Ca es un elemento, según García (2008), de baja movilidad del tejido donde se necesita a los demás tejidos de las plantas, lo que concuerda con los resultados graficados en la figura 11, donde el contenido de Ca en la hoja de muestreo tradicional para análisis químicos, en ambos lotes, es más alto que en la hoja bandera, es decir la movilidad a los puntos en brotación fue baja.

El comportamiento del calcio es contrario a lo que se esperaría con los dos elementos que funcionaron como testigo, el nitrógeno (N) y el potasio (K) (Figura 12), movilizarse hacia los puntos de mayor crecimiento, situación que se presentó para el elemento K, mientras que para el N la

concentración es similar en la hoja más nueva y en la hoja de muestreo tradicional para análisis, quizás porque el N es un elemento que participa en la síntesis de la clorofila y aumenta la capacidad fotosintética (García, 2008), y la hoja de muestreo tradicional es fotosintéticamente muy activa, motivo por el cual se selecciona para los análisis químicos.

En un trabajo anterior se encontraron concentraciones de Ca en la hoja tradicional para muestreo para análisis químicos (tercera hoja abierta) entre 0,76 y 0,89% a los siete meses de edad y extracciones del plátano de 41,42 y 51,86 kg de Ca/ha (Furcal y Barquero, 2014); García (2008) indica que las concentraciones son adecuadas entre 0,2 y 1% de Ca, según especies. En ese mismo orden, se reportan niveles críticos en la tercera hoja abierta de plátano entre 0,4 y 1% (Crane y Belardi, 1998). Respecto a estos autores, la concentración de Ca foliar en la hoja tradicional para muestreo para análisis, en este experimento se encuentra adecuada (Figura 11), este resultado es indicativo del contenido de calcio en los suelos de los dos lotes, aunado a los tratamientos con aportes vía foliar y la combinación de aplicaciones al suelo y a las hojas de Ca.

La falta de respuesta en la producción de plátano a la aplicación de Ca en este experimento, podría deberse a que este cumple función estructural en la formación y resistencia de los tejidos y sirve como catión transportador de aniones orgánicos e inorgánicos en la vacuola (White y Broadley, 2003). Otra variable que debe considerarse es que el contenido de este elemento en el suelo de cada uno de los dos lotes en estudios presenta niveles medios, posiblemente por esta razón tampoco presentó efecto positivo sobre el desorden fisiológico de la dificultad de apertura de la hoja en brotación.

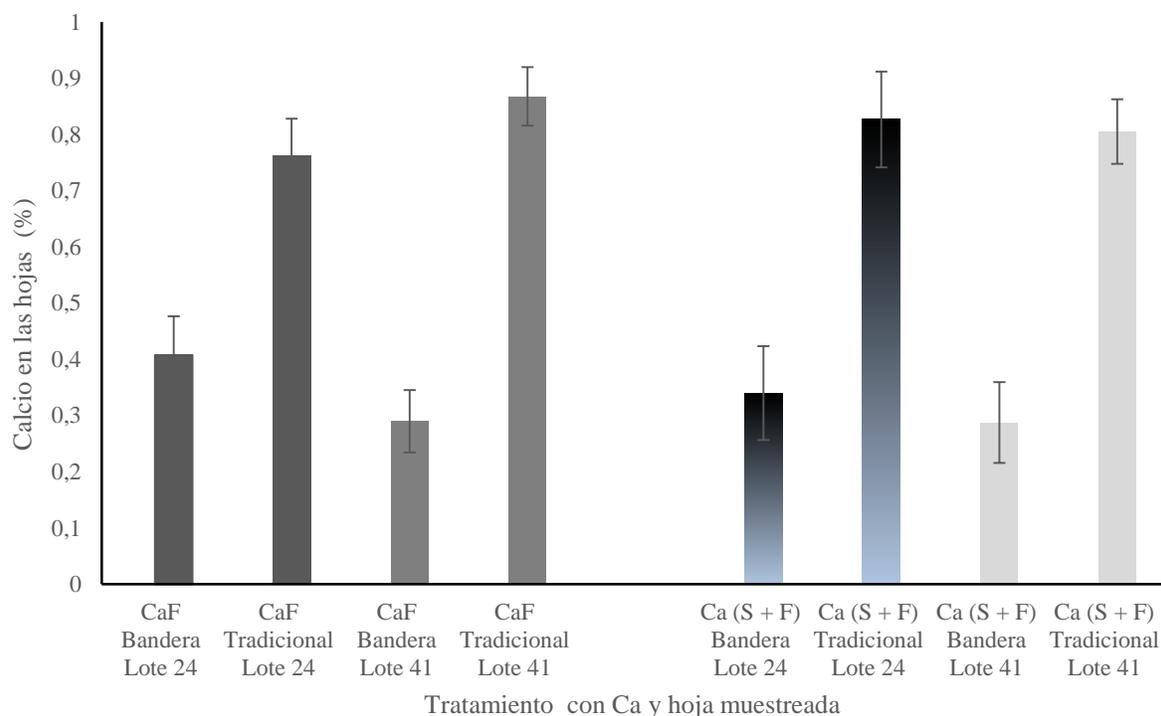
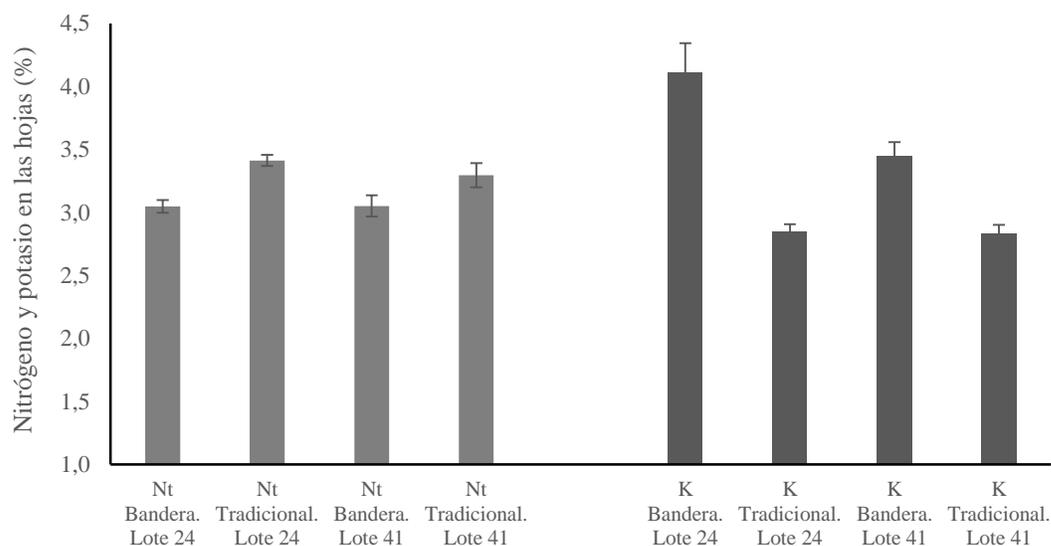


Figura 11. Concentración de calcio en la hoja de muestreo tradicional y en la hoja en proceso de apertura e intervalo de confianza en los dos lotes experimentales en los tratamientos con calcio. Ulma, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.



Elementos Nt y K según edad de la hoja

Figura 12. Concentración de nitrógeno total y potasio en la hoja de muestreo tradicional y en la hoja en proceso de apertura e intervalo de confianza en los dos lotes experimentales. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Desorden fisiológico que afecta la apertura de la hoja “candela”

Los desórdenes fisiológicos se refieren al daño del tejido de la planta o de la fruta que no es causado por patógenos ni por daños mecánicos. Estos pueden desarrollarse en gran medida como respuesta a un ambiente adverso, especialmente, la temperatura, o a la deficiencia nutricional durante el crecimiento y desarrollo (Wills et al., 1989).

En el lote 24 la incidencia del desorden fisiológico tuvo mayor presencia en las evaluaciones uno y tres (Figura 13), correspondiente a la edad de dos y cuatro meses después de la siembra del cultivo. En este lote la incidencia fue menor que en el lote 41 (Figura 14), ambas siembras se hicieron con un mes de diferencia; en este último lote la mayor incidencia se presentó en la evaluación dos, cuando las plantas tenían dos meses de edad, ambos lotes manifiestan alta incidencia relativa cuando las plantas tenían la edad entre dos y cuatro meses desde la siembra. En ambos lotes la incidencia disminuyó con el tiempo, en el Cuadro 2 se observa que a los dos meses se había hecho una aplicación de los tratamientos al suelo y a los cuatro meses dos aplicaciones al suelo y una foliar; razón por la cual se puede decir que los tratamientos aplicados al suelo es posible que no tuvieran efecto directo en el control de la incidencia, aunado a que en el tratamiento que funge como testigo (N-K) la incidencia se manifiesta similar a los demás tratamientos.

A partir de la edad de cuatro meses la incidencia fue baja y similar para cualquier tratamiento. Al parecer esta sintomatología, similar a la deficiencia de Ca y B, no es producto de la deficiencia de estos elementos, debido a que el Ca se encontró en concentración adecuada en las hojas (García, 2008; Crane y Belardi, 1998). En otro estudio se encontraron resultados similares con aplicaciones de 0, 1, 2, 3 y 4 g de B por planta, estas dosis no disminuyeron la sintomatología visual atribuida a deficiencia de boro (Gómez et al., 2010). De igual manera, el B aunque se presenta con niveles por debajo del crítico, se debe considerar que la mayoría de los métodos para su extracción no presentan buena correlación entre los resultados de suelos y foliares (Crane y Belardi, 1998; Moreira et al., 2010 y Alarcón (sf)).

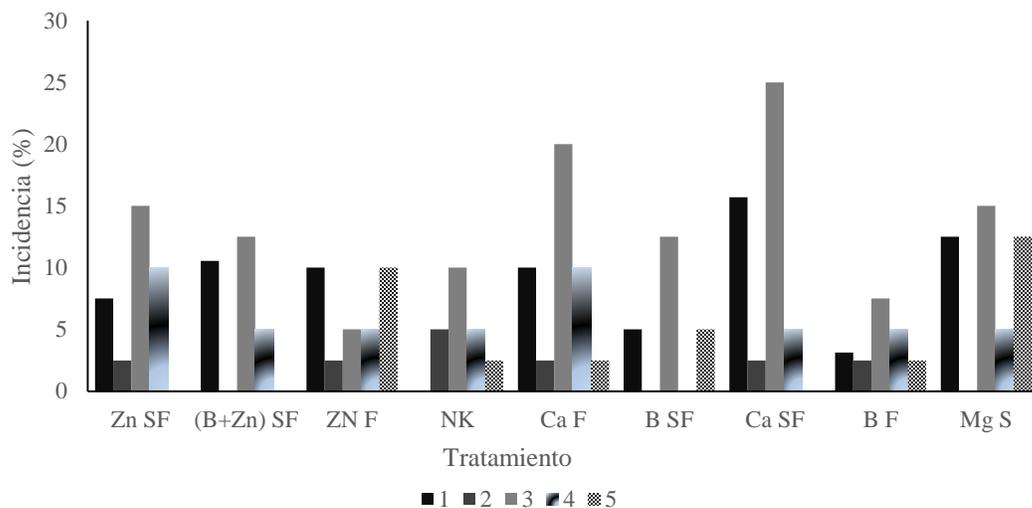


Figura 13. Incidencia del desorden fisiológico en la hoja "candela" por tratamiento y número de evaluación. Lote 24. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

El desorden fisiológico que es atribuido a la deficiencia de B o de Ca, en este experimento se manifestó con porcentaje de severidad bajo como se detalla en los Cuadros 4 y 5, donde en el lote 24 no hubo grado tres de severidad y en el lote 41 el porcentaje de severidad en ese grado fue prácticamente nulo en las cinco evaluaciones hechas; este resultado indica que únicamente en el lote 41 aparecieron plantas con más de una lesión en la hoja "candela" o bien esa hoja enrollada y al mismo tiempo la última hoja abierta con alguna lesión relacionada con el desorden fisiológico (Cuadro 3).

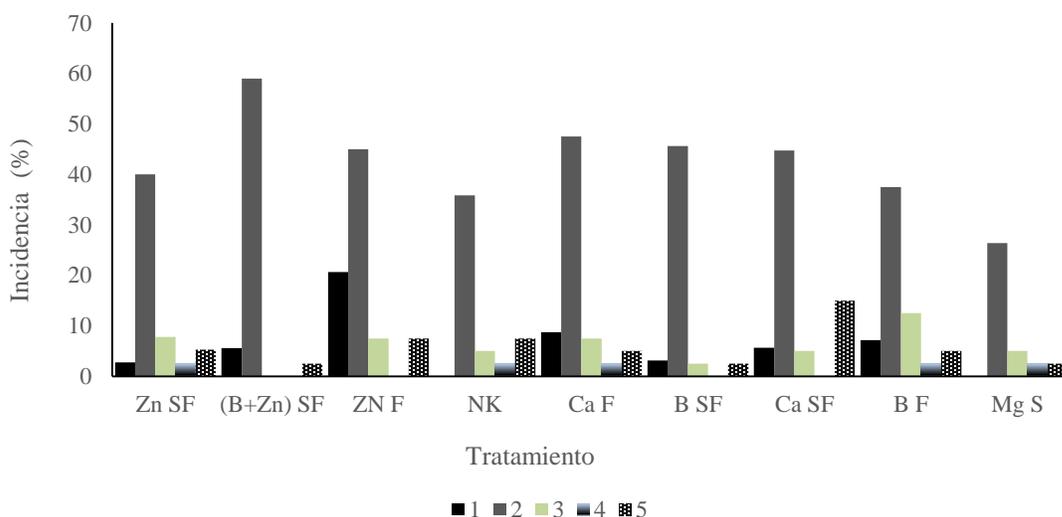


Figura 14. Incidencia del desorden fisiológico en la hoja "candela" por tratamiento y número de evaluación. Lote 41. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

La baja severidad presentada se confirma a través del promedio ponderado del grado de severidad (GS) presente en las figuras 15 y 16, puesto que en todas las evaluaciones el valor fue

menor que uno, presentándose los promedios ponderados más altos en las evaluaciones uno y tres, es decir a los dos y cuatro meses de edad del cultivo en el lote 24; mientras que en el lote 41 se presentó en la evaluación dos que correspondió a la edad de dos meses de plantado el cultivo. Un promedio ponderado menor que uno (entre 0 y 1) (Cuadro 3), significa que la mayor parte de las plantas no manifestaron el desorden fisiológico sin importar el tratamiento, incluyendo el N-K que funge como testigo.

Cuadro 4. Promedio de severidad expresada en porcentaje por cada grado de severidad y por número de evaluación del desorden fisiológico en la hoja "candela" de plátano. Lote 24. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Promedio del grado de severidad (%). Lote número 24.																					
Tratamiento	Grado 0					Grado 1					Grado 2					Grado 3					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Zn SF	93	98	85	90	100	7,5	2,5	15	7,5					2,5							
B+Zn SF	89	100	88	95	100	11		13	5,0												
ZN F	90	98	95	95	90	10	2,5	5,0	5,0	7,5				2,5							
NK	100	95	90	95	95		5,0	7,5		5,0				2,5							
Ca F	90	98	80	90	98	10	2,5	15	7,5					5,0	2,5	2,5					
B SF	95	100	88	100	95	5,0		13		5,0											
Ca SF	84	98	75	95	100	16	2,5	25	5,0												
B F	97	98	93	95	98	3,1	2,5	2,5	2,5					5,0	2,5	2,5					
Mg S	88	100	85	95	88	13		15	5,0	2,5					10						

Aunque el desorden fisiológico se presentó en baja incidencia y severidad, las plantas afectadas manifestaron el mismo síntoma descrito por Martínez (1990), Bolaños y García (2000), Cayón y Salazar (2001), Martínez (2009) y Gómez-Cárdenas et al. (2010). El criterio de estos autores es que las deficiencias de uno u otro de estos dos elementos (Ca y B) producen formación incompleta de la lámina de la hoja de plátano, mal formación del meristemo tanto de las raíces como en el brote de las hojas, debido a la mala lignificación, estos meristemos se necrosan y mueren. Debido a la acumulación de fotosintatos, al no poder ser transportados por la deficiencia de B, las nervaduras secundarias se engruesan (Martínez, 2009). A pesar que los síntomas presentes son similares a los ocasionados por las deficiencias de Ca o B, los resultados sugieren que estos dos elementos no influyeron en la disminución de los síntomas presentes entre el segundo y cuarto mes de edad, ni en la disminución de los mismos a partir de los cuatro meses, debido a que los resultados fueron similares con o sin la aplicación de estos elementos tanto a las hojas como al suelo y hojas.

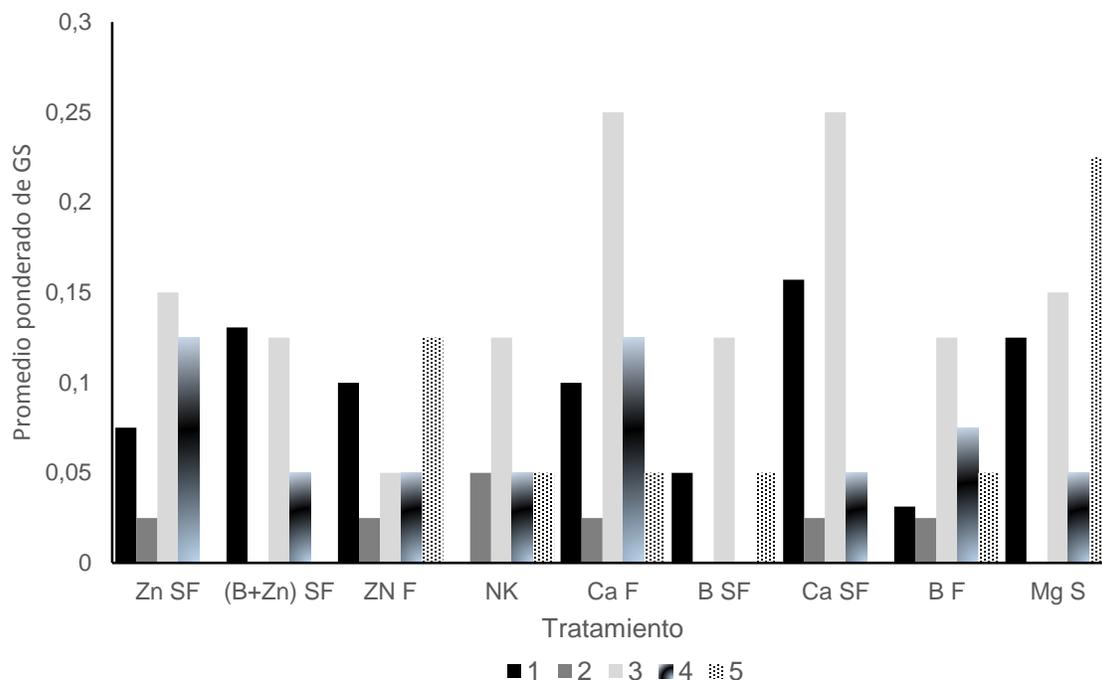


Figura 15. Promedio ponderado del grado de severidad (GS) del desorden fisiológico en la hoja “candela” en las cinco evaluaciones hechas en el lote 24. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Cuadro 5. Promedio de severidad expresada en porcentaje por cada grado de severidad y por número de evaluación del desorden fisiológico en la hoja "candela" de plátano. Lote 41. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

Promedio del grado de severidad (%). Lote número 41.																				
Tratam.	Grado 0					Grado 1					Grado 2					Grado 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Zn SF	97,2	60,0	92,2	97,5	94,7		40,0	7,8	2,5	5,3	2,8									
B+Zn SF	94,4	41,0	100	100	97,5	2,8	56,2			2,5	2,8	2,8								
ZN F	79,4	55,0	92,5	100	92,5	15,6	45,0	7,5		2,5	5,0				5,0					
NK	100	64,2	95,0	97,5	92,5		35,8	5,0	2,5	5,0					2,5					
Ca F	91,3	52,5	92,5	97,5	95,0	8,7	42,5	7,5	2,5	2,5		5,0			2,5					
B SF	96,9	54,4	97,5	100	97,5	3,1	45,6	2,5		2,5										
Ca SF	94,4	55,3	95,0	100	85,0	3,1	39,4	5,0		5,0	2,5	5,3			5,0					5,0
B F	92,9	62,5	87,5	97,5	95,0	7,1	32,5	12,5	2,5	2,5		2,5			2,5		2,5			
MgS		73,6	95,0	97,5	97,5		23,6	2,5	2,5			2,8	2,5							

Se observa que el grado de severidad tres no se presentó prácticamente en ninguna planta

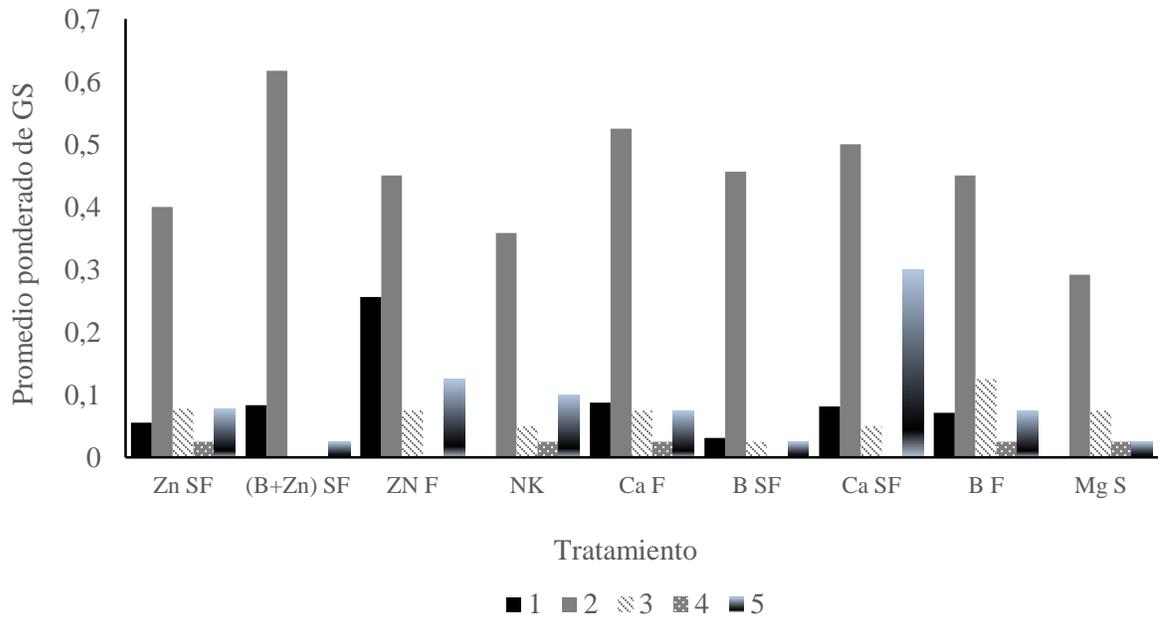


Figura 16. Promedio ponderado del grado de severidad (GS) del desorden fisiológico en la hoja “candela” en las cinco evaluaciones hechas en el lote 41. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre de 2015.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

Bajo las condiciones de una plantación con 3300 plantas de plátano (*Musa* AAB) por hectárea, suelos con contenido medio de calcio y fósforo, fertilidad alta en general, y una fertilización base de 200 y 250 kg de N y K₂O/ha/año, respectivamente, se concluye:

El uso del calcio (Ca) no influyó en el mejoramiento de los parámetros de crecimiento, rendimiento y la calidad del cultivo de plátano.

La aplicación del elemento boro (B) no mejoró los parámetros de crecimiento, rendimiento y la calidad del cultivo de plátano.

El elemento magnesio (Mg) aplicado al suelo incrementó la altura y circunferencia del seudotallo de plátano, pero este resultado no se manifestó en los parámetros de rendimiento del cultivo.

El aporte de zinc (Zn) a las hojas incrementó las variables de crecimiento (altura y circunferencia del seudotallo) y algunas de rendimiento como longitud de frutos y peso de racimo de plátano.

La aplicación combinada de B-Zn al suelo y a las hojas del cultivo no presentó resultados positivos en comparación con la aplicación de Zn individual.

La aplicación de B y Ca no tuvo efecto positivo en la eliminación ni en la disminución del “desorden fisiológico” que se manifiesta con enrollamiento anormal y en ocasiones amarillamiento y necrosis en la hoja en emisión (hoja “candela”) o recién emitida (hoja “bandera”), síntoma similar a la deficiencia de Ca y/o B en el cultivo de plátano.

La incidencia del “desorden fisiológico” se manifestó en mayor porcentaje y grado de severidad durante etapas de mayor desarrollo del cultivo (dos a cinco meses de edad).

Para la mejor corroboración de los efectos del calcio y el boro sobre el “desorden fisiológico” en cuestión, se debería aplicar estos elementos en plantaciones de plátanos ya establecidas con la manifestación de la incidencia en diferentes grados de severidad.

AGRADECIMIENTO

El coordinador agradece a las instituciones y a las personas que permitieron que este proyecto llegara al final y permitiera poner a disposición información y conocimiento a técnicos y productores involucrados en el cultivo de plátano, y a estudiantes de Agronomía. Las instituciones involucradas fueron: el TEC, a través de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) y la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Costa Rica (FITTACORI), quienes financiaron esta investigación. También se agradece al personal administrativo de la Escuela de Agronomía por su apoyo logístico; a Wilmer Valverde Gamboa, Marilyn Sánchez Valverde, Fabián Vargas Hernández e Isaac Bonilla Vargas, ellos participaron directamente en las labores de campo y de laboratorio, los tres primeros ya profesionales, en su momento todos estudiantes de la Escuela de Agronomía. Finalmente un gran reconocimiento a Rodolfo Salazar, propietario de la finca, por su siempre disposición para que el proyecto culminara de la mejor manera y a incorporar parte de los resultados producto de esta investigación en la producción comercial de plátano.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón V., A.L. sf. El boro como nutriente esencial. Parte I. Aspectos fisiológicos y dinámica en el suelo y planta. Parte II. Síntomas, diagnóstico y corrección en cultivos. Departamento de Producción Agraria. Área de Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Univ. Politécnica de Cartajena. 2 p. Consultado el 15 de noviembre del 2015. Disponible en: http://www.infoagro.com/hortalizas/boro_nutriente_esencial2.htm
- Álvarez C., W. 2013. Efecto del raquis floral de banano procesado sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fisiológico conocido como "Balastro" en banano (*Musa* sp. AAA Gran Nain) en Río Frío, Sarapiquí, Heredia. Tesis Lic. Ingeniería en Agronomía, ITCR, Sede San Carlos. 51 p.
- Azofeifa, D., I. Martínez, P. Furcal, E. Serrano, y M. Guzmán. 2010. Fertilización foliar con Ca, Mg, Zn y B en banano (*Musa* AAA, CV.Grande Naine): Efecto sobre la severidad de la sigatoka negra, el crecimiento y la producción. CORBANA 35-36 (62):49-65.
- Barrientos, O., y G.Chaves. 2008. SEPSA y PROCOMER. Región Huetar Norte. Oferta Exportada Actual y Oferta Potencial de Productos Agropecuario Alternativos. Costa Rica. p 83-87. www.infoagro.go.cr/documentospdf/Huetar_NorteLibro-final.pdf. Consultado el 30 de junio de 2009.
- Bolaños B., M.M. y A. García A. 2000. Dinámica del boro en suelos cultivados con plátanos (*Musa* AAB cv Dominic Hartón) en el Quindío, Colombia. Informusa (FRA). Vol.11 Nº 1. p 30-33.
- Cayón S., D.G., y F. Salazar A., editores. 2001. Resúmenes analíticos de la investigación sobre plátano en Colombia. Plan estratégico de investigación y transferencia para aumentar la sostenibilidad y competitividad del cultivo de plátano en Colombia. Corpoica, Inibap y ASIPLAT. Armenia, Colombia. p 161-162.
- CNP (Consejo Nacional de Producción). 2009. Boletín Informativo del Plátano. SIIM (Servicio de Información e Inteligencia de Mercados). Boletín N° 1, 2009, Costa Rica. Disponible en: http://www.cnp.go.cr/php_mysql/admin/KTML/uploads/files/boletines/Boletin_Platano_01_09-2009.pdf. Consultado el 20 de noviembre de 2009.
- Crane, J.H. y C.F. Balerdi. 1998. Los plátanos en Florida. Department of Horticultural Sciences. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Disponible en: <http://hammock.ifas.ufl.edu>. Consultado el 22 de agosto de 2009.
- Cubero F., D. 2001. Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras. San José, Costa Rica. MAG, ACCS.ARAUCARIA España-Costa Rica. 19 p.
- Dadzie, B. K. y J.E. Orchard. sf. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Guías técnicas Inibap (Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano) 2. 61 p.
- Furcal-Beriguete. 2010. Respuesta de la fertilización al suelo en el crecimiento y rendimiento de la primera generación del cultivo de plátano (*musa aab*) en la zona de San Carlos, Costa Rica. Informe Final, ITCR. 74 p.
- Furcal-Beriguete, P. y A. Barquero-Badilla. 2013. Respuesta del plátano a la fertilización con P,K y S durante el primer ciclo productivo. Agronomía Mesoamericana.24 (2):317-327. 2013.
- Furcal-Beriguete P. y A. Barquero-Badilla. 2014. Fertilización del plátano con nitrógeno y potasio durante el primer ciclo productivo. Agronomía Mesoamericana.25 (2): 267-278. 2014.

- García, F.O. 2008. Dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta. Jornada de Actualización. IPNI, International Plant Nutrition Institute. Minga Guazú, Paraguay. WWW.IPNI.net/lasc. Consultado el 2 de diciembre del 2015.
- Gómez-Cárdenas, C., V. Rodríguez, H. Rosales, J. Vera, y N. Pino. 2010. Efecto de boro sobre el rendimiento, sintomatología de deficiencia, la hoja más joven manchada por Sigatoka negra en plátano Hartón. Zulia, Venezuela. Rev. Unell. Cienc. Tec. 28:47-54.2010
- Gómez O., D.M., J.D. Sánchez T., J.E. Velásquez R., J.A. Gamboa T., y C.D. Bedoya de M. 2011. Influencia del balance con micronutrientes (B-Zn) en la productividad del banano y la severidad de *Mycosphaerella fijiensis*. Ingenierías & Amazonia (2011) 4(2): 88-102. Universidad de la Amazonia
- Gutiérrez, M.V. 2002. Aspectos básicos de la nutrición mineral de las plantas absorción foliar de sustancias útiles en la aplicación de agroquímicos al follaje. *In: Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones* (2002, San José, CR). Memorias. Meléndez, G.; Molina, E. eds. San José, C.R. p.1-7.
- Malero, M., L. Gutiérrez, Q. Contreras, C. Rondón, P. Carrero, y E. Rojas. 2008. Determinación de los niveles de K, P, N, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe y Mn en muestras de suelos y tejido foliar del cultivo Musa AAB, subgrupo plátano cv Hartón. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Producción Agropecuaria. V 1 (1): 3-6.
- Martínez A., A.M., M. A. Romero S., F. Y. Cruz G., y D. A. Castañeda. 2008. Relación entre la nutrición y el desarrollo en el cultivo de banano (Musa AAA Simmonds. Memorias [CD ROM]: XVIII Reunión Internacional Acorbat 2008, Guayaquil, Ecuador, 10-14 de noviembre. Guayaquil, Ecuador, Acorbat, 2008.
- Martínez G., A. 1990. Requerimiento de micronutrientes por el cultivo de plátanos. En: Suelos Ecuatoriales. CO-BAC, Santafé de Bogotá. V 20 (3): 76-77.
- Martínez G., A. 2009. Cartilla 500 preguntas sobre el cultivo de plátano. Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias (CORPOICA). Disponible en: www.corpoica.org.co. Consultado el 5 de abril de 2012.
- Méndez, J.C. y F. Bertsch. 2012. Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). Editorial Universidad de Costa Rica. 106 p.
- Mengel, K. y E. A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers. 5th edition. 851 p.
- Moreira, A., C. de Castro, y N. K. Fageria. 2010. Efficiency of boron application in an Oxisol cultivated with banana in the Central Amazon. Anais da Academia Brasileira de Ciências (2010) 82(4): 1137-1145.
- Muñoz A., R. y L. Molina. 1992. Respuesta del plátano (*Musa sp*, grupo AAB) variedad "Dominico" a elementos secundarios y menores en un inceptisol de clima medio en Antioquía. Revista ICA. 27(1):35-41.
- Nava, C., y E. Villarreal. 2000. Nitrogen, potassium, boron, magnesium and zinc application to plantain plantations, Musa AAB cv. Horn with black Sigatoka incidence. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2000, 17: 20-35.
- Núñez J. 2001. Manejo y conservación de suelos. 1era Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 288 p.

- O'Hallorans, J. M., M. Díaz, y W. I. Lugo. 2006. Fertilización del plátano con elementos menores en un suelo tropical. *In XVII Reunión ACORBAT*. (Memoria). Joinesville, Brasil, Oct. 15-20, 2006). p.365.
- Orozco, R. y C. Chaverra. 1999. Curso de actualización de Tecnológica en el cultivo del plátano con énfasis en poscosecha. CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria) y PRONATTA (Programa Nacional de Transferencia de Tecnología). Disponible en: <http://www.docstoc.com/docs/3176765/CURSO-DE-ACTUALIZACION-TECNOLOGICA-EN-EL-CULTIVO-DEL-PLATANO-CON>. Consultado el 6 de agosto de 2008.
- Orozco-Santos, M., J. Orozco-Romero, O. Pérez-Zamora, G. Manzo-Sánchez, J. Farías-Larios, & W. da Silva Moraes. 2008. Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*, vol. 33 (3), 189-196. May - June 2008.
- Sancho, H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones Agronómicas*. San José, C.R. Nº 36: 11-13. Disponible en www.ppi-far.org. Consultado el 1 de diciembre de 2013.
- Segura, A. 2002. Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones. *In: Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones* (2002, San José, CR). Memorias. Meléndez, G.; Molina, E. eds. San José, C.R. p. 19-25.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2014. Boletín Estadístico Agropecuaria número 24. Serie cronológica 2010-2013. San José, Costa Rica. p. 8-19.
- Silva, S. y V. Chandler J. 1974. Efecto de aplicaciones de boro y zinc sobre los rendimientos de plataneras en cultivo intensivo sobre un ultisol profundo. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 58 (1):134-136.
- Soto B., M. 2008. Bananos Técnicas de Producción, Manejo Poscosecha y Comercialización. ISBN: 9977-47-154-1. Tercera Edición. Litografía e Imprenta LIL. Costa Rica. 1090 p.
- Tariq, M. y C.J.B. Mott. 2007. The significance of boron in plant nutrition and environment-A Review. *Journal of Agronomy* 6(1):1-10.
- White, P.J. y M.R. Broadley, 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany* 92:487-511.
- Wills, R., W.B. McGlasson, D. Graham, T.H. Lee, and E. G. Hall. 1989. *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. 3rd edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 176 p.
- Yamada, T. 2003. Como mejorar la eficiencia de la fertilización aprovechando las interacciones entre nutrimentos. *Informaciones Agronómicas*. INPOFOS. Julio 2003. N° 50 p 1-7.

ANEXOS

ANEXO. Contrastes de variables de crecimiento y algunas variables de rendimiento del cultivo de plátano. Ulima, Florencia, San Carlos. Diciembre del 2015.

Contrastes de tratamientos	Contrastes	S. cuadrados con GL=1 y total con 7 GL	p-valor
Lote 24. Altura			
BF vs BSF	5,61	604,61	0,2618
CaF vs CaSF	2,64	135,49	0,5950
ZnF vs ZnFS	10,64	2177,41	0,0337
B vs BZn	10,32	701,42	0,2269
Zn vs BZn	11,39	853,94	0,1826
B vs Ca	-0,31	0,94	0,9646
Todos vs NK	14,39	183,34	0,5364
Total		3965,74	0,3115
Lote 24. Circunferencia			
BF vs BSF	0,51	5,03	0,7207
CaF vs CaSF	0,55	5,91	0,6985
ZnF vs ZnFS	2,49	118,86	0,0831
B vs BZn	3,79	94,42	0,1222
Zn vs BZn	4,01	105,87	0,1018
B vs Ca	0,04	0,01	0,9852
Todos vs NK	13,97	172,85	0,0368
Total		388,32	0,2002
Lote 41. Altura			
BF vs BSF	-6,99	803,94	0,2557
CaF vs CaSF	-2,36	89,79	0,7037
ZnF vs ZnFS	2,47	104,74	0,6813
B vs BZn	6,35	225,80	0,5466
Zn vs BZn	14,18	1142,67	0,1756
B vs Ca	6,76	372,37	0,4389
Todos vs NK	79,95	5278,15	0,0038
Total		8189,95	0,0717
Unión de lotes. Altura			
BF vs BSF	0,88	15,13	0,8320
CaF vs CaSF	1,47	43,51	0,7190
ZnF vs ZnFS	7,15	1022,45	0,0819
B vs BZn	7,48	370,93	0,2939
Zn vs BZn	14,60	1421,07	0,0404
B vs Ca	1,58	24,65	0,7865
Todos vs NK	39,08	1453,27	0,0382
Total		3881,69	0,1202
Unión de lotes. Circunferencia			
BF vs BSF	0,46	4,16	0,6589
CaF vs CaSF	0,06	0,08	0,9518
ZnF vs ZnFS	1,40	39,20	0,1761
B vs BZn	2,21	32,40	0,2186

Zn vs BZn	3,04	3,04	0,0904
B vs Ca	0,53	2,84	0,7156
Todos vs NK	10,52	105,37	0,0269
Total		196,03	0,2432
Contrastes de tratamientos	Contrastes	Suma de cuadrados con GL=1 y total con 7 GL	p-valor
Lote 24. Peso de racimo			
BF vs BSF	-0,13	0,16	0,6689
CaF vs CaSF	0,21	0,46	0,4715
ZnF vs ZnFS	0,41	1,69	0,1672
B vs BZn	1,57	8,21	0,0027
Zn vs BZn	1,51	7,61	0,0038
B vs Ca	0,62	1,95	0,1381
Todos vs NK	1,24	0,55	0,4301
Total		12,95	0,0464
Unión de lotes. Peso de racimo			
BF vs BSF	-0,04	0,01	0,8930
CaF vs CaSF	-0,31	0,94	0,2599
ZnF vs ZnFS	0,61	3,74	0,0255
B vs BZn	0,65	1,40	0,1692
Zn vs BZn	1,15	4,42	0,0154
B vs Ca	-0,31	0,47	0,4244
Todos vs NK	1,56	0,86	0,2796
Total		10,45	0,0547
Lote 41. Long. Dedos (frutas)			
BF vs BSF	-0,31	0,91	0,6348
CaF vs CaSF	-0,50	2,50	0,4320
ZnF vs ZnFS	0,18	0,31	0,7831
B vs BZn	1,76	10,19	0,1139
Zn vs BZn	2,93	28,52	0,0087
B vs Ca	-1,09	5,90	0,2279
Todos vs NK	7,82	20,83	0,0244
Total		60,16	0,0436
Lote 41. N° dedos (frutos)			
BF vs BSF	0,68	4,54	0,6384
CaF vs CaSF	-0,60	3,60	0,6756
ZnF vs ZnFS	3,00	90,00	0,0378
B vs BZn	-3,08	31,40	0,2176
Zn vs BZn	-1,60	8,53	0,5196
B vs Ca	-3,08	46,88	0,1324
Todos vs NK	-12,39	52,27	0,1123
Total		206,39	0,1937
Unión de lotes. N° dedos (frutos)			
BF vs BSF	0,25	0,63	0,7788
CaF vs CaSF	-0,20	0,40	0,8222
ZnF vs ZnFS	2,10	44,10	0,0194
B vs BZn	0,30	0,30	0,8457
Zn vs BZn	-0,10	0,03	0,9483

B vs Ca	-0,75	2,81	0,5514
Todos vs NK	-8,02	23,00	0,0899
Total		75,69	0,2222