

RESPUESTA DEL CAFETO A FUENTES, NIVELES Y FORMAS
DE APLICACION DE BORO

Tesis de Grado de *Magister Scientiae*

Adolio Guerra Díaz

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica

Abril, 1969

RESPUESTA DEL CAFETO A FUENTES, NIVELES Y FORMAS
DE APLICACIÓN DE BORO.

Tesis

Sometida al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:


Ludwig Müller, Ph. D.

Consejero


Hans W. Fassbender, Dr. Cien. Agr.

Comité


George L. Greene, Ph. D.

Comité


Adalberto Gorbitz, Ing. Agr.

Comité

A mis padres

A mis hermanos

A mi esposa

A mis hijos

AGRADECIMIENTOS

El autor patentiza sus sinceros agradecimientos a los miembros de su comité consejero Dres. Ludwig Müller, Consejero Principal, Hans W. Fassbender, George L. Greene y al Ing. Adalberto Gorbitz, por sus valiosas ayudas y sugerencias aportadas en la revisión de los manuscritos.

Al Dr. Gilberto Páez por su hábil dirección en el análisis estadístico e interpretación de los resultados.

Al Ministerio de Agricultura de El Salvador y al Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, por concederle el permiso para ausentarse del trabajo y poder realizar los estudios de post-grado.

A Ferro (Holland) N.V por proporcionarle el vidrio friteado utilizado en la investigación.

A Abonos Superior de Costa Rica por la donación del adherente usado para la aspersion.

Al Centro de Enseñanza e Investigación y a la Zona Norte del IICA, por su apoyo económico y facilidades dispensadas.

A sus compatriotas, profesores, compañeros y todas aquellas personas que en alguna forma cooperaron para el buen éxito de sus estudios.

BIOGRAFIA

El autor nació en El Salvador en el año de 1936. Realizó sus estudios primarios y secundarios en el colegio "Liceo Santaneco" de su ciudad natal, Santa Ana, obteniendo el título de bachiller en Ciencias y Letras en 1956.

Realizó estudios universitarios en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1962. Desde esa fecha a la actual pertenece al personal del Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café.

Ingresó en la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en la disciplina de Fitotecnia y Suelos, en octubre de 1967, egresando en abril de 1969.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCION.....	1
1. <u>El problema</u>	1
2. <u>Objetivos</u>	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
1. <u>Papel del boro en la planta</u>	4
1.1 Aspectos de la nutrición mineral.....	4
1.2 Síntomas de deficiencia de boro.....	6
1.3 Medios para corregir una deficiencia de boro.....	8
1.4 Síntomas de toxicidad.....	8
1.5 En el movimiento de carbohidratos.....	10
1.6 En el crecimiento.....	14
2. <u>El boro en el suelo</u>	16
2.1 Concentración.....	16
2.2 Problemas del boro en el suelo.....	18
MATERIALES Y METODOS.....	25
1. <u>Localización del experimento</u>	25
2. <u>El suelo</u>	25
2.1 Caracterización del suelo experimental..	25
2.2 Determinación de pH.....	26
2.3 Materia Orgánica.....	26

	Página
2.4 Capacidad de intercambio de cationes....	26
2.5 Boro soluble.....	26
2.6 Boro total.....	29
3. <u>Material vegetal</u>	29
3.1 Variedad de café usada.....	29
3.2 Determinación química del boro en las muestras foliares.....	30
4. <u>Informaciones adicionales</u>	32
4.1 Cuidados que recibió el cafeto.....	32
4.2 Fertilizaciones anteriores.....	32
4.3 Producciones obtenidas.....	32
5. <u>Experimentación</u>	33
5.1 Fuentes de boro usadas.....	33
5.2 Combinación de tratamientos.....	36
5.3 Diseño experimental.....	36
5.4 Aplicación de los tratamientos.....	36
5.5 Tamaño y frecuencia de muestreos.....	37
5.6 Análisis estadístico.....	38
RESULTADOS.....	39
1. <u>Análisis y observaciones preliminares</u>	39
2. <u>Análisis e interpretación de los resultados experimentales</u>	40
2.1 Variación del boro en las hojas del cuarto par.....	40
2.2 Variación del boro en las hojas del crecimiento anterior.....	49
3. <u>Variación del contenido de boro en la hoja según su posición en la bandola</u>	56

	Página
DISCUSION.....	60
1. <u>El contenido inicial del boro</u>	60
2. <u>Efecto del tratamiento sobre el contenido de boro en el cuarto par</u>	60
3. <u>Efecto del tratamiento sobre el contenido de boro en el crecimiento anterior</u>	64
4. <u>La edad del tejido y su respuesta</u>	65
5. <u>Variación del contenido de boro en la hoja según su posición en la bandola</u>	66
CONCLUSIONES.....	67
RESUMEN.....	69
SUMMARY.....	70
LITERATURA CITADA.....	71
APENDICE.....	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Datos climatológicos registrados durante los meses que duró el ensayo.....	27
2. Análisis del suelo.....	28
3. Fuentes y niveles de boro utilizados en ensayo y su forma de aplicación al suelo.....	34
4. Fuentes y niveles de boro usados en los tratamientos de aspersion al follaje.....	35
5. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del cuarto par y en hojas viejas antes de aplicarse los tratamientos.....	41
6. Análisis de variancia del contenido inicial de boro en las hojas del cuarto par y crecimiento anterior.....	42
7. Contenido promedio de boro (ppm) en las hojas del cuarto par, clasificado por tratamientos y tiempo de muestreo.....	44
8. Análisis de variancia de los efectos de tratamientos y tiempo de muestreo sobre el contenido de boro en la hoja del cuarto par.....	45
9. Contenido promedio de boro (ppm) en las hojas de crecimiento anterior clasificado por tratamiento y tiempo de muestreo.....	52
10. Análisis de variancia de los efectos de tratamientos y tiempos de muestreo sobre el contenido de boro en la hoja de crecimiento anterior.....	53
11. Contenido de boro (ppm) en el tratamiento testigo (sin boro) y la dosis máxima de bórax aplicado al suelo después de 143 días.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura N°		Página
1.	Influencia del tiempo sobre el contenido de boro en hojas del cuarto par.....	50
2.	Influencia del tiempo sobre el contenido de boro en la hoja vieja.....	56
3.	Variación en el contenido de boro según la localización de la hoja en la bandola.....	58

INTRODUCCION

El uso cada vez más creciente de la fertilización intensiva a base de los tres macronutrientes más conocidos N, P, K ha contribuido grandemente a aumentos apreciables del rendimiento de las plantas cultivadas.

Sin embargo, debido a su empleo, con frecuencia se han acentuado deficiencias de micronutrientes en el suelo.

De los 16 elementos conocidos como esenciales para el crecimiento de las plantas, siete son requeridos en muy pequeñas cantidades y por tal razón se les denomina también micronutrientes, oligoelementos o elementos trazas. A este último grupo corresponde el boro. Aunque las plantas lo necesiten en pequeña cantidad, no debe permitir la creencia que sea menos importante que cualquiera de los elementos esenciales.

1. El problema

En los últimos años los investigadores han dedicado considerables esfuerzos a los problemas creados por falta o exceso de micronutrientes. Este hecho se justifica por lo siguiente:

1.1- La extracción por los cultivos en suelos intensamente cultivados ha bajado, en muchos casos, su contenido de boro del nivel crítico requerido para un crecimiento normal.

1.2- El uso de variedades mejoradas y de mejores técnicas de cultivo han aumentado la producción con mayor demanda de micronutrientes proporcionados por el suelo.

1.3- La alta concentración de los macronutrientes en los fertilizantes usados actualmente en la agricultura, correlacionada con el mayor grado de pureza de los ingredientes que componen un fertilizante químico, es la causa de una menor proporción de microelementos en estos fertilizantes.

Especialmente en áreas tropicales es frecuente encontrar deficiencias de micronutrientes. Entre ellas la deficiencia de boro tiene mucha importancia económica.

Es un hecho conocido que el boro desempeña un papel vital en en las zonas de crecimiento de la planta. Por lo tanto, cuando se produce una deficiencia de este elemento, estas partes son las primeramente afectadas (3, 41, 43).

No todas las plantas son igualmente perjudicadas por una carencia de boro en el suelo. Mientras unas especies muestran síntomas de deficiencia bien pronunciados, otras son poco afectadas (11, 14, 46) bajo condiciones iguales.

El tomate es una planta muy sensible a la deficiencia de boro en el suelo a tal grado que pequeñas dosis de este elemento tienden a incrementar grandemente su producción al estar su concentración baja en el suelo (76). El cacao y el banano son otros ejemplos de plantas muy susceptibles a la deficiencia de boro (73).

El cafeto es igualmente afectado por la deficiencia de boro, pues su producción disminuye y llega a ser tan baja que en un caso típico de deficiencia se han podido obtener, con

aplicaciones adecuadas de dicho elemento, aumentos en rendimiento de alrededor del 285% (18).

2. Objetivos

Este trabajo experimental tuvo como objetivo principal investigar la absorción de boro por medio del diagnóstico foliar. Se estudiaron las fuentes, dosis y formas de aplicación del boro en relación a su mayor eficiencia para corregir una posible deficiencia. También se trató de establecer la duración del efecto por medio de muestreos sucesivos después de una aplicación inicial fuerte de los diferentes tratamientos.

REVISION DE LITERATURA

1. Papel del boro en la planta

1.1- Aspectos de la nutrición mineral.

El boro tiene mucha importancia en la nutrición mineral porque, además de desempeñar un papel de primer orden por sí solo, a veces está relacionado con la absorción de otros nutrientes minerales por la planta. Tanaka (71) propuso que en las plantas superiores un posible mecanismo de entrada de los boratos en las raíces y su transporte dentro de la planta es por una reacción de esterificación con los polisacáridos de la planta; tal reacción se facilita por poseer el ión borato características similares al ión fosfato. Por esa razón algunos investigadores creen que su absorción por las plantas es similar a la absorción del ión fosfato.

Tanaka (70), estudió la influencia que tiene el P, K y Ca en la absorción del boro en plantas de rábano, concluyendo que al aumentar el nivel de Ca en el medio, aumentaba la concentración de Ca en la materia seca. Al mismo tiempo la concentración de boro disminuyó, lo que lo llevó a suponer que el Ca inhibe la absorción de boro por las plantas. Tanaka también mencionó que con el fósforo la correlación fue positiva, o sea la mayor cantidad de boro en las hojas está asociada a una mayor concentración de fósforo en el medio; en el caso del potasio el efecto fue negativo, es decir, que a mayor

concentración de potasio en el medio disminuyó la concentración de boro en las hojas. Esto indica que el K tiene un efecto negativo en la acumulación de boro en los tejidos vegetales. Tanaka mencionó otro hecho interesante: plantas de girasol, creciendo en soluciones nutritivas con varios niveles de Ca, demostraron la correlación siguiente: mientras que en el tallo aumentó el nivel de Ca, bajó en las hojas la concentración de boro. Este hecho hace pensar que el boro es inmovilizado en los tallos debido a una alta concentración de Ca en ellos. El mismo autor concluyó que después de un encalado la aparición de una deficiencia de boro en un cultivo puede deberse a una disminución en la disponibilidad de este elemento, ya sea en el suelo o en la planta misma.

Smith (67) comprobó que una alta concentración de boro en las hojas del pumelo disminuyó la concentración de K, Ca, Mg y Mn. En cambio, en el naranjo estos elementos no se vieron afectados por las altas concentraciones de boro. Parks, Lyon y Hood (52), estudiando el efecto de niveles de boro en la composición química de hojas de tomate, encontraron que al aumentar el boro en la hoja, el nitrógeno orgánico, nitrógeno nítrico y fósforo aumentaban también, mientras que el nitrógeno amoniacal y el magnesio disminuían. Esta falta de absorción eficiente de nitratos en ausencia de boro ha sido encontrada anteriormente por Briggs (9).

El balance calcio-boro en las plantas es de gran interés debido al importante papel que desempeña en la actividad metabólica de las mismas (32). Medina y Shive (36) encontraron en maíz que con una alta relación Ca/B las plantas manifestaron síntomas de deficiencia de boro, con una intermedia eran normales y con una relación baja hubo toxicidad. Müller (43), para el caso del café, mencionó que una relación Ca/B menor de 60 está asociada con una toxicidad; la relación en caso de una deficiencia de boro sube a 400-2500 y en plantas normales la relación Ca/B es de 60 a 400. La misma relación ha sido ampliamente investigada en otros cultivos (73).

1.2- Síntomas de deficiencia de boro.

Los síntomas de deficiencia de boro son invariables para una especie, al igual que la necesidad de este elemento, pero pueden variar entre especies (11, 15, 39, 46). Uno de los primeros síntomas que aparecen por lo general en las plantas bajo condiciones de deficiencia severa de boro es el aspecto negruzco y muerte de la yema terminal (40, 43, 57, 58, 75), la que puede permanecer muerta algún tiempo antes de caer (41, 43). Carvajal (10) al provocar la deficiencia de boro en café en invernadero, mencionó que éste fue el primer síntoma que apareció a los 45 días al haberse eliminado el boro de la solución nutritiva. Entre los demás síntomas también observó el poco desarrollo del sistema radical.

Al faltar boro en plantas de café, las partes jóvenes o meristemas detienen su desarrollo normal (20, 39, 43). Los entrenudos son cortos (43), las hojas crecen casi normalmente en longitud pero no de ancho en el caso de una deficiencia ligera; se vuelven quebradizas y coriáceas al tacto, tienen poco brillo y su borde es irregular y asimétrico (41, 43), cuando la deficiencia se encuentra en estado avanzado. En este caso el tamaño de la hoja resulta ser drásticamente reducido, alcanzando escasamente un décimo de lo normal (43). Las venas, sobre todo en el envés de las hojas, adquieren un aspecto corchoso (41, 43, 57, 58, 75). En cafetos deficientes en boro es común que las hojas más viejas presenten una definida apariencia clorótica parecida a la deficiencia de calcio (43). Como generalmente la yema terminal muere, se estimulan nuevas yemas por debajo de ésta, formándose una palmilla de varias ramas (18, 41, 43, 57, 58). Müller (41) clasificó este fenómeno como una muerte regresiva o "die-back" de los meristemas apicales lo que origina la palmilla. Algunos autores mencionaron como otro síntoma puntos necróticos sobre las hojas jóvenes en café (18, 57, 58, 75). Es frecuente que en un mismo árbol se pueden encontrar todas las transiciones entre una deficiencia severa y normal; en muchos casos los síntomas parecen estar limitados solamente a pocas ramas y su distribución en la planta es completamente irregular (18, 43).

1.3- Medios para corregir una deficiencia de boro.

La carencia de boro en el suelo deprime la producción de las plantas que en él crecen. Esto ha sido plenamente demostrado por la inmediata respuesta cuando se corrigió la deficiencia (19, 20, 76).

Se emplean para este fin dos métodos (18, 19, 20, 40, 41, 43, 57, 58), a saber: a) aplicar el boro al suelo, b) atomizarlo en solución acuosa al follaje. Ambas formas son eficientes. Sin embargo, la aplicación al suelo parece tener un efecto más duradero que la aspersion; pero la última evita ciertos problemas como fijación del boro en el suelo. Cualquiera que sea el método usado deberá tenerse especial cuidado con la dosis en vista del rango limitado que existe entre los niveles de una deficiencia y de una toxicidad de este elemento (40, 41, 43). Las aplicaciones deberán hacerse al inicio y al final de la estación lluviosa (19, 57, 58). Una deficiencia debido a aplicaciones desmesuradas para su control puede convertirse en toxicidad por la acumulación que tiene lugar en los tejidos adultos (40, 41, 57).

1.4- Síntomas de toxicidad

La toxicidad de boro puede producir clorosis y hasta abscisión de hojas viejas en muchas plantas (15, 57, 58). Müller (43) hizo una descripción de esos síntomas en café y los presentó como puntos cloróticos localizados en pequeñas manchas. Constató que los puntos son más numerosos cerca

del margen de la hoja donde pueden unirse y crear áreas cloróticas más grandes. El mismo autor indicó que la parte de la hoja no afectada permanece siempre verde oscuro. Otros autores que trabajan en café aseguraron que puntos de color café en las hojas nuevas era el síntoma más definido de un abuso en la cantidad de boro empleada para la corrección de una deficiencia. En café concentraciones superiores a 150 ppm en las hojas adultas son ya frecuentemente asociadas con la toxicidad del elemento (12, 40, 43, 57, 58).

Algunos autores como Oertly y Kohl (46) señalaron que en general las plantas que presentan toxicidad de boro no acusan una baja notable en el rendimiento. Como la acumulación del boro ocurre en áreas localizadas de las hojas, ellos postulan que no tiene efecto sobre otras partes de éstas. González (21), al estudiar el efecto tóxico del boro en frijol, maíz y pastos, concluyó que en zonas de riego no debe usarse agua con un contenido de boro mayor de 2 ppm en el caso del maíz. En frijol, la concentración del boro en el agua debe ser inferior a 1 ppm; pero para pastos pueden usarse aguas hasta de 2 a 3 ppm sin producción aparente de daños a los cultivos. Bravo (7), al analizar tejidos necróticos de caña de azúcar, cultivada en el Perú, ha encontrado contenidos desde 450 ppm hasta 850 ppm. Este autor concluyó que la toxicidad redujo el área foliar y por consiguiente la capacidad fotosintética de la planta, factor importante en el rendimiento.

1.5- En el movimiento de carbohidratos.

Para el desarrollo normal de las plantas es muy importante que los compuestos orgánicos sean trasladados eficientemente a los puntos de mayor utilización como requisito necesario para su buen aprovechamiento. Gauch y Dugger (17), estudiando la acción que tiene el boro en la fisiología de las plantas, concluyeron que es un elemento esencial para el traslado de los carbohidratos. Tratando de explicar el papel del boro en el traslado de azúcares, Gauch y Dugger (16) lo hicieron a base de un complejo ionizable azúcar-borato que, según ellos, es trasladado con gran facilidad. Una de las hipótesis se basa en que el ión borato puede reaccionar con el azúcar (sucrosa, glucosa, fructosa) y el azúcar entonces pasa a través de las membranas como complejo azúcar-borato; luego la célula utiliza este complejo y libera al ión borato. La segunda hipótesis es que el ión borato se asocie con las membranas celulares, donde reacciona químicamente con una molécula de azúcar, facilitando así su paso a través de la membrana y que el azúcar se libere en el interior de la célula por una segunda reacción. El hecho de que las plantas necesiten un suplemento continuo de boro durante el ciclo de crecimiento implica que es bastante inmóvil en la planta.

Por otra parte Skok (66) dijo que no existe el complejo azúcar-borato y que el efecto del boro resulta de su acción sobre la actividad celular. Citó, además, que hasta otros elementos pueden reemplazar temporalmente al boro y llevar a cabo su función.

Parece que la acumulación de carbohidratos en ciertas partes de la planta es uno de los principales disturbios que resultan de la deficiencia de boro. Sisler, Dugger y Gauch (65) comprobaron con sacarosa radiactiva que el traslado del azúcar aplicado en plantas deficientes en boro se hizo más rápido cuando se agregaron 50 ppm de boro. Estos autores creyeron que el efecto del boro en ese traslado es indirecto, porque al estar presente en la planta se evitan los trastornos morfológicos y fisiológicos en los tejidos conductores, facilitando así el traslado de los carbohidratos. Palser y Mc Ilrath (51) confirmaron la aseveración de Sisler, Dugger y Gauch (65) de que el efecto del boro en el traslado de azúcares es un fenómeno secundario, debido a la necrosis que se produce en el floema de las plantas deficientes en boro.

Neales (45) observó que en raíces y en la parte apical del tallo de plantas de Linum usitatissimum deficientes en boro había abundancia de carbohidratos. Neales por medio de análisis cromatográficos y cuantitativos encontró un alto contenido de fructosa y glucosa, tanto en la parte apical del

tallo como en las raíces, y afirmó que el boro afecta las reacciones de fosforilación, facilitando el traslado de los azúcares e impidiendo que se acumulen en forma de reservas de almidón.

Scripture y Mc Hargue (62) manifestaron que una deficiencia de boro causó en plantas de rábano una acumulación de azúcares reductores y carbohidratos insolubles en alcohol en la parte aérea, mientras que en los tubérculos se acumulaban sobre todo carbohidratos hidrolizables en ácido. También encontraron un nivel más bajo de azúcares reductores en los tubérculos de plantas deficientes que en las normales. Prophete (61), trabajando con plantas de Coffea arabica, estableció una interacción positiva de azúcar-boro, lo que indica que el traslado de azúcar es más rápido en presencia de boro. Johnston y Dore (30) encontraron en plantas de tomate, que crecieron en un medio deficiente en boro, que el contenido de azúcares totales era el doble comparado con el de las hojas de otras plantas que crecieron en presencia de dicho elemento. Concluyeron que una característica de las plantas deficientes en boro es el poco traslado del azúcar desde las hojas.

White y Stevens (81) detectaron una acumulación de ciertos carbohidratos en las zonas de producción en condiciones de una deficiencia de boro, los que no fueron trasladados a las partes donde se necesitan, por ejemplo la raíz. Las raíces desarrolladas bajo condiciones de deficiencia mostraron,

por lo tanto, una deficiencia de carbohidratos y con ello una ineficiencia para absorber nutrientes minerales del suelo, desarrollándose así deficiencias de K, Ca, N, Fe, Zn, Mn y en casos extremos hasta de agua.

Dugger, Humphreys y Colhoum (13) encontraron que el boro afectó la relación azúcar-almidón en hojas de frijol y que la actividad de la fosforilasa se inhibe por este micronutriente. Yih y Clark (83) analizando tejidos de plantas de tomate que crecieron en presencia y ausencia de boro, observaron en ambos grupos la existencia de los mismos azúcares, tanto en la fracción soluble como insoluble; pero en cambio la deficiencia de boro incrementó la cantidad individual y total de los azúcares en la fracción insoluble.

Whittington (80) encontró que el contenido de azúcar en las células bajó hasta 48 horas después de haberse eliminado el boro del medio del cultivo y sostuvo que el paro en la división celular no se debía a la falta de azúcares sino a la deficiencia de boro propiamente dicho. Spurr (68), estudiando la influencia del boro sobre la formación de la pared celular en tres variedades de apio (Apium graveolens var. dulce), averiguó que en células normales el grosor de la lamina media era de 0,30 micras y en las deficientes sólo de 0,20 micras. Esa diferencia en estructura de las paredes celulares lo hizo suponer que el boro afectó el proceso de condensación de carbohidratos dentro de la pared celular y por tal razón sugirió que las paredes dejan de engrosarse por una deficiencia

de boro. O'Kelly (48) por su parte, al estudiar el efecto de varias concentraciones de boro en combinación con diferentes azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa) sobre la germinación del grano de polen de Tecoma radicans halló que el boro estimuló la absorción de estos azúcares. Sin embargo, la concentración de boro tenía que ser específica para cada uno de ellos.

1.6- En el crecimiento.

Es bien conocida la importancia que tiene el boro para su desarrollo normal de las plantas. Müller (43) lo mencionó como necesario para la formación del nuevo tejido y que una deficiencia afecta principalmente el crecimiento terminal de las ramas. Ya en el año 1914 Brenckley (8) había comprobado el retardo en el desarrollo del tejido meristemático y discoloración de tejidos en aquellas plantas que sufrían una deficiencia específica de boro. Posteriormente Warington (79), trabajando con plantas de frijol cultivadas en soluciones nutritivas y también en experimentos de campo, usando compuestos a base de boro, postuló el efecto catalítico como mecanismo de la acción del boro en la nutrición de las plantas.

Prophete (61), en un trabajo hecho con plantas de café, determinó que el boro provocó un aumento de altura de plantas de 3 meses de edad. Este mismo autor encontró que cuando el boro actuó en combinación con azúcar, hubo mayor aumento en la longitud de las ramas laterales, longitud de los entrenudos cerca del ápice del tallo, aumento en diámetro del tallo y

del porcentaje de materia seca en las raíces. Concluyó que las aplicaciones de boro y azúcar en ciertas concentraciones pueden tener efectos benéficos para el crecimiento de las plantas. Johnston y Dore (30), usando el tomate como planta indicadora, obtuvieron un crecimiento normal hasta la floración cuando la solución nutritiva estuvo bien provista de boro. Las plantas cultivadas en soluciones deficientes en boro dejaron de crecer a las tres o cuatro semanas, notándose los primeros síntomas a los 9 días.

Según Skok (66) la acción del boro es sobre la actividad celular. Cita, además, que otros elementos como el estroncio, aluminio, y sobre todo germanio pueden reemplazar termoralmente al boro, dando un aumento significativo en crecimiento. Albert (1), en plantas de tomate, encontró que la raíz principal dejó de crecer al ser omitido el boro de la solución nutritiva. Al analizar el contenido de RNA de esta raíz se verificó que éste decreció 24 a 48 horas después de haberse eliminado el boro del medio.

Yih y Clark (83) hallaron una típica cesación del crecimiento radical cuando las plantas de tomate crecían en un medio carente de boro; después de 24 horas de haberse aplicado el boro, tuvieron un significativo aumento del sistema radical: después de 72 horas, las raíces de plantas en ausencia de boro sólo habían crecido 2,9 mm contra 90 mm de las plantas bien suplidas con este elemento. Citaron que la experiencia fue hecha al sol y a la sombra y, aunque la tendencia

del crecimiento fue la misma, éste fue menos acentuado a la sombra.

Walker (77) afirmó que en ausencia de boro las paredes celulares del tejido parenquimático crecen a expensas de las células de los tejidos conductores. Por consiguiente esa falta de desarrollo normal de los tejidos conductores lleva indirectamente a muchos de los síntomas como deformación de las hojas, incremento de antocianos en las hojas, reducción de producción y disminución del crecimiento. Neales (45) observó que tanto las puntas de raíces como la parte apical del tallo de plantas de Lino usitatissimum al ser cultivadas en un medio que contenía 4% de sucrosa, detenían su crecimiento 48 horas después de haberse suprimido el boro.

Struckmeyer, Heikkinen y Berger (69) averiguaron que la deficiencia de boro en plantas de maíz durante el ciclo de crecimiento afecta sobre todo los órganos reproductores, causando una anomalía en el grano de polen. Enfatizaron que este elemento es inmóvil dentro de la planta y que se requiere un constante abastecimiento durante la estación de crecimiento. Batjer y Thompson (2) encontraron que las aplicaciones de ácido bórico incrementaron la producción de perales al estimular la germinación del grano de polen.

2. El boro en el suelo

2.1- Concentración.

El contenido de boro en el suelo es muy variable. Ciertos factores, como el material parental, el clima y la materia orgánica tienen gran influencia en el mayor o menor

contenido de este elemento en el suelo.

Hodgson (25) citó que el contenido promedio de boro en la corteza terrestre fluctúa entre 3 y 10 ppm. Mencionó también que para unas rocas básicas este valor es de 10 ppm, para ciertas rocas ácidas de 15 ppm y para otras de tipo sedimentario el contenido es de 12 ppm. Eaton y Wilcox (14), al hacer un estudio exhaustivo sobre el papel del boro en el suelo, sugieren una clasificación de estos en dos categorías en base al contenido de boro: los suelos con un contenido de 0,1 a 0,5 ppm son inapropiados para sostener el crecimiento normal de las plantas. Los suelos con concentraciones entre 1 y 5 ppm ó más inducen toxicidad. Los mismos autores constataron que las distintas variedades y especies de plantas muestran una amplia variación, tanto en su requerimiento de boro como en su grado de tolerancia a altas concentraciones de este elemento.

Por otra parte Berger y Pratt (3) constataron que la cantidad de boro total en los suelos puede variar entre 20 y 200 ppm. Aseguraron que el boro soluble, de acuerdo al método empleado, puede fluctuar entre 0,05 y 5 ppm en la capa arable de regiones húmedas. Los mismos autores sugirieron que la turmalina (mineral de boro con cantidades variadas de Fe, Al, Mg, Ca, Li, Na, y K), la que es muy resistente a la mineralización, el agua de lluvia y el boro contenido en los fertilizantes son las principales fuentes de este elemento al suelo. Jackson (29) situó el ámbito de boro soluble en suelos de la región húmeda entre 0,2 y 1,5 ppm, pero su concentración puede llegar hasta 2 ppm o más en suelos con alto contenido de estiércol y

ser menor de 0,2 ppm en suelos arenosos. En regiones semi-áridas Jackson calculó el contenido de boro entre 10 y 40 ppm. Dice el mismo autor que el contenido de boro total en un gran número de suelos varió entre 4 y 98 ppm pero que en suelos de regiones húmedas y textura fina la variación se limitó de 30 a 60 ppm.

Desafortunadamente son muy pocos los datos en la literatura sobre el contenido de boro en suelos de países tropicales.

En Costa Rica, donde la deficiencia de boro ha sido un problema grave, Pérez y colaboradores (59) encontraron en un suelo 1,8 kg/ha en la capa superficial y 2,3 kg/ha en el subsuelo, valores que ellos asociaron con una deficiencia de boro. Culot, citado por Müller (43), en sus experiencias en Kivu expresó que una concentración de 0,15 a 0,3 ppm en la capa superficial indicaba deficiencia; por tanto él consideró que un contenido de 0,5 ppm era suficiente para un crecimiento normal.

2.2- Problemas del boro en el suelo.

Cuando se establece un programa de fertilización con aplicaciones de boro al suelo para corregir síntomas de deficiencia es importante conocer cuales son los factores que afectan su aprovechamiento. Mientras Hodgson (25) creyó que el boro puede reaccionar con la superficie de las arcillas, Eaton y Wilcox (14) propusieron tres posibles mecanismos de combinación del boro en los suelos: cambio aniónico, precipitación química, adsorción molecular.

Hingston (24) dió particular importancia al equilibrio que debe existir entre el contenido de boro en el suelo y su concentración en la solución edáfica por el estrecho margen que existe entre el nivel que causa deficiencia y el que causa toxicidad. Este autor citó entre las posibles reacciones que pueden tener lugar en el suelo la adsorción como ión borato, adsorción como ácido bórico molecular, formación de complejos orgánicos, precipitación como boratos de alúmina y sílice insolubles y la entrada del boro del látice de la arcilla.

La fijación de boro en el suelo está muy estrechamente asociada a la práctica del encalado de los suelos ácidos para elevar su pH. Midgley y Dunklee (38), trabajando en cuatro diferentes suelos con y sin aplicación de cal, encontraron que la fijación de boro como ión borato fue cada vez mayor a medida que se incrementaba la aplicación de CaCO_3 al suelo. Citaron que ninguno de los suelos usados fijó boro en condiciones naturales, pero cuando se sobreencalaron la fijación alcanzó un 90%. Concluyeron también que tanto el CaCO_3 , BaCO_3 , CaO MgCO_3 son igualmente efectivos en la fijación del boro en el suelo cuando se usan como materiales enmendadores del pH.

Hatcher, Blair y Bower (22) aseguraron que cuando se aplicaba boro en el suelo, una parte de éste es adsorbida por el suelo, mientras que la otra entra en solución. Estos autores, usando macetas, trabajaron en tres suelos de California (limoso, arcilloso y areno-limoso). Después de regarlos con una solución de ácido bórico de concentración conocida, encontraron que el boro se adsorbía conforme se incrementaba la

dosis de boro; encontraron la mayor adsorción en el suelo arcilloso, hecho que coincidió con una menor producción de materia seca de plantas de frijol que en el crecían. Esta observación llevó a los autores a concluir que las plantas responden solamente al boro en solución.

Los estudios llevados a cabo por Okazaki y Chao (47) dejaron ver la importancia del pH en la adsorción de boro. Ellos establecieron una correlación (0,90) entre el valor de pH y la adsorción de boro. La fuente es de mucha importancia para el encalado pues cuando se usó $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para subir el pH, la adsorción de boro fue mayor que cuando se usó NaOH. Por tanto estos autores concluyeron que el calcio era el responsable de la adsorción de boro en el suelo.

Otros autores como Parks y White (54) manifestaron que la fijación de boro no sólo dependía del catión de la enmienda, sino también intervienen otros factores, como el tipo de arcilla, el humedecimiento o secado y el factor tiempo. Estos autores demostraron que en kaolinita y bentonita en estado húmedo no se fijó boro al estar saturadas con iones H, pero si hubo fijación cuando fueron saturadas con bases, a excepción de la bentonita saturada con NH_4 . Para el secado, el comportamiento fue opuesto. La kaolinita saturada con H fijó más boro que los otros tratamientos saturados con bases. Después de cuatro semanas de incubación, la kaolinita tratada con una suspensión de Ca al 2% y 40 ppm de boro fijó mucho más boro que la bentonita. Al final de ocho ciclos de humedecimiento y secado, la kaolinita fijó más boro comparado con la bentonita.

Olson y Berger (50) dieron más importancia al pH que al Ca en este proceso de fijación. Aseguran que la fijación de boro se incrementó conforme el pH subió más allá del punto neutro; por debajo de pH 7 es pequeña o no existente. Al agregar a un suelo 30 meq de CaCl_2 , no encontraron fijación porque el pH fue de 4,8; pero cuando usaron 20 meq de Ca(OH)_2 el pH subió a 9,2 y con este incrementó la fijación de 6,3% a 33,7%. Estos autores concluyeron que el Ca tiene poca influencia en el proceso de fijación si el pH no sube más allá de 7. Wolf (82) obtuvo, igual que los otros autores anteriores, con rábano y coliflor como plantas indicadoras una típica deficiencia de boro con valores de pH superiores a 7,6 al emplear Ca(OH)_2 para elevar el pH. Este autor concluyó que entre los hidróxidos de Mg, Ca, Na y K es el de Mg que más afecta la retención de boro en el suelo. Parks y White (54) también obtuvieron resultado similar, o sea que la naturaleza del catión que se emplea en el encalado de un suelo es de mayor importancia en la disponibilidad del boro.

Otros autores como Parks y Shaw (53), estudiando las posibles causas de fijación del boro en los suelos, han encontrado la posibilidad de una formación de precipitados, particularmente de sílice y de aluminio. Aseguraron que la presencia del ión Ca, una baja humedad del suelo y un alto pH tienden generalmente a incrementar el contenido de boro de los precipitados, productos de reacciones de sustitución en los complejos alúmino-silicatos. Las razones por las cuales los autores dan crédito a esta hipótesis son: que tanto el Al como el B tienen una valencia común de 3, se encuentran en la misma

columna de la tabla periódica y ambos forman óxidos estables del tipo X_2O_3 . Los autores enfatizaron que la diferencia en el radio iónico (Al^{+++} , 0,50 Å; B^{+++} , 0,20 Å) prueba en parte la mayor estabilidad de un alúmino-silicato comparado con un complejo similar en que el boro reemplaza algunos de los átomos de aluminio.

Sims y Bigham (64) han comprobado que los hidróxidos de Fe y Al tienen una marcada afinidad por el boro. En aquellos suelos con un contenido bajo o no cambiante de Al^{3+} libre, la retención del boro puede ser atribuida al Fe. Por otra parte indicaron que en suelos con un contenido significativo de Al^{3+} cambiante, la retención del boro puede estar altamente correlacionada con el aluminio. El mecanismo exacto de la reacción de insolubilización del boro no es bien conocido pero los resultados obtenidos por estos autores indican que son los hidróxidos de Al^{3+} los mayormente responsables de la retención de este elemento en el suelo, comparado con los hidróxidos de Fe; así lo demostraron las altas correlaciones encontradas. A la misma conclusión de que el precipitado de $Al(OH)_3$ y materiales similares son los principalmente responsables de la retención de boro en el suelo han llegado Hatcher, Bower y Clark (23). Sharrer, Kuhn y Luttmer (63) también han encontrado que la fijación del boro en el suelo se debe a los óxidos de Fe y Al presentes. Ellos explicaron la fijación por un complejo formado entre el boro y los grupos oxhidrilos contenidos en la superficie de las arcillas.

La asociación entre el aluminio y la fijación de boro es de particular importancia, pues en los conceptos modernos sobre acidez del suelo el aluminio juega un papel predominante (5).

Mientras que unos investigadores aseguraron la posibilidad de una fijación química del boro, Naftel (44) tiene a darle una explicación biológica al fenómeno. Este autor estimó que el boro era biológicamente absorbido o fijado por el incremento de la población microbiana debido al cambio de reacción ocasionado por el encalado. Como resultado las plantas no pueden competir por el boro del suelo para un normal desarrollo. Tal postulación la basó en el hecho que un crecimiento normal fue obtenido cuando dichos suelos fueron esterilizados en un autoclave. Su conclusión fue que el proceso en sí todavía no es bien conocido.

En la fijación del boro también influye la materia orgánica. Parks y White (54) mencionaron que el humus tiene marcada afinidad por el boro; un humus saturado con iones H retiene aproximadamente el doble de boro que uno saturado con calcio. El hecho que el humus extractado con pirofosfato de sodio retiene 15 a 30 veces más boro que el extractado con carbonato o bicarbonato de sodio se debe, según estos autores, al hecho que con el pirofosfato se extrae el 16% de la materia orgánica total. La conclusión fue que el humus juega un importante papel en la retención del boro y que los suelos altos en materia orgánica son altos en boro, que puede ser liberado y aprovechado por la planta conforme ocurre su descomposición (50).

Scharrer, Kuhn y Luttmer (63), sin embargo, afirmaron que los ácidos húmicos no son de importancia para la fijación del boro en el suelo. Sims y Bingham (64) confirmaron tal hipótesis al haber encontrado una baja correlación entre el contenido de materia orgánica de nueve suelos y la retención de boro.

Otro problema del boro en el suelo es su movilidad según el contenido de agua. Así, a veces no se trata de un problema de fijación sino más bien de lixiviación. Kubota, Berger y Troug (33) encontraron seis meses después de haber aplicado 100 libras de bórax por acre con variadas cantidades de agua, que en un suelo arenoso con dos pulgadas de agua, el 62% de boro aplicado se encontró en las primeras nueve pulgadas y el 39% entre 12 y 15 pulgadas. Con la misma cantidad de agua en un suelo arcilloso el 66% del boro sólo había bajado 3 pulgadas y el resto se encontró entre 3 y 6 pulgadas. Estos autores concluyeron que la movilidad del boro está estrechamente relacionada con la textura, siendo mayor en suelos arenosos. Hobbs y Bertramson (26) observaron síntomas de deficiencia de boro en alfalfa en suelos de Indiana en veranos secos; pero ésta raramente apareció en los mismos suelos durante estaciones de gran precipitación. Así los autores concluyeron que la humedad del suelo es factor importante en la absorción del boro por las plantas.

MATERIALES Y METODOS

1. Localización del experimento

Este estudio se llevó a cabo en condiciones de campo y con cafetos adultos de 4 años de edad de una plantación comercial situada en un suelo de la Serie Colorado en los terrenos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., Turrialba, Costa Rica. Turrialba está situada a una altura de 600 metros sobre el nivel del mar, latitud Norte 9°53' y la longitud Este 83°38'.

Durante el tiempo que duró el ensayo se registraron las condiciones climatológicas que aparecen resumidas en el Cuadro 1. Datos más completos para el período de iniciación del experimento pueden encontrarse en el Apéndice.

2. El Suelo

2.1 Caracterización del suelo experimental.

Antes de efectuar las aplicaciones, o sea en octubre de 1968, con el fin de tener un mejor conocimiento de las condiciones químicas del suelo del lote experimental, se tomaron muestras representativas de suelo y subsuelo del área de cada una de las cuatro repeticiones. Los resultados se dan en el Cuadro 2. Cada muestra fue de aproximadamente un kilogramo de suelo, obtenida por combinación de 10 perforaciones hechas con un muestreador de tipo Holandés. Estas muestras compuestas fueron llevadas al laboratorio en bolsas plásticas y seguidamente secadas al aire para efectuar los análisis correspondientes.

2.2 Determinación de pH.

Después de homogenizado y tamizado el suelo seco, el pH fue determinado en H_2O en proporción 1:1 y en $CaCl_2$ (0,01 M) en proporción 1:2 por medio de un potenciómetro Beckman Zeromatic con electrodo de vidrio (55).

2.3 Materia Orgánica.

Cuarteada la muestra del suelo correspondiente, fue pasada a través de una malla de 0,25 mm y luego se determinó la materia orgánica por el método de Walkley y Black (78).

2.4 Capacidad de intercambio de cationes.

Después de tamizar una parte representativa de los suelos por una malla de 1 mm se determinó la capacidad de intercambio según método de Bawer (6), modificado por Díaz-Romeu y Balerdi (comunicación personal).

2.5 Boro soluble

Para su determinación se tamizó el suelo secado a través de una malla # 20 (0,841 mm) según la escala de Tyler. Después de su homogenización se pesaron 10 g. La extracción se hizo con agua, hirviendo la mezcla suelo agua por 5 minutos en proporción 1:2, y empleando un condensador de reflujo.

Seguidamente se centrifugó y del supernatante se tomó una alícuota de 10 ml que después de alcalinizada con $Ca(OH)_2$ saturado, se evaporó en una cápsula de porcelana. Se incineró el residuo a una temperatura no mayor de $450^{\circ}C$ para destruir los nitratos y la materia orgánica. Se dejó enfriar y después

CUADRO 1. Datos climatológicos registrados durante los meses que duró el ensayo

Mes	Precipitación Total mm	Temperatura °C			Humedad Relativa			Horas		Total en mm
		Max	Min	Med	Min	Med	Max	Sol		
Octubre 1968	198,4	27,6	18,5	21,9	86,6	56,4	163,5	148,5		
Noviembre 1968	216,4	26,4	18,5	21,4	86,9	61,3	126,0	117,4		
Diciembre 1968	266,0	25,9	17,2	20,7	85,2	57,7	161,8	122,9		
Enero 1919	94,8	26,6	16,5	20,8	84,0	53,4	197,6	151,0		
Febrero 1969	46,7	26,1	16,6	20,7	81,4	51,8	160,0	139,6		

CUADRO 2. Análisis del suelo.

		<u>SUELO</u>			
		Repeticiones			
		I	II	III	IV
Materia orgánica (%)		5,41	5,55	5,75	5,19
pH	H ₂ O	4,00	4,10	3,80	4,12
	CaCl ₂	3,50	3,58	3,40	3,73
C.I.C. (meq/100 g de suelo)		26,99	27,20	26,53	26,22
Boro soluble (ppm)		0,23	0,35	0,37	0,40
Boro total (ppm)		7,00	8,25	7,50	8,25

		<u>SUBSUELO</u>			
		Repeticiones			
		I	II	III	IV
Materia orgánica (%)		1,90	2,03	1,95	1,90
pH	H ₂ O	4,60	4,70	4,67	4,65
	CaCl ₂	4,25	4,17	4,20	4,10
C.I.C. (meq/100 g de suelo)		26,63	27,26	25,70	27,05
Boro soluble (ppm)		0,27	0,20	0,24	0,41
Boro total (ppm)		2,50	1,25	2,50	1,25

se agregaron 5 ml de H_2SO_4 0,36 N y se filtró a través de papel de filtro Whatman # 42. Del extracto resultante se tomó un mililitro para mezclarlo con quinalizarina en ácido sulfúrico. La lectura se efectuó en un espectrofotómetro Coleman contra un blanco preparado en igual forma. Los rasgos esenciales del método empleado son los de Berger y Troug (4).

2.6- Boro total

El boro total fue igualmente determinado según el método de Berger y Troug (4). La única diferencia consistió de que las cantidades del suelo y reactivos fueron reducidos a la mitad. Debe aclararse que el secamiento del extracto se llevó a cabo en baño María debido a lo inflamable del alcohol; en esta forma se evitaron también pérdidas por salpicaduras. Se tuvo especial cuidado durante la incineración para que la temperatura no subiera más allá de $450^\circ C$ (27), evitando así la pérdida del elemento.

3. Material vegetal

3.1- Variedad de café usada

Las plantas utilizadas fueron las de una plantación bajo sombra (Coffea arabica cultivar Caturra) y sembrados a una distancia de 1,5 x 3 varas, lo que da una población de 2222 cafetos por manzana. La sombra del cafetal era de tipo dominante en las fincas de Costa Rica o sea el poró (Erythrina sp.), sembrada a 5 x 5 metros.

Todas aquellas plantas de café que eran de una variedad distinta fueron descartadas. Igualmente se eliminó aquellas que habían sido podadas radicalmente y sus brotes eran

todavía muy jóvenes. De esta manera los 6 cafetos efectivos que formaron la parcela quedaron lo más uniformes posible.

Por tener el terreno una pendiente ligera pero uniforme, las parcelas se orientaron en forma perpendicular a ella para controlar en lo posible diferencias del suelo, aunque en cultivos perennes la heterogeneidad del suelo es de menor importancia en comparación con el genotipo de las plantas (56). Entre las parcelas se dejó una planta sin aplicación que sirvió como borde. En el caso del tratamiento de aspersion se dejaron dos plantas para evitar así que en el momento de la atomización se mojaran o contaminaran los cafetos de parcelas vecinas.

3.2- Determinación química del boro en las muestras foliares.

Las muestras fueron llevadas en bolsas plásticas al laboratorio, lavadas con agua de grifo y detergente. Se frotaron suavemente por el haz y envés con tela tipo gaza para eliminar partículas de polvo y residuos de aspersion . Seguidamente eran enjuagadas en agua destilada y luego secadas en una estufa a 70°C por 48 horas en bolsas plásticas perforadas. Después se molieron en un molino Wiley tipo intermedio con una malla # 40. Su almacenaje se hizo en frascos de vidrio blando.

Para el análisis eran homogenizadas en un aparato mezclador y secadas otra vez por 12 horas, a la misma temperatura si el almacenamiento previo era largo.

El boro fue determinado colorimetricamente con quinalizarina según Berger y Troug (4). Se pesó 0,5 g de la muestra homogenizada y bien secada, en un crisol de porcelana. Para asegurar una completa alcalinización fue necesario agregar 3 ml de una solución acuosa saturada de Ca(OH)_2 . Se dejó en reposo unos 15 minutos para su completo humedecimiento. Luego se llevó a sequedad a una temperatura inferior de 250°C , lo que se logró por medio de una plancha eléctrica con termostato. Enseguida se incineró en una mufla por dos horas a una temperatura no mayor de 550°C .

Después de enfriar la muestra, se extrajo el boro con 5 ml de H_2SO_4 0,36 N. De ese extracto que se recibió en botellas plásticas se tomó una alícuota de un mililitro y se agregaron 10 ml de quinalizarina en ácido sulfúrico concentrado al 95-98%, obteniéndose un volumen final de 11 ml.

Antes de hacer la lectura fue necesario que esta mezcla quedara en reposo por unos 20 minutos para llegar a la temperatura ambiente. Las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro Coleman modelo 6 A.

Las concentraciones foliares se calcularon a base de una curva de calibración de una serie de patrones desde 0 a 6 ppm, preparadas con ácido bórico (H_3BO_3) previamente desecado por 12 horas a 105°C .

Era necesario que la temperatura del ambiente y especialmente la humedad relativa estaban debidamente controladas en vista de que influyen en la sensibilidad del método (49). Hasta donde fue posible se usó material plástico y vidrio blando.

4. Informaciones adicionales

4.1- Cuidados que recibió el cafeto.

La poda del cafetal había sido hecha a base de multiples verticales, eliminando principalmente aquellos que habían pasado su mayor producción. En los árboles de la sombra se hizo una poda fuerte en el mes de enero y una dishija en julio, lo que resultó en una sombra más o menos regulada. Las malas hierbas se controlaron a base de hierbicidas cada dos meses, usándose Gramoxone*. El control de enfermedades fungosas se hizo por medio de aspersión conjunta de cobre, Nu-Z y arseniato de plomo al follaje en la proporción de 1 1/2 libras de cada uno por 50 galones de agua.

4.2- Fertilizaciones anteriores.

Hasta el año 1967 inclusive, los cafetos que componían el ensayo rebicieron una fertilización a base de N- P- K con una fórmula del tipo 17-11-22. Las aplicaciones se hacían generalmente en enero-febrero con 1/4 de libra de la fórmula por cafeto. Una segunda aplicación se efectuó en los meses de setiembre-diciembre, consistiendo de 1/2 libra de urea al 45%.

Para 1968 se optó por cambiar la fórmula a una del tipo 20-7-12 con 3% de boro y 1,2% de magnesio. La aplicación siempre fue hecha en la misma época y en las mismas dosis.

4.3- Producciones obtenidas

Para dar una idea del estado de producción de las parcelas donde se localizó el ensayo, se dan a continuación los datos de cosecha del cafetal desde 1965 hasta 1968 inclusive.

* Bajo registro de Plant Protection Limited, Inglaterra.

Cosecha	Producción en Kg/Ha
1965-66	3437
1966-67	6134
1967-68	8839
1968-69	6277

5. Experimentación

5.1- Fuentes de boro usadas.

Los compuestos y niveles de boro usados en el ensayo para los tratamientos al suelo y atomización fueron los siguientes:

Bórax: es el tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) que contiene aproximadamente un 11,36% de boro elemental.

Polyboro: es el nombre comercial de un borato de sodio fácilmente soluble ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$) que contiene un 66,2% de trióxido de boro (B_2O_3).

Rasorita anhidra: es un borato de sodio concentrado que contiene 65% de trióxido de boro (B_2O_3). Tiene poca solubilidad y es principalmente para aplicaciones al suelo.

Vidrio Friteado: ("Fritted trace elements") es un boro-silicato con un 8% de B elemental, producto de la casa Ferro (Holland) N.V. cuyo principal característica es su lenta disponibilidad, lo que le hace ideal para aplicarlo al suelo.

En los Cuadros 3 y 4 aparecen las fuentes y dosis que se emplearon en el ensayo.

CUADRO 3. Fuentes y niveles de boro utilizados en el ensayo y en forma de aplicación al suelo

Fuente	Nivel en g de B elemental	Gramos del producto por parcela de 6 árboles.	Gramos del producto por árbol
Bórax	5	264,00	44,00
	10	528,00	88,00
Polyboro	5	146,34	24,39
	10	292,68	48,78
Rasorita	5	148,50	24,75
	10	297,00	49,50
Vidrio Friteado	5	375,00	62,50
	10	750,00	125,00

CUADRO 4. Fuentes y niveles de boro usados en los tratamientos de
 aspersión al follaje

FUENTE	Gramos de Boro elemental por litro	Gramos del producto por litro	Gramos del producto por galón	Libras del producto por 100 galones de agua
Bórax	0,4	3,52	13,30	2,89
Polyboro	0,4	1,95	7,37	1,60

5.2- Combinación de tratamientos.

Los tratamientos fueron los siguientes:

Tratamientos	B elemental aplicado
1. Bórax	5 g al suelo
2. Bórax	10 g al suelo
3. Bórax	0,4 g por litro para aspersión
4. Polyboro	5 g al suelo
5. Polyboro	10 g al suelo
6. Polyboro	0,4 g por litro para aspersión
7. Rasorita	5 g al suelo
8. Rasorita	10 g al suelo
9. Vidrio Friteado	5 g al suelo
10. Vidrio Friteado	10 g al suelo

5.3- Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y 6 plantas efectivas por parcela. Las plantas para cada tratamiento fueron 24 y el total de plantas en el ensayo fue de 240. La separación entre tratamientos quedó de 3 varas y entre repeticiones de 6 varas.

5.4- Aplicación de los tratamientos

El día 30 de setiembre de 1968 se procedió a tomar una muestra inicial para cada tratamiento, lo que permitió conocer la concentración de boro en los árboles antes de aplicar los tratamientos.

La aplicación al suelo se hizo el 9 de octubre en una banda de aproximadamente 20 cm de ancho a una distancia de unos 15 cm del tronco de cada árbol. La aspersión se hizo el día siguiente por la mañana, usando una bomba de hombro de 4 galones de capacidad.

El agua para la aspersión fue de grifo y se necesitó aproximadamente un litro para mojar completamente cada árbol.

En el momento de la aplicación se colocaron unos sacos debajo de la gotera del árbol para evitar contaminación del suelo evitando así cualquier absorción por las raíces superficiales. Como adherente se usó "Pegafix" a base de un polímero. El ensayo duró 121 días.

5.5- Tamaño y frecuencia de muestreo.

El criterio seguido en este ensayo para la toma de muestras fue propuesto por Müller (42).

Se basa en evaluar las diferencias entre el contenido de las hojas jóvenes y viejas. Esa diferencia forma así una gradiente que según su magnitud da idea del estado nutricional de la planta.

En total se hicieron 8 muestreos. Los primeros tres muestreos se efectuaron cada 8 días, los otros tres siguientes cada 15 días, y los últimos dos cada 26 días.

Se tomaron 3 hojas por árbol correspondientes al 4to par y dos hojas por árbol del crecimiento anterior, de tal manera que el tamaño de la muestra para cada tratamiento fue de

18 hojas en el primer caso, y de 12 para las hojas viejas. Este tamaño de la muestra ha sido usada con éxito por varios investigadores (34, 35, 74).

Como criterio para designar el 4to par se tomó como el primer par las hojas recientemente formadas, con por lo menos 5 cm de largo (28). La concentración de elementos nutritivos en el cuarto par es relativamente constante como ha sido comprobado anteriormente (12).

5.6- Análisis estadístico

Las informaciones obtenidas en este experimento fueron estadísticamente analizadas. La técnica utilizada fue el del análisis funcional de la variancia, descomponiendo en grados de libertad individuales el componente principal de la suma de cuadrados de tratamientos.

Cabe recordar que el experimento básicamente siguió el modelo de bloques al azar, pero la toma de muestra en diferentes épocas generó automáticamente una subdivisión de la parcela en el tiempo, dando así tres componentes adicionales a la suma de cuadrados total que son: la respuesta al tiempo de muestreo, interacción tratamiento por tiempo y un error (b) del tipo muestral. Mas detalles del análisis se darán en el capítulo de resultados.

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el estudio.

1. Análisis y observaciones preliminares

En primer lugar se discutirán los valores del contenido inicial del boro en el cuarto par de las hojas de las plantas utilizadas. A semejanza de un ensayo de uniformidad esto da cierta información acerca de la variabilidad natural del contenido de boro en los cafetos que crecieron en el lugar de la experimentación.

En el Cuadro 5 se puede observar que las parcelas fueron muy uniformes en su contenido de boro, tanto en el cuarto par como en la hoja vieja; por tal razón toda variación posterior a la aplicación de tratamientos es debida exclusivamente a los diversos efectos de los mismos.

Es de observar también que el contenido de boro de las hojas del crecimiento anterior es mayor que el de las hojas del cuarto par. Este hecho concuerda con la expectación teórica que el boro se acumula en las porciones viejas de las plantas debido a que no se traslada fácilmente en la planta una vez acumulado.

De los datos presentados en el Cuadro 6 se deriva que el predio utilizado para el ensayo demostró una gran uniformidad en cuanto al total de las parcelas, a las cuales se asignaron previamente los tratamientos. Los resultados sugieren que un análisis de variancia simple de los resultados experimentales de la

aplicación de boro es suficiente, sin necesidad de calibrar el efecto de tratamientos, utilizando como covariable el contenido inicial de boro. Por otro lado no se detectaron diferencias significativas entre los bloques utilizados en el diseño de bloques al azar. Esto implica que el criterio utilizado en la formación de los bloques ayudó muy poco a controlar la heterogeneidad del suelo, ya que el campo experimental parece ser bastante uniforme.

Antes de discutir los resultados experimentales cabe mencionar que paralelamente al ensayo se llevaron a cabo algunas observaciones complementarias acerca del comportamiento del boro en la planta sin tratamiento (testigo). El efecto del tiempo no modificó mayormente el contenido de boro inicial, tanto en el cuarto par como en el crecimiento anterior (véase Apéndice).

También se da la variación del contenido de boro de la hoja según su posición en la bandola, tanto en el tratamiento testigo (sin boro) como en el tratamiento de dosis máxima (10 g de B) a base de bórax. El resultado después de 143 días de su aplicación al suelo aparece en la Figura 3.

2. Análisis e interpretación de los resultados experimentales.

2.1- Variación del boro en las hojas del cuarto par.

En los Cuadros 7 y 8 se presentan la tabla de promedios y los resultados del análisis funcional de la variancia respectivamente. Es evidente que existe una respuesta diferencial del cafeto a los tratamientos.

CUADRO 5. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del cuarto par y de hojas viejas antes de aplicarse los tratamientos.

4° Par						
Tratamientos	I	II	III	IV	Total	Promedio
1	49,50	45,50	50,00	45,50	190,50	47,63
2	44,00	33,00	47,00	42,50	166,50	41,63
3	42,50	42,00	55,00	39,00	178,50	44,63
4	35,00	34,00	45,50	34,00	148,50	37,13
5	43,50	33,00	42,50	40,00	159,00	39,88
6	40,00	41,00	51,00	40,00	172,00	43,00
7	47,50	47,50	39,00	46,00	180,00	45,00
8	41,00	45,50	40,00	54,00	180,50	45,13
9	36,50	40,00	37,50	48,50	162,50	40,63
10	50,00	40,00	37,50	47,50	175,00	43,75
Total	429,50	401,50	445,00	437,00	1713,00	
Promedio	42,95	40,15	44,50	43,70		

Crecimiento anterior						
Tratamientos	I	II	III	IV	Total	Promedio
1	36,50	49,50	80,00	57,00	223,00	55,75
2	46,00	58,00	51,50	45,00	249,50	50,13
3	56,50	65,00	55,00	34,00	210,50	52,63
4	51,50	50,50	51,50	45,50	208,00	52,00

CUADRO 5 Continuado...

Tratamientos	Crecimiento anterior				Total	Promedio
	I	II	III	IV		
5	50,00	60,00	52,50	33,00	195,50	48,88
6	42,00	57,00	58,00	47,50	204,50	51,13
7	60,00	51,50	49,50	60,00	221,00	55,25
8	60,00	55,00	58,00	50,00	223,00	55,75
9	51,50	62,00	51,50	45,00	210,00	52,50
10	80,00	50,00	55,00	47,50	232,50	58,13
Total	534,00	567,50	562,50	464,50	2128,50	
Promedio	53,40	56,75	56,25	46,45		

CUADRO 6 Análisis de variancia del contenido inicial de boro en las hojas del cuarto par y del crecimiento anterior

Fuente de variación	g.L	4° par	Crecimiento anterior
		C.M	C.M
Repetición	3	35,81 NS	225,02 NS
Parcelas que recibirían el mismo tratamiento	9	37,96 NS	33,86 NS
Error	27	29,10	95,71
Total	39		

NS = Indica que no se detectaron diferencias al 5% de probabilidad.

Del Cuadro 8 se deduce que existe una diferencia altamente significativa ($P < 0,01$) entre los efectos de fuentes de boro soluble y no soluble. En contenido de boro, en promedio, tiende a ser mayor en las plantas que recibieron los tratamientos con fuentes de boro poco solubles.

En la comparación de los efectos de las diferentes combinaciones de tratamientos de boro soluble, también se detectaron diferencias grandes ($P < 0,01$). A juzgar por los varios componentes de las comparaciones resalta la diferencia, debido a aplicaciones al suelo versus aplicaciones por aspersion, obteniéndose un mejor efecto con las aplicaciones al suelo.

Cabe notar el peligro de una interpretación puramente estadística ya que fisiológicamente el efecto de los dos métodos no son comparables. Esto se debe a que se analizaron al comienzo las hojas del cuarto par que recibieron aspersion, pero en los muestreos sucesivos llegó un momento en que por el crecimiento del lateral el cuarto par muestreado ya no había recibido dicha atomización. Cualquier variación de su contenido sobre el nivel del testigo se debía exclusivamente al traslado desde las hojas atomizadas (más viejas), traslado que no es muy eficiente.

Contrastando el efecto de las dos fuentes de boro soluble (bórax y polyboro) aplicado en aspersion, no se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre ambas. Igualmente, al ser aplicadas al suelo, las mismas fuentes no produjeron ninguna respuesta diferencial de consideración.

CUADRO 7. Contenido promedio de boro (ppm) en las hojas del cuarto par, clasificado por tratamientos y tiempo de muestreo.

Tratamientos	Tiempo de Muestreo							Promedio	
	Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero
	17	25	2	16	30	13	10		7
1	47,75	63,75	77,50	104,25	121,50	104,62	94,87	93,75	88,50
2	49,87	75,25	104,00	124,50	141,00	140,62	144,50	163,75	117,93
3	59,62	82,25	84,50	112,12	87,75	81,25	62,75	51,00	77,65
4	47,50	55,50	81,50	100,87	102,75	103,50	87,37	97,12	84,51
5	49,87	81,75	111,25	122,25	131,62	138,87	136,50	150,27	115,31
6	58,25	76,00	79,75	91,00	75,75	74,50	63,37	61,50	72,51
7	44,62	64,50	79,50	108,00	110,62	117,25	101,62	96,50	90,32
8	49,12	82,87	100,12	126,37	133,12	147,37	126,37	156,25	115,20
9	42,12	64,50	79,12	108,25	115,75	100,50	115,50	130,87	94,37
10	42,62	71,25	97,12	123,37	133,50	132,75	128,56	158,50	110,96
Promedio	49,13	71,76	89,83	112,10	115,33	114,12	106,14	115,96	30960,25

CUADRO 8. Análisis de variancia de los efectos de tratamientos y tiempo de muestreo sobre el contenido de boro en la hoja del cuarto par.

Fuente de variación	G.L	S C	C.M.
Bloques	3	7230,26	2410,08 *
Tratamiento	9	81648,68	9072,07 **
Solubles <u>vs</u> poco solubles	1	7723,06	7723,06 **
<u>Entre solubles</u>	5	59731,02	11946,20 **
Aplicación al suelo <u>vs</u> Aspersión	1	29918,51	29918,51 **
Bórax por aspersión <u>vs</u> Polyboro por aspersión	1	422,81	422,81 NS
Bórax al suelo <u>vs</u> Polyboro al suelo	1	349,47	349,47 NS
Niveles al suelo	1	29025,44	29025,44 **
Int. Fuentes apl. al suelo x Niveles al suelo	1	14,78	14,78 NS
<u>Entre poco solubles</u>	3	14194,59	4731,53 **

CUADRO 8. Continuado...

Fuente de variación	G.L	SC	C.M.
Rasorita vs Vidrio			
Friteado	1	0,00	0,00 NS
Niveles poco solubles	1	13617,66	13617,66 **
Int. Poco solubles x			
Niveles al suelo	1	576,93	576,93 NS
Error (a)	27	19190,63	710,76 NS
Tiempo de muestreo	7	171406,76	24486,68 **
Efectivo lineal			
de tiempo	1	92536,44	92536,44 **
Efecto cuadrático			
de tiempo	1	54062,33	54062,33 **
Desviación	5	24807,99	4961,59 **
Int. Tiempo de muestreo x Tratamiento	63	65649,58	1042,06 **
Error (b)	210	36146,90	173,41
Total	319	381498,19	

* Indica significancia al nivel de 5% ** Indica significancia al nivel de 1%

NS Indica no significancia al nivel de 5%

El efecto de dosis de boro aplicado al suelo tuvo una influencia preponderante en el incremento de boro en las hojas del cafeto. El nivel de aplicación de 10 g de boro elemental fue significativamente ($P < 0,01$) mas eficaz que el de 5 g. Al parecer, ambos niveles de las dos fuentes aplicados al suelo respondieron con una tendencia bastante similar. En otras palabras la interacción niveles-fuentes de aplicación al suelo no mostró diferencia estadísticamente detectable al nivel de 5% de probabilidad.

Pasando ahora al análisis de los tratamientos de boro no soluble se puede apreciar en el Cuadro 8 una diferencia altamente significativa ($P < 0,01$) en el efecto de los tratamientos aplicados al suelo. La comparación de las dos fuentes de boro de escasa solubilidad como la rasorita y el vidrio friteado parecen comportarse de la misma manera ($P > 0,05$).

Sin embargo, se detectaron diferencias altamente significativas en el efecto diferencial de los dos niveles ($P < 0,01$) indicando que la dosis más alta, 10 g por planta, tuvo un efecto mas marcado sobre el aumento de boro en las hojas del cuarto par. Las dos fuentes de boro de baja solubilidad se comportaron similar respecto a los niveles de aplicación de los mismos, a juzgar por la interacción no significativa ($P > 0,05$).

Seguidamente se consideró el efecto del tiempo del muestreo sobre el contenido del boro en las hojas. Como es de esperarse el contenido de boro en las hojas del cuarto par sube rápidamente hasta cierto punto para luego declinar también rápidamente, estos dos componentes de la curva de respuestas están indicados por el efecto lineal y cuadrático del tiempo dado en el Cuadro 8.

Aunque la función no es estrictamente cuadrática, puesto que el otro componente de la tendencia de la curva que es la desviación de los dos efectos mencionados es todavía significativa, esto sugeriría que otras funciones fuera del segundo grado podrían dar un mejor aporte. Sin embargo, los componentes lineales y cuadráticos demuestran una magnitud de considerable importancia. Por esta razón se ajustó solamente la curva de segundo grado que satisface plenamente nuestro propósito.

En la Figura 1 se describe la curva de segundo grado calculado para las hojas del cuarto par indicando el comportamiento del boro en el transcurso del tiempo. Asimismo se presenta la curva media proveniente de la parcela observacional sin ningún tratamiento. Esta curva es prácticamente constante durante el tiempo de observación.

De la curva teórica se deriva que el boro aumentó en las hojas en la proporción de 1,80 ppm/día y declinó con una velocidad de -0,0108 ppm/día.

La curva de respuesta alcanzó su máximo en el punto $\frac{dy}{dx} = 0$ que fue a los 83 días para luego declinar constantemente hasta el final del período de muestreo.

En la interpretación de los resultados se hizo mucho énfasis en la comparación de los efectos principales de tratamientos, aunque la interacción tratamiento x tiempo fue también significativa; de cualquier manera parecen ser tan fuertes los efectos principales que resaltan por encima de los efectos de la interacción.

En este experimento la interacción tiene una explicación bien sencilla y clara, que se fundamenta en que los dos tratamientos aplicados en aspersión produjeron una respuesta rápida en las plantas respecto al incremento del boro foliar. Por otra parte, esta respuesta casi instantánea se balanceó por un rápido decaimiento del contenido de boro en el transcurso del tiempo. Mientras los tratamientos aplicados al suelo dispensan un abastecimiento casi sostenido y continuo del boro. Este hecho se refleja en un franco incremento del contenido del boro en la hoja, aunque en menor proporción en las fuentes solubles y un aumento continuado del efecto de la fuente de boro poco soluble.

Respecto a la precisión del experimento se puede afirmar que fue bastante satisfactoria, con un coeficiente de variación de 27% para los tratamientos en las parcelas y un coeficiente de variación del 14% para las de sub parcelas o subdivisión de la parcela en el tiempo.

2.2- Variación del boro en las hojas del crecimiento anterior

En los Cuadros 9 y 10 se detallan los promedios de los datos analíticos y los resultados del cálculo estadístico respectivamente.

En la comparación de todas las combinaciones de tratamientos se detectaron diferencias significativas al 5%. Sin embargo, al observar individualmente los varios efectos no se encontraron diferencias de consideración entre los varios componentes, indicando una menor sensibilidad las hojas del crecimiento anterior a la

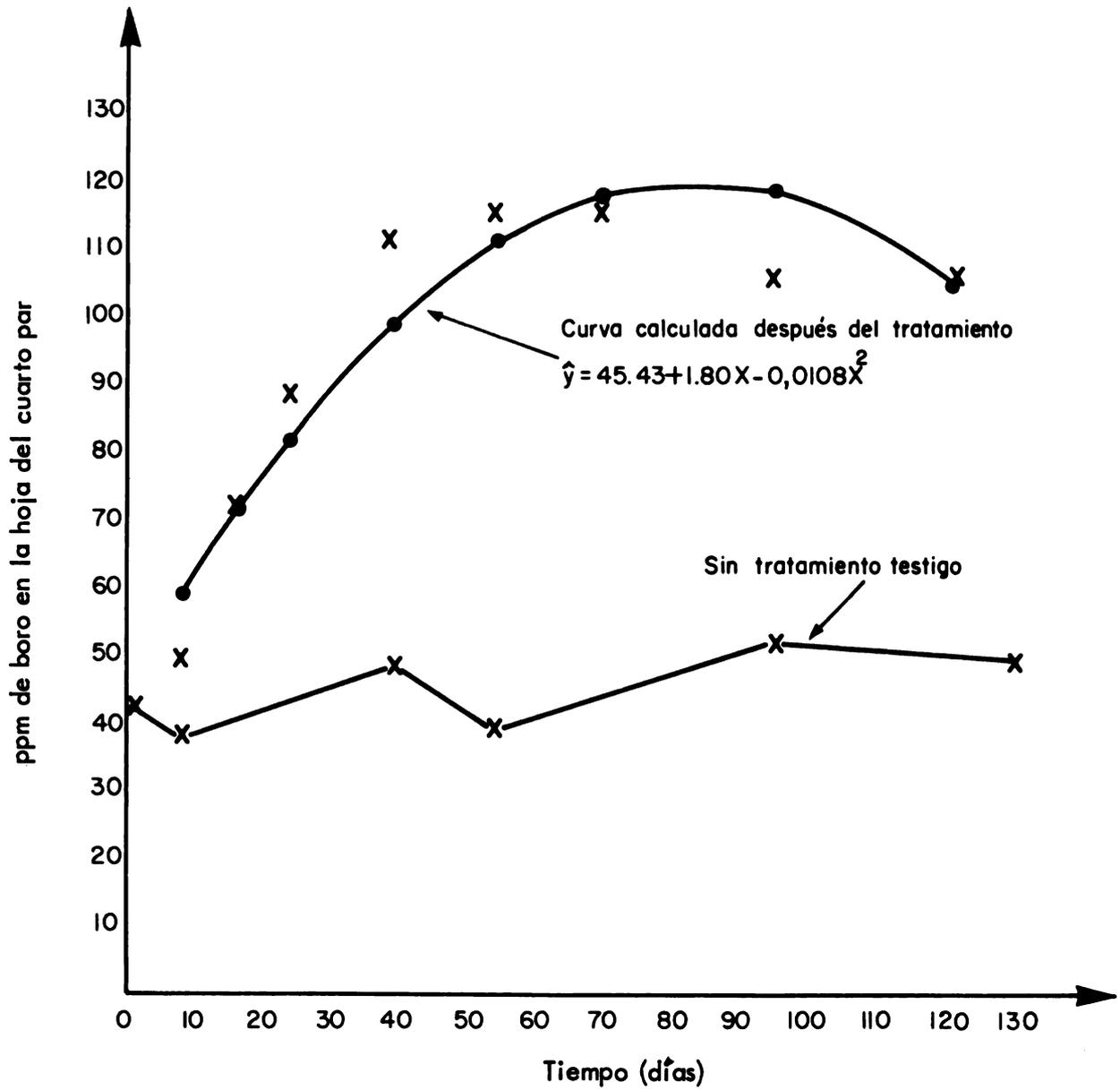


Fig. 1. Influencia del tiempo sobre el contenido de boro en hojas del cuarto par.

aplicación de boro en cualquiera de las formas, niveles y fuentes de aplicación.

El efecto diferencial de las fuentes de boro solubles y poco solubles parece ser imperceptible en este experimento ($P > 0,05$).

La comparación de los efectos de los diferentes combinaciones de los tratamientos de fuentes solubles no mostró ninguna diferencia de importancia a juzgar por los varios componentes en que fueron desglosados aquellos. Esto implica que las hojas viejas fueron menos sensibles que las del cuarto par en permitir detectar cambios, bien por aplicación al suelo de las fuentes solubles o por atomización. Tampoco fue posible detectar diferencias entre las dos fuentes solubles ni entre los dos niveles de aplicación al suelo.

Las dos fuentes de boro soluble respondieron en una forma muy semejante para ambos niveles a juzgar por la interacción no significativa ($P > 0,05$) entre las dos fuentes y los dos niveles de boro.

Por otra parte, el análisis de los tratamientos de fuentes poco solubles aplicados al suelo mostró tener efecto diferencial ($P < 0,05$). La comparación de las dos fuentes de boro de escasa solubilidad como la rasorita y el vidrio friteado, permitió concluir un comportamiento en forma muy similar ($P > 0,05$) como puede apreciarse la similitud de sus promedios en el Cuadro 9.

En forma análoga se detectaron diferencias altamente significativas en el efecto diferencial de los dos niveles ($P < 0,01$) indicando que la dosis más alta, 10 g de boro elemental por planta, tuvo efecto más marcado sobre el mayor contenido de boro en la hoja

CUADRO 9. Contenido promedio de boro (ppm) en las hojas de crecimiento anterior clasificado por tratamiento y tiempo de muestreo.

Tratamientos	Tiempo de muestreo							Pro-medios	
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero				
	17 25	2 16	30 13	10	7				
1	67,50	91,50	110,62	121,75	126,37	114,37	106,87	105,37	105,54
2	65,75	82,25	130,50	128,62	141,00	118,50	134,25	139,87	117,59
3	105,25	113,00	140,62	126,75	124,50	125,62	91,87	87,00	114,32
4	61,60	81,00	107,62	123,37	120,75	128,62	108,00	105,00	104,42
5	76,25	89,00	137,25	131,62	138,37	132,00	136,50	148,12	123,64
6	97,00	114,75	110,62	121,87	116,62	87,75	90,37	74,25	101,65
7	81,00	88,62	101,87	112,62	109,12	109,00	114,00	101,62	102,23
8	95,62	104,25	123,62	145,87	140,62	139,87	134,25	141,75	128,23
9	82,87	100,62	100,37	115,87	117,00	98,25	96,75	119,62	103,92
10	86,25	94,37	102,75	124,87	138,75	126,37	142,87	131,25	118,43
Promedios	81,85	95,93	116,93	125,32	126,31	118,03	115,57	115,38	35840,50

CUADRO 10. Análisis de variancia de los efectos de tratamientos y tiempos de muestreo sobre el contenido de boro en la hoja del crecimiento anterior.

Fuente de variación	G.L	SC	C.M.
Bloques	3	5069,98	1689,99 NS
Tratamiento	9	27004,74	3000,52**
Solubles <u>vs</u> poco solubles	1	310,00	310,00 NS
<u>Entre solubles</u>	5	11981,38	2396,27 NS
Aplicación al suelo <u>vs</u> Aspersión	1		986,55 NS
Bórax por aspersión <u>vs</u> Polyboro	1		2569,22 NS
Bórea al suelo <u>vs</u> Polyboro al suelo	1		193,80 NS
Niveles al suelo	1		7820,32 NS
Int. Fuentes apl. al suelo x Niveles al suelo	1		411,48 NS

CUADRO 10. Continuación...

Fuente de variación	G.L	SC	C.M
<u>Entre poco solubles</u>	3	14713,35	4904,45 *
<u>Rasorita vs-Vidrio</u>			
Friteado	1	526,10	526,10 NS
Niveles poco solubles		13132,13	13132,13 **
<u>Int. poco solubles x</u>			
Niveles al suelo	1	1055,12	1055,12 NS
Error (a)	27	29424,43	1089,79 NS
<u>Tiempo de muestreo</u>	7	66432,28	9490,32 **
<u>Efecto lineal de</u>			
tiempo	1	16291,38	16291,38 **
<u>Efecto cuadrático</u>			
de tiempo	1	31472,70	31472,70 **
Desviación	5	18568,20	3713,64 **
<u>Int. Tiempo de muestreo x</u>			
tratamiento	63	6076,60	96,45 NS
Error (b)	210	63426,00	302,02 NS
Total	319	229508,75	

* Indica significancia al nivel de 5% ** Indica significancia al nivel de 1%

NS Indica no significancia al nivel de 5%

del crecimiento anterior. Las dos fuentes de boro de escasa solubilidad se comportaron en manera igual respecto a los niveles de aplicación de los mismos como indica la interacción correspondiente ($P > 0,05$).

Igualmente se consideró el efecto del tiempo de muestreo sobre el contenido de boro en las hojas viejas. Como era de esperarse al principio el contenido de boro en la hoja del crecimiento anterior subió rápidamente hasta alcanzar un punto máximo para luego declinar. Estos dos componentes de la curva de respuesta están indicados por los efectos lineal y cuadrático del tiempo según aparecen en el Cuadro 10. Como se puede ver en este Cuadro, la función no es estrictamente cuadrática ya que el otro componente de la tendencia de la curva, como es la desviación de los dos efectos mencionados, permanece aún significativa, sugiriendo que otras funciones fuera del segundo grado podrían dar mejor ajuste. Sin embargo, los componentes lineales y cuadráticos demuestran una magnitud considerable y por tal razón la curva de segundo grado llena nuestro propósito.

El efecto de los tratamientos sugiere las mismas tendencias en el transcurso del tiempo de muestreo. Este hecho está comprobado por la no significancia ($P > 0,05$) de la interacción entre dichos factores.

En la Figura 2 se describe la curva de segundo grado calculada para las hojas de crecimiento anterior lo que indica el comportamiento del boro en el transcurso del tiempo. Por otra parte, se presenta la curva media proveniente de la parcela de observación, sin tratamiento (sin boro). Esta curva sufrió muy poca variación a través del tiempo que duró el experimento.

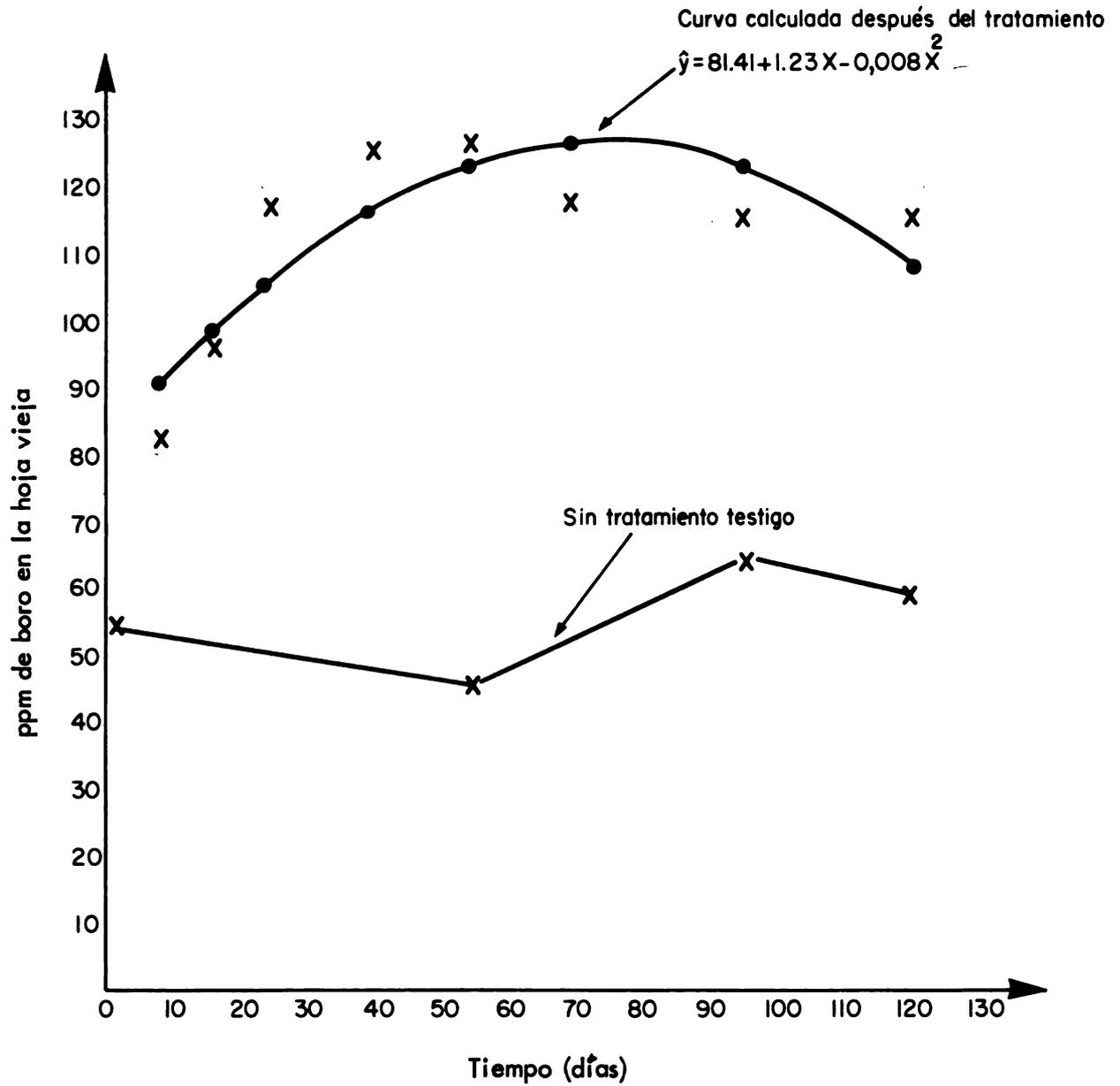


Fig. 2. Influencia del tiempo sobre el contenido de boro en la hoja vieja.

De la curva teórica se deriva que el boro aumentó en las hojas viejas en la proporción de 1,23 ppm por día y declinó con una velocidad de -0,008 ppm por día. La curva de respuesta alcanzó su máxima en el punto $\frac{dy}{dx} = 0$ que fue a los 77 días para declinar luego hasta el final del período de muestreo.

Respecto a la precisión del experimento se puede afirmar que fue bastante aceptable con un coeficiente de variación de 29% para los tratamientos en las parcelas y un coeficiente de variación de 16% para la subdivisión de la parcela en el tiempo.

3. Variación del contenido de boro en la hoja según su posición en la bandola

En el Cuadro 11 se puede observar que el contenido de boro aumentó con la edad de la hoja y con la dosis aplicada al suelo. El promedio más bajo en ambos tratamientos fue para el 1° y 2° par de hojas. Se notó un contenido relativamente constante entre el 3° y 7° par para el tratamiento sin boro con un aumento considerable del 7° par en adelante. El tratamiento de 10 g de boro elemental al suelo mostró un mayor contenido de boro entre el 3° y 6° par para mostrarse relativamente constante entre el 7° y 13° par y caer ligeramente en los pares 14° y 15°. En la Figura 3 están representados los datos gráficamente.

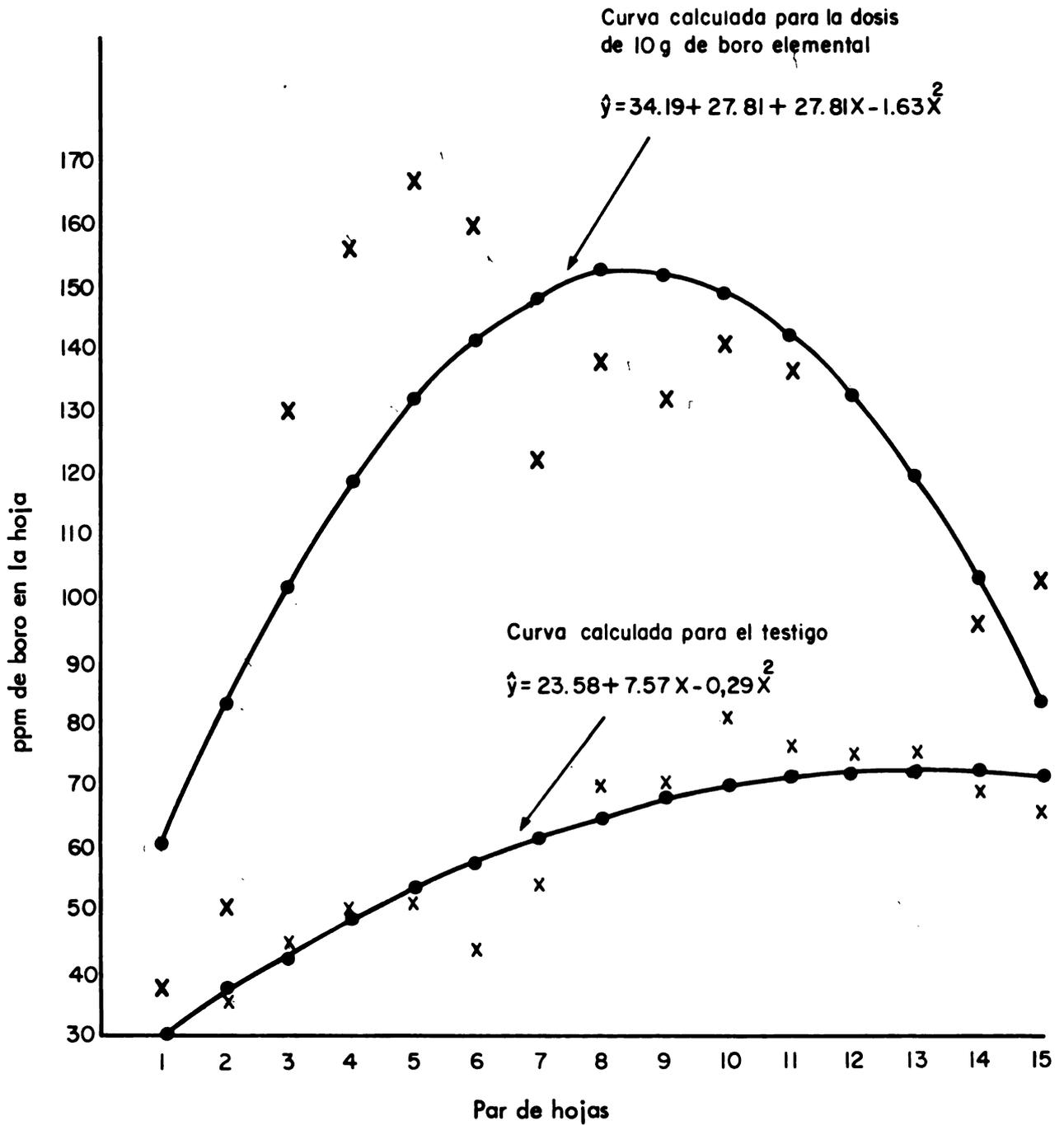


Fig. 3. Variación en el contenido de boro según la localización de la hoja en la bandola.

CUADRO 11. Contenido de boro (ppm) en el tratamiento testigo (sin boro) y la dosis máxima de bórax aplicado al suelo después de 143 días

Pares de hojas	Sin tratamiento (testigo)	10 g de B
1°	37,00	37,50
2°	36,00	51,00
3°	45,50	130,50
4°	50,50	156,00
5°	51,00	168,00
6°	43,50	160,50
7°	54,00	120,00
8°	70,50	138,00
9°	70,50	132,00
10°	81,00	141,00
11°	76,50	136,50
12°	75,00	132,00
13°	75,00	120,00
14°	69,00	96,00
15°	66,00	103,50
	<hr/>	<hr/>
	Σ 60,07	Σ 121,50

DISCUSION

El contenido de boro en los cafetos demostró tener una gran variabilidad según edad del tejido, efectos de los tratamientos, tiempo, etc.

1. El contenido inicial del boro

El resultado del experimento preliminar de uniformidad demostró evidentemente que el cafetal bajo estudio está en un predio esencialmente deficiente en boro. El contenido inicial de boro en las hojas del cuarto par fue en promedio alrededor de 42 ppm y en las hojas de crecimiento anterior la media fue de 54 ppm. El límite de normalidad establecido por Müller (41) está entre 60 y 100 ppm de boro en las hojas adultas.

El boro es un elemento que se acumula y persiste en los tejidos de edad más avanzada (15, 26, 37, 40, 41, 57). Este hecho está confirmado por las cifras dadas arriba. Tomando el contenido de 42 ppm como referencia (100%) resulta para el crecimiento anterior un aumento de 29%. Esta hoja vieja, aún en condiciones de deficiencia, acumula más boro que las hojas del cuarto par; quizás esto se deba a la relativa baja movilidad que tiene el boro en la planta (16).

2. Efecto del tratamiento sobre el contenido de boro en el cuarto par

En general el cuarto par de hojas resultó ser el más apropiado para la interpretación de los resultados obtenidos. Así demostró un mayor poder discriminativo para fuentes, niveles y formas de aplicación.

El efecto fuentes de boro soluble parece ser en promedio inferior al efecto de los poco solubles. Este hecho se explica por la absorción inmediata del boro disponible en las fuentes de este nutriente en forma soluble, mientras que en el de fuente poco soluble no se espera una respuesta inmediata, sino más bien una lenta pero sostenida en el transcurso del tiempo. Un aumento considerable en la concentración se notó a los 15 días, lo que puede atribuirse a un buen contenido de humedad del suelo (33, 75).

Estos resultados difieren un poco de los encontrados por Pérez, Chaverri y Bornemisza (59) que, trabajando en la meseta central de Costa Rica durante una época de sequía definida, encontraron un aumento en la concentración foliar solamente después de transcurridas seis semanas de haberse aplicado el fertilizante boratado al suelo.

Las formas de aplicación demuestran también tener efecto diferencial, favoreciendo a lo largo el boro aplicado al suelo. La explicación de este hecho se puede enfocar desde dos puntos de vista. En primer lugar la respuesta a la aspersion era casi instantánea, con un contenido de boro superior al inicial ya a partir de los ocho días. Sin embargo, se encontró luego una declinación rápida mientras que el boro aplicado al suelo produjo un efecto sobre el contenido foliar solamente a partir de los 15 días, o sea que el efecto era retardado; pero resultó ser más prolongado, lo que significa que desde el punto de vista práctico sería más favorable la aplicación al suelo.

Una absorción rápida que puede comenzar a los 8 días con un buen contenido de humedad del suelo fue también reportado por Müller (43).

El segundo punto concierne a cierta falacia de la comparación entre tratamientos. Al muestrear hojas del cuarto par, éstas al comienzo fueron hojas que recibieron aspersion pero en el transcurso del tiempo, o sea al producirse nuevo crecimiento, se tomaron como el cuarto par hojas que no habían sido atomizadas con boro. Como el traslado de este elemento es muy deficiente desde el crecimiento viejo a las partes jóvenes (41) era de esperar encontrar un descenso rápido de la concentración foliar al muestrear hojas no incluidos en la atomización inicial.

En efecto, en el 7° y 8° muestreo, se notó casi un completo decaimiento del efecto, encontrándose en las hojas analizadas un contenido similar al que tenían las hojas al iniciarse el experimento. Al mismo tiempo se vió la persistencia de efecto del boro aplicado al suelo a través de un contenido foliar elevado.

Respecto a las dos fuentes solubles aplicadas, tanto al suelo como en atomización, no existe evidencia del efecto diferencial. Esto nos indica que puede usarse tanto bórax como polyboro debido a su comportamiento parecido.

Las dosis más altas de aplicación del boro de cualquiera de las formas, muy soluble y poco soluble, o sea el nivel de 10 g de boro elemental por árbol, incrementaron en mayor proporción el contenido de boro foliar que las dosis bajas. La diferencia máxima encontrada fue un aumento de 35%. Tal incremento llegó a inducir ya síntomas de toxicidad para este nivel. Este efecto se hizo más pronunciado en los últimos muestreos con el bórax aplicado al suelo. Los síntomas observados fueron pecas de color café distribuidos en toda la hoja que coinciden a los descritos por otros autores (58).

Tal toxicidad parece estar ligada a un contenido por encima de 150 ppm. Esto difiere del límite de 200 ppm establecido por otros autores (12, 57, 59) y coincide a lo estipulado por Müller (40, 43).

Probablemente la toxicidad en hojas no muy viejas se debió a una eficiente absorción de boro en condiciones de muy poca sombra debido a una poda fuerte de los árboles de sombra hecha en el mes de enero.

Entre las dos fuentes de boro poco soluble aplicadas al suelo no se observaron efectos diferenciales y similarmente a las fuentes de boro soluble, solamente se detectó el mayor incremento del boro foliar a la aplicación de 10 g de boro elemental. Un aspecto digno de destacar es la persistencia del material vidrio friteado, pues después de los 120 días, fecha del último muestreo, todavía era visible parte del material aplicado en las parcelas que recibieron este tratamiento. Como consecuencia podría esperarse que si el efecto predomina aún más tiempo, podría notarse en las condiciones del experimento un contenido más elevado por mayor tiempo que en los demás tratamientos.

En general, el contenido de boro en las hojas del cuarto par subió por efecto de la aplicación al suelo hasta los 120 días, mientras que con la aspersion declinó rápidamente después de alcanzar su máximo aproximadamente a los 40 días.

Esto permite ver que el boro en el cuarto par subió hasta los 70 a 80 días de aplicación para luego disminuir paulatinamente. Por tanto esta observación da una idea más clara que la frecuencia de fertilización con boro, la que debe ser probablemente de 2 a 3

veces al año si la aplicación es al suelo y quizá unas 4 ó más si se aplica por atomización para mantener el contenido foliar más o menos uniforme a través del año en las condiciones en las cuales se llevó a cabo el experimento.

3. Efecto del tratamiento sobre el contenido de boro en el crecimiento anterior

Se puede observar que la hoja vieja o de crecimiento anterior fue menos apropiada para detectar diferencias entre las distintas fuentes que se utilizaron en el ensayo, o sea con respecto a su solubilidad. Tampoco fue posible determinar la ventaja de la atomización foliar sobre la aplicación al suelo. En general puede decirse que la aspersión tenía un efecto más duradero en las hojas viejas que en las del cuarto par, manteniéndose al final del último muestreo o sea a los 120 días por encima del nivel original. Respecto a los niveles de los materiales solubles fue evidente la ventaja de usar la dosis de 10 g de boro elemental por planta, lo que mantuvo un contenido promedio de boro superior a través del tiempo en relación al nivel de 5 g.

Es importante notar que las fuentes poco solubles mostraron un efecto diferencial en el contenido de boro en las hojas viejas.

Al igual que con el cuarto par fue idéntico el resultado de plicar el boro como rasorita o como vidrio friteado. Pero la diferencia fue notable con las mismas fuentes si se aplicaron 10 g de boro en lugar de 5 g, dando todavía un contenido foliar mucho mayor en el último muestreo.

Un dato curioso es que la toxicidad provocada con la dosis de 10 g no haya sido tan evidente en las hojas más viejas como cabría esperarse por la manera de su acumulación y poca movilidad de este elemento.

Este fenómeno está así en discrepancia con la literatura (12, 37, 41, 42, 43).

Probablemente se debió a que la hoja vieja debido al efecto de la poda fuerte de los árboles de sombra y de otros factores desconocidos sufrió ciertos trastornos fisiológicos que imposibilitaron una acumulación fuerte de boro en comparación con hojas más jóvenes.

Por lo general puede decirse que en este experimento no hubo problemas de la absorción de boro debido a condiciones de humedad del suelo. Al aplicarse los fertilizantes el suelo estaba con buena provisión de agua disponible y a los dos días de instalar los tratamientos hubo, aunque muy pequeña, precipitación (véase el Apéndice). Poco tiempo después ya cayó mayor precipitación, lo que permitió la disolución de los compuestos boratados solubles, manteniéndose luego el contenido de humedad del suelo en condiciones óptimas para su absorción.

4. La edad del tejido y su respuesta

El poder discriminatorio de los efectos de tratamiento se hicieron mucho más notables en las hojas del cuarto par que las de crecimiento anterior, aunque la tendencia pareciera seguir el mismo patrón. Esta aseveración está respaldada por el coeficiente de correlación entre las medias de tratamientos cuyo valor $r=0,79$ indica un alto grado de coincidencia.

Sin embargo, los efectos diferenciales de tratamientos no fueron discriminados por las hojas viejas. Cabe pensar aquí que los tejidos jóvenes muestran mayor sensibilidad al efecto diferencial de los tratamientos. Como una consecuencia inmediata de este fenómeno se deriva la importancia que tiene la selección del par de hojas que deben usarse para evaluar efectos de tratamientos con boro.

5. Variación del contenido de boro en la hoja según su posición en la bandola

Al observar el contenido de boro en la hoja según su posición en la bandola tanto en el tratamiento testigo como en el de 10 g de boro elemental al suelo se hace evidente que el boro se acumula con la edad del tejido. Este hecho ha sido comprobado por varios investigadores (15, 26, 37, 40, 41, 57).

Considerando la curva teórica de la Figura 3 se observa que el contenido de boro aumentó con la edad en la proporción de 27,81 ppm por cada par de hoja en las plantas tratadas y en la proporción de 7,57ppm por cada par de hoja en el testigo. La máxima concentración de boro se observó entre el 8° y 9° par para las plantas que recibieron 10 g de B elemental y en el 13° par en las plantas testigo.

Los datos del tratamiento de 10 g de boro elemental al suelo indican claramente un aumento marcado del boro entre los pares 3° y 6°. Este fenómeno que parece estar en discrepancia con la literatura (12, 37, 41, 42, 43) probablemente se debió a que la hoja vieja debido al efecto de la poda fuerte de los árboles de sombra y de otros factores desconocidos, sufrió trastornos fisiológicos que permitió que el boro se acumulara en mayor proporción en las hojas del cuarto par.

CONCLUSIONES

1. En general, la aplicación de boro a cafetos incrementa considerablemente el contenido de boro foliar. A través del tiempo, los productos poco solubles (rasorita y vidrio friteado) tuvieron un efecto más favorable comparado con los solubles (bórax y polyboro).
2. Evidentemente y en consonancia con la expectación teórica, la atomización surtió un efecto casi instantáneo, elevando el contenido inicial de boro significativamente; pero también su declinación fue rápida. Por otra parte, la aplicación al suelo mantuvo su efecto por más tiempo.
3. No se encontró un efecto diferencial que indique la ventaja de usar el bórax contra el polyboro ó viceversa, ya sea en aspersión o en aplicación al suelo. Del mismo modo no existe una base preferencial para escoger rasorita y vidrio friteado aunque estos últimos deben tenerse en cuenta como fuentes de abastecimiento de larga duración.
4. La dosis de 10 g de boro elemental incrementó el contenido de boro foliar hasta llegar por encima de 150 ppm, provocando síntomas visibles de toxicidad en las hojas. No se observaron dichos síntomas con el nivel de 5 g de boro elemental. La toxicidad fue detectada en las hojas del 3° al 6° par.
5. La aplicación de boro al suelo aumentó el contenido de boro que luego se mantuvo hasta los 120 días que duró el experimento. La atomización tuvo una declinación aproximadamente a los 40 días dando así una curva de absorción con un máximo que se localizó entre los 70 y 80 días.

6. En general, se encontró una acumulación del boro conforme aumentaba la edad de la hoja.
7. El cuarto par se mostró más sensible que la hoja de crecimiento anterior para evaluar los distintos tratamientos del experimento.

RESUMEN

[El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Fisiología Vegetal y terrenos experimentales del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en Turrialba, Costa Rica. *T. H. estudio* Tuvo como objetivo determinar el efecto de varias fuentes y niveles de boro aplicado al suelo y al follaje.

Los fertilizantes que se usaron en el experimento fueron: bórax y polyboro como fuentes rápidamente solubles, rasorita y vidrio fritado, cuya característica principal es su lenta solubilidad.

Los niveles utilizados para la aplicación al suelo fueron 5 y 10 g de boro elemental por planta. La aspersion fue hecha solamente con bórax y polyboro en la dosis de 0,4 g de boro elemental por litro. Todos los tratamientos fueron aplicados en una sola vez al comenzar el ensayo.

Los resultados indicaron que se puede elevar considerablemente el contenido de boro en la hoja del cafeto con cualquiera de las fuentes, cuando haya un contenido de humedad adecuado en el suelo que permita su aprovechamiento por la planta.

Fue evidente el aumento del contenido de boro en la hoja por medio de la atomización pero su efecto duró poco tiempo en relación a los resultados logrados mediante la aplicación al suelo.

Se observó un efecto más marcado de la dosis de 10 g de boro elemental elevando el contenido de boro foliar por encima de 150 ppm lo que provocó síntomas de toxicidad en las hojas del cuarto par.

SUMMARY

A research program designed to determine the effect of several sources of boron, applied to the soil or to the leaves of coffee plants, was carried out at the plant physiology laboratory and experimental fields of the IICA at Turrialba, Costa Rica.

The fertilizers used in these experiments were borax and polybor for the readily soluble sources, and rasorite and fritted trace elements for sources which release boron over prolonged periods.

Boron was applied directly to the soil at levels of 5 and 10 g of the calculated elemental form per plant, while the leaves were treated with applications of either borax or polybor at the level of 0.4 g per liter per plant. The boron was applied only once at the beginning of the experiment.

The experimental results showed that the boron content of coffee leaves can be increased considerable with any of the sources used, provided that the moisture content is adequate and the nature of the soil permits absorption by the plant. There was an increase in the content of the leaves noted shortly after foliar application, but the level fell off with time more rapidly than did the boron taken up from the soil applications. With a soil application of 10 g per plant, the foliar boron content rose above 150 ppm and caused the expression of toxicity symptoms at the level of the fourth pair of leaves.

LITERATURA CITADA

1. ALBERT, L. S. Ribonucleic acid content, boron deficiency symptoms, and elongation of tomato root tips. *Plant Physiology* 40(4): 649-652. 1965.
2. BATJER, L. P. y THOMPSON, A. H. Effect of boric acid spray applied during bloom upon the set of pear fruits. *American Society Horticultural Science Proceedings* 53: 141-142. 1949.
3. BERGER, K. C. y PRATT, P. F. Advances in secondary and micronutrient fertilization. In Mc Vickar, M. H., ed. *Fertilizer technology and usage*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. 1963. pp. 287-292.
4. BURGER, y TROUGHER, E. Boron test and determination for soils and plants. *Soil Science* 57: 25-36. 1944.
5. BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de acidez del suelo. *Turrialba (Costa Rica)* 15(1): 20-24. 1965.
6. BOWER, C. A. Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. *Soil Science* 73(4): 251-261. 1952.
7. BRAVO, C. M. Posible toxicidad de boro en caña de azúcar. *Turrialba (Costa Rica)* 18(1): 72-73. 1968.
8. BRENCHLEY, W. The action of certain compounds of zinc, arsenic and boron on the growth of plants. *Annals of Botany* 28: 283-302. 1914.
9. BRIGGS, G. S. Effect of boron in the substrate on the rate of nitrate absorption and nitrogen distribution in *Nasturtium*. *Plant Physiology* 18(3): 415-432. 1943.
10. CARVAJAL, J. F. Estudio de las deficiencias de nitrógeno, potasio, magnesio, boro y manganeso, en plantas de café (*Coffea arabica* var. Típica). *Revista de Biología Tropical (Costa Rica)* 8(2): 165-179. 1960.
11. COOK, R. L. y MILLAR, C. E. Some soil factors affecting boron availability. *Soil Science Society of America. Proceedings* 4: 297-301. 1939.
12. CHAVERRI, R. G., BORNEMISZA, E. y CHAVES, F. S. Resultados del análisis foliar del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias-STICA. Información técnica No. 3. 1957. 39 p.
13. DUGGER, W. M., HUMPHREYS, T.E. y CALHOUN, B. The influence of boron on starch phosphorylase and its significance in translocation of sugar in plants. *Plant Physiology* 32(4): 364-370. 1957.

14. EATON, F. M. y WILCOX, L. V. The behaviour of boron in soils. U. S. Deptment of Agriculture Technical Bulletin 696. 1939. 58 p.
15. _____. Deficiency, toxicity, and accumulation of boron in plants. Journal of Agricultural Research 69(6): 237-277 1944.
16. GAUCH, H. G. y DUGGER, W. M. The role of boron in the translocation of sucrose. Plant Physiology 28(3): 457-466. 1953.
17. _____, y DUGGER, W. M. The physiological action of boron in higher plants. A review and interpretation. Maryland Agricultural Experiment Station Technical Bulletin A-80 1954. 43 p.
18. GONZALEZ, C. A. El abonamiento del cafeto. Informe divulgativo de los resultados de las investigaciones en progreso. Período Enero-Julio 1953. Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín divulgativo 18. 1954. 24 p.
19. _____, y CAMACHO, C. Síntomas de deficiencia de boro en el cafeto. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín Técnico No. 11. 1952. 12 p.
20. GONZALEZ, T. y JOSE, A. Café: deficiencias de elementos menores en los cafetales de Carazo. Nuestra Tierra (Nicaragua) (13-14): 4-5. 1958.
21. GONZALEZ, O. R. Tixocidad del boro sobre varios cultivos en diversos suelos. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, 1966. 42 p.
22. HATCHER, J. T., BLAIR, G. Y. y BOWER, C. A. Response of beans to dissolved and adsorbed boron. Soil Science 88: 98-100 1959.
23. _____, BOWER, C. A. y CLARK, M. Adsorption of boron by soils as influenced by hidroxy aluminum and surface area. Soil Science 104 (6): 422-426. 1967.
24. HINGSTON, F. J. Reactions between boron and clays. Australian Journal of Soil Research 2(1): 83-95. 1963.
25. HODGSON, F. J. Chemistry of the micronutrient elements in soils. Advances in Agronomy 15: 119-154. 1963.
26. HOOPS, J. A. y BERTRAMSON, B. R. Boron uptake by plants as influenced by soil moisture. Soil Science Society of America Proceedings 14: 257-261. 1949-50.
27. HORWITZ, W., ed. Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists. 8th edition. Washington, D. C., Association of Official Agricultural Chemists, 1955. p. 38

28. HUERTA, A. S. Epoca del muestreo y par de hojas representativo del estado nutricional del cafeto. Turrialba (Costa Rica) 14(2): 63-70. 1964.
29. JACKSON, M. L. Análisis químico de los suelos. Traducción de la edición inglesa por José Beltrán Martínez. Barcelona, Omega, 1964. pp. 516-520.
30. JOHNSTON, E.S. y DORE, W. H. The relation of boron to the growth of the tomato plant. Science 67(1734): 324-325. 1928.
31. _____ y DORE, W. H. The influence of boron on the chemical composition and growth of the tomato plant. Plant Physiology 4(1): 31-62. 1929.
32. JONES, H. E. y SCARSETH, G. D. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. Soil Science 57(1): 15-24 1944.
33. KUBOTA, J., BERGER, K. C. y TROUG, E. Boron movement in soils. Soil Science Society of America Proceedings 13: 130 1948.
34. LOTT, W. L. et al. A tecnica de analise foliar aplicada ao cafeiro. New York, IBEC Research Institute, Buletin No. 96 1956. 40 p.
35. MACHADO, A. Los fertilizantes para el cafeto y el diagnóstico foliar. Boletín Informativo del Centro de Investigaciones de Café (Colombia) 7(76): 123-136 1956.
36. MEDINA, E. H. y SHIVE, J. W. Calcium-boron relationships in the nutrition of corn and the distribution of the elements in the plant. Journal University of Puerto Rico 30(4): 253-291 1946.
37. MEYER, S., ANDERSON, D. B. y BOHNING, R. H. Introducción a la fisiología vegetal. Traducción de la primera edición inglesa por Luis Guilbert y Robert Pitterberg. Buenos Aires, Eudeba 1966. pp. 341-343.
38. MIDGLEY, A. R. y DUNKLEE, D. E. The effect of lime on the fixation of borates in soils. Soil Science Society of America Proceedings 4: 302-307 1939.
39. MOWRY, H. Costa Rica mejora su café. Hacienda 49(2): 40-41 1954.
40. MÜLLER, L. Observación y control de las deficiencias de elementos menores en el cafeto. Turrialba (Costa Rica) 8(4): 126-135 1958.
41. _____. Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (Coffea arabica L.). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico No. 4 1959 41 p.

42. MÜLLER, L. La aplicación del diagnóstico foliar en el cafeto (*Coffea arabica* L.) para una mejor fertilización. Turrialba (Costa Rica) 9(4): 110-122 1959.
43. _____ Coffee nutrition. (In: Childers, N. F., ed. Nutrition of fruit crops. New Brunswick, New Jersey. Rutgers State University, 1966) pp 685-776.
44. COMPTON, J. A. Soil liming investigations: The relation of boron deficiency to over-liming injury. Journal of the American Society of Agronomy 29(9): 761-771 1937.
45. NEALES, T. F. The boron requirement of flax roots grown in sterile culture. Journal of Experimental Botany 10(30): 426-436 1959.
46. OERTLY, J. J. y KOHL, H. C. Some considerations about the tolerance of various plants species to excessive supplies of boron. Soil Science 92(4): 243-247 1961.
47. OKAZAKI, E. y CHAO, T. T. Boron adsorption and desorption of some Hawaiian soils. Soil Science 105(4): 255-259 1968.
48. O'KELLY, J. C. Boron effects on growth, oxygen uptake and sugar absorption by germinating pollen. American Journal of Botany 44(3): 239-244 1957.
49. OLSON, L. C. y De TURK, E. E. Rapid microdetermination of boron by means of quinalizarin and a photoelectric colorimeter. Soil Science 50: 257-264 1940.
50. OLSON, R. V. y BERGER, K. C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content, and other factors. Soil Science Society of America Proceedings 11: 216-220 1946.
51. PALSER, B. F. y Mc ILRATH, W. J. Responses of tomato, turnip and cotton to variations in boron nutrition. II. Anatomical responses. Botanical Gazette 118(1): 53-71 1956.
52. PARKS, R. Q., LYON, C. B. y HOOD, S. L. Some effects of boron supply on the chemical composition of tomato leaflets. Plant Physiology 19(3): 404-419 1944.
53. _____, SHAW, B. T. Possible mechanisms of boron fixation in soil. I. Chemical. Soil Science Society of America Proceedings 6: 219-223. 1941.
54. PARKS, W. L. y WHITE, J. L. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. Soil Science Society of America Proceedings 16: 298-300 1952.

55. PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In Black, C. A. ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy, 1965. pp. 914-925.
56. PEREZ GARCIA, J. Estudio sobre el tamaño de la parcela experimental en café. Costa Rica. Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola. Información No. 7. 1959. 23 p.
57. PEREZ S., V. M. Algunas deficiencias minerales del cafeto en Costa Rica. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Información Técnica No. 2. 1957. 26 p.
58. _____ Corrija las deficiencias de boro en su cafetal. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín divulgativo No. 24. 1959. 9 p.
59. _____, CHAVERRI, G. y BORNEMISZA, E. Algunos aspectos del abonamiento del cafeto con boro y calcio en las condiciones de la meseta central de Costa Rica. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias-STICA. Información Técnica No. 1. 1956. 13 p.
60. PEREZ, V. et al. Nutrición del cafeto en Costa Rica. Informe de progreso de 5 años de investigación. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico No. 43. 1963. 35 p.
61. PROPHETE, J. Efecto de aspersiones de azúcar y boro sobre el crecimiento y la nutrición mineral del café. Turrialba (Costa Rica) 15(2): 141-143. 1965.
62. SCRIPTURE, P. N. y Mc HARGUE, J. S. Boron supply in relation to carbohydrate metabolism and distribution in the radish. Journal of the American Society of Agronomy 37(5): 360-364. 1945.
63. SCHARRER, K., KUHN, H. y LUTTMER, J. Investigations on the fixation of boron by inorganic constituents of the soil. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung 73: 40-48 (Original no consultado; compendiado en Soil and Fertilizers 19: 1501. 1956).
64. SIMS, J. R. y BINGHAM, F. T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials. II. Sesquioxides. III. Iron and aluminum-coated layer silicates and soil materials. Soil Science Society of American Proceedings 32(3): 364-372. 1968.
65. SISLER, E. C., DUGGER, W. M. y GAUCH, H. G. The role of boron in the translocation of organic compounds in plants. Plant Physiology 31(1): 11-17. 1956.

66. SKOK, J. Relationship of boron nutrition to radiosensitivity of sunflower plants. *Plant Physiology* 32(6): 648-658 1957.
67. _____. Relation of boron level to the production of fruit quality of grape fruit and oranges. Original no disponible. *Horticulture Abstracts* 26(3): 453 1956.
68. SPUR, A. R. Boron in morphogenesis of plant cell wall. *Science* 126(3263): 78-80. 1957.
69. STRUCKMEYER, B. E., KEIKKINEN, T. y BERGER, K. C. Developmental anatomy of tassel and ear shoots of corn grown with different levels of boron. *Botanical Gazette* 123(1): 11-116 1961.
70. TANAKA, H. Boron absorption by crop plants as affected by other nutrients of the medium *Soil Science and Plant Nutrition* 13(2): 41-44 1967.
71. _____. Boron adsorption by excised sunflower root. *Soil Science and Plant Nutrition* 13(3): 77-82 1967.
72. TISDALE, S. L. y CUNNINGHAM, H. G. Advances in manufacturing of secondary and micronutrient fertilizer. In Mc Vickar, M. H., ed. *Fertilizer technology and usage*. Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America 1963 pp. 269-286.
73. TOLLENAAR, D. Boron deficiency in cacao, bananas and other crops on volcanic soils of Ecuador. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 14: 138-151 1966.
74. URHAN, M. Análisis de hojas, su aplicación en la investigación de la nutrición de las plantas. *Boletín Informativo del Centro Nacional de Investigaciones de Café*. (Colombia) 3(3): 18-26 1952.
75. VALENCIA, A. G. La deficiencia de boro en el cafeto y su control. *Cenicafé* (Colombia) 15(3): 115-125 1964.
76. VIQUEZ F., R. Efecto del boro, zinc, molibdeno y sus combinaciones en el rendimiento de las plantas de tomate. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 1968 47 p. (Multigrafiada)
77. WALKER, J. C. Histologic-pathologic effects of boron deficiency *Soil Science* 57: 51-54 1944.
78. WALKLEY, A. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. *Journal Agricultural Science* 25(4): 598 1935.

79. WARINGTON, K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Annals of Botany* 37: 629-672 1923.
80. WHITTINGTON, W. J. The role of boron in plant growth. II. The effect on growth of the radicle. *Journal of Experimental Botany* 10(28): 93-103 1959.
81. WHITE-STEVENSON, R. H. Carbohydrate metabolism in relation to boron nutrition. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science* 36: 537-634 1938.
82. WOLF, B. Factors influencing availability of boron in soil and its distribution in plants. *Soil Science* 50: 209-216 1940.
83. YIH, R. Y. y CLARK, H. E. Carbohydrates and protein content of boron deficient tomato root tips in relation to anatomy and growth. *Plant Physiology* 40(2): 312-315 1965.

APENDICE

Contenido de boro (ppm) de la parcela testigo (sin boro) a través del tiempo

4° par

Fecha de muestreo	I	II	III	IV	Total	Promedio
10 de octubre de 1968	42,95	40,15	44,50	43,70	171,30	42,83
17 de octubre de 1968	36,00	34,50	45,00	36,00	151,50	37,88
16 de noviembre de 1968	45,00	43,50	52,50	54,00	195,00	48,75
30 de noviembre de 1968	39,50	37,00	42,00	38,00	156,50	39,13
10 de enero de 1969	58,50	52,50	40,50	57,00	208,50	52,13
7 de febrero de 1969	52,50	49,50	49,50	46,50	198,00	49,50

Crecimiento anterior

Fecha de muestreo	I	II	III	IV	Total	Promedio
10 de octubre de 1968	53,40	56,75	56,25	46,45	212,85	54,55
17 de octubre de 1968	---	---	---	---	---	---
16 de noviembre de 1968	---	---	---	---	---	---
30 de noviembre de 1968	44,50	47,50	45,50	44,50	182,00	45,50
10 de enero de 1969	75,00	55,50	66,00	65,25	261,75	65,44
7 de febrero de 1969	52,50	54,00	66,00	64,50	237,00	59,25

