

BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRICOLAS

RESPUESTA DEL CAFETO (*Coffea arabica*) A NIVELES  
Y FORMAS DE APLICACION DE BORO

LUIS EDUARDO MENDOZA SOTO

GUATEMALA  
1986

RESPUESTA DEL CAFETO (*Coffea arabica*) A  
NIVELES Y FORMAS DE APLICACION DE BORO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRICOLAS

RESPUESTA DEL CAFETO (*Coffea arabica*) A  
NIVELES Y FORMAS DE APLICACION DE BORO

LUIS EDUARDO MENDOZA SOTO

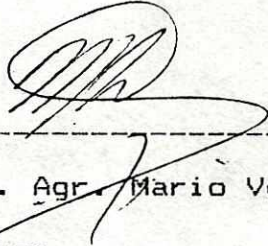
*Trabajo de investigación presentado para optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciatura en Ciencias Agrícolas*

*Guatemala*

1986


Vo. Bo.

(f)

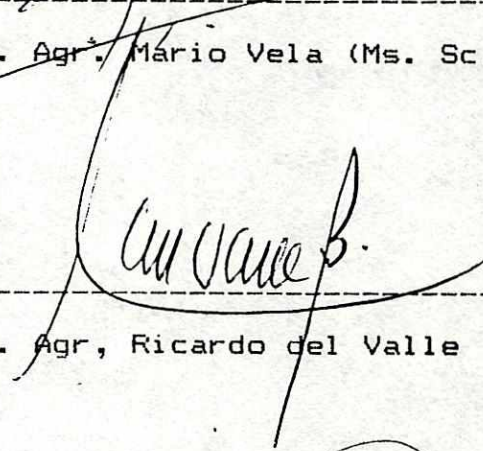
  
-----  
Ing. Agr. Mario Vela (Ms. Sc.)  
Asesor.

TRIBUNAL:


(f)

  
-----  
Ing. Agr. Mario Vela (Ms. Sc.)

(f)

  
-----  
Ing. Agr. Ricardo del Valle (Ms.Sc.)

(f)

  
-----  
Ing. Agr. Jose Manuel Del Valle

Guatemala, 2 de agosto de 1986

## I. INTRODUCCION

El uso cada vez más creciente de fertilizantes compuestos a base de los tres macroelementos, nitrógeno, fósforo y potasio, han contribuido grandemente a aumentos apreciables del rendimiento de las plantas cultivadas y en especial de las plantaciones de café.

Sin embargo, debido a su empleo se han acentuado cada vez más las deficiencias de microelementos en el suelo y por lo consiguiente en sus concentraciones dentro de las plantas. El cafeto necesita un total de 16 elementos minerales para su crecimiento y fructificación, cuatro de los elementos comprenden la mayor parte del peso seco de la planta, son absorbidos del aire, estos son el carbono, hidrógeno, oxígeno y cloro, los demás elementos se obtienen del suelo, 12 en total, éstos se agrupan en dos categorías: los llamados macroelementos y los microelementos, oligoelementos o elementos trazas (8). A este último grupo corresponde el boro, aunque las plantas lo necesitan en pequeñísimas cantidades, no debe permitirse la creencia que sea menos importante que cualquiera de los elementos mayores.

### A. El problema

En los últimos años se ha incrementado el problema causado por la deficiencia de microelementos en el café, y especialmente la de boro. Este hecho se justifica por lo siguiente:

- (A.) La extracción, por el cultivo intensivo de café, de grandes cantidades de elementos mayores y menores, ha causado que disminuyan las reservas de éstos en el suelo en muchos casos, bajo el nivel crítico requere-

rido para el crecimiento normal.

2. El uso de variedades mejoradas, densidades de siembra mayores y de mejores técnicas de cultivo, han aumentado la producción y por lo consiguiente un mayor consumo de microelementos proporcionados por el suelo.

3. La intensidad de su deficiencia se atribuye a varias causas, entre las cuales pueden citarse:

a. Suelos cuyo contenido de boro es bajo, como los desniveles de rocas ígneas ácidas o depósitos sedimentarios de agua dulce.

b. Suelos alcalinos, especialmente aquellos que contienen calcio libre.

c. Suelos ácidos, en los cuales mucho del boro ha sido removido por lavado (lixiviación).

d. Suelos arenosos muy friables, suelos irrigados donde el contenido de boro en el agua es bajo.

e. Suelos con bajo contenido de materia orgánica.

f. Suelos que sufren períodos secos prolongados o poca agua durante el año (12).

4. Es un hecho conocido que el boro desempeña un papel importante en el crecimiento y es acá donde se presentan los síntomas de deficiencia. Donald Fiester (8) menciona que la deficiencia de boro ocupa el tercer lugar en los problemas nutricionales prevaescentes en Guatemala.

↓

la, principalmente por su efecto en el <sup>V</sup>colámen de su cosecha. En un caso típico de deficiencia se han podido obtener con aplicaciones adecuadas de boro, aumentos en el rendimiento de hasta 285% en un solo año (10).

### B. Objetivos

El objetivo principal fué el investigar la absorción de boro por medio del diagnóstico foliar. Se estudiaron niveles y formas de aplicación, para poder determinar su eficacia en la corrección de una deficiencia, también se trató de establecer la rapidez y durabilidad del efecto mediante el muestreo sucesivo, por un lapso de 90 días después de la aplicación inicial de los diferentes tratamientos.

### C. Hipótesis

La hipótesis a probar por este experimento, se plantea de la forma siguiente: Después de 90 días de aplicados los distintos tratamientos, no se detectará diferencia estadística alguna entre el contenido foliar de boro en las plantas sometidas a estudio.

## CONTENIDO

		Página <i>viii</i>
	RESUMEN	
I.	INTRODUCCION	1
	A. El problema	1
	B. Objetivos	3
	C. Hipótesis	3
II.	REVISION DE LITERATURA	4
	A. Papel del boro en la planta	4
	1. Aspectos de la nutrición mineral	4
	2. En el crecimiento	6
	3. En el movimiento de carbohidratos	7
	4. Concentraciones normales dentro de la planta de café	9
	5. Síntomas de deficiencia	10
	6. Síntomas de toxicidad	11
	B. Disponibilidad del elemento boro	12
	1. En el suelo	12
	2. Problemas en el suelo	13
	C. Metodología de extracción de boro	14
III.	MATERIALES Y METODOS	15
	A. Localización del area experimental	15
	B. El suelo	15
	1. Determinación del ph	17
	2. Materia orgánica	17
	C. Material vegetal	17
	1. Variedad de café	17
	2. Determinación química en muestras foliares	18

	Página
D. <i>Informaciones adicionales</i>	20
1. <i>Cuidados que recibió el cafeto</i>	20
2. <i>Fertilizaciones</i>	20
E. <i>El experimento</i>	20
1. <i>Fuente de boro</i>	20
2. <i>Combinación de los tratamientos</i>	22
3. <i>Diseño experimental</i>	22
4. <i>Aplicación de los tratamientos</i>	22
5. <i>Tamaño y frecuencia de muestreo</i>	23
6. <i>Análisis estadístico</i>	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	26
A. <i>Resultados preliminares</i>	26
B. <i>Resultados posteriores a la aplicación de los tratamientos</i>	27
C. <i>Variación del boro en hojas del tercer par con respecto al tiempo de muestreo</i>	39
V. CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFIA	

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Datos climatológicos	16
2 Análisis físico del suelo	17
3 Niveles de boro utilizados en los tratamientos de aplicación al suelo	21
4 Niveles de boro utilizados en los tratamientos de aspersión al follaje	21
5 Combinación de tratamientos	22
6 Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par antes de aplicarse los tratamientos	25
7 Análisis de varianza del contenido inicial de boro en las hojas del tercer par	25
8 Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, el 8 de octubre de 1985	28
9 Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 8 de octubre	28
10 Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 22 de octubre de 1985	30
11 Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 22 de octubre	30
12 Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 5 de noviembre de 1985	31
13 Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 5 de noviembre	31
14 Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 19 de noviembre de 1985	33
15 Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 19 de noviembre	33

	Página
16 Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 3 de diciembre de 1985	34
17 Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 3 de diciembre	34
18 Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par obtenidas el 18 de diciembre de 1985	35
19 Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par para el muestreo efectuado el 18 de diciembre de 1985	35
20 Comparación de promedios, mediante el método de Duncan, de los valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos a los 90 días de aplicados los tratamientos	38
21 Contenido promedio de boro (ppm) en las hojas del tercer par, clasificado por tratamientos y tiempo de muestreo	40

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>		<i>Página</i>
1	<i>Variación del contenido de boro según el tiempo de muestreo</i>	41
2	<i>Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 10 g de boro elemental al suelo</i>	43
3	<i>Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 5 gr de boro elemental al suelo</i>	44
4	<i>Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 2.5 grs de boro elemental al suelo</i>	45
5	<i>Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 2.5 gr de boro elemental por litro de aspersion</i>	46
6	<i>Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 1.25 gr de boro elemental por litro de aspersion</i>	47
7	<i>Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 0.625 gr de boro elemental por litro de aspersion.</i>	48

## RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en terrenos de la finca Concepción, Matequescuintla, Jalapa y en el laboratorio de suelos de la Universidad del Valle de Guatemala. Tuvo como objetivo el determinar el efecto de diferentes niveles de aplicación de boro, aplicados al suelo y al follaje, en una plantación comercial de café.

El fertilizante utilizado como fuente de boro, fue solubor, que es altamente soluble y se puede aplicar tanto al suelo como al follaje. Los niveles utilizados fueron: al suelo, 10, 5 y 2.5 gramos de boro elemental por planta; al follaje, 2.5, 1.25 y 0.625 gramos de boro elemental por litro de aspersion por planta.

Los resultados indicaron que se puede elevar considerablemente el contenido de boro en las hojas de café, con cualquiera de los niveles utilizados y la forma de aplicarlos, ya sea ésta al suelo o al follaje. También indican que existe una diferencia significativa en la velocidad de absorción por las hojas con relación a las raíces.

La concentración de boro en las plantas con tratamiento al suelo, se mantuvo más alta y constante, contrariamente en aplicaciones al follaje su concentración aumentó rápidamente, pero su efecto duró muy poco. Por otro lado, la dosis de 10 gramos al suelo, tuvo un efecto más marcado, elevando el contenido de boro foliar por encima de 140 partes por millón (ppm).

## II. REVISION DE LITERATURA

### A. Papel del boro en la planta

#### 1. Aspectos de la nutrición mineral

Al boro se le han asignado más de 15 funciones dentro de la planta (11). De acuerdo con investigaciones el boro es un elemento esencial en el crecimiento; tiene función en el transporte de carbohidratos y parece dificultar su respiración; influye en la reproducción de las plantas, fertilidad del polen; se le considera regulador de la entrada de agua a la célula; tiende a mantener el calcio soluble dentro de la planta y puede actuar como regulador de las relaciones potasio-calcio; puede estar relacionado con los procesos de oxidación, reducción y su equilibrio dentro de la planta (12).

Es absorbido en forma de borato o tetraborato ( $\text{BO}$  o  $\text{B}_4\text{O}$ ), se le encuentra en los lugares de crecimiento de las plantas, en las flores y en los tejidos de conducción de savia. Tiene además una función importante en la formación de flores, frutos y raíces, en la absorción de nutrientes y otros (12).

Los problemas de su deficiencia, en algunos casos, es su carencia, en otros, su fijación al suelo (13). Tanaka (27) propuso que un posible mecanismo de entrada de los boratos a las raíces y su ulterior transporte dentro de la planta es por una reacción de esterificación con los polizacaridos, tal reacción se ve facilitada por el hecho, de que el ion borato se comporta de forma similar a la del ion fosfato, debido a esto,

algunos investigadores han concluido, de que su absorción es similar a la del ion fosfato.

Tanaka (27) también estudió la influencia que sobre la absorción del boro, tienen el calcio, fósforo y potasio, en plantas de rábano, concluyendo que al aumentar los niveles de calcio (Ca) la concentración de boro en los rábanos disminuye; que a mayor cantidad de fósforo, la respuesta de la concentración de boro fue positiva y que el efecto experimentado en relación al potasio fue negativo. Tanaka, concluyó que el Ca inhibe la absorción de boro en las plantas; que la concentración de boro está asociada a una mayor cantidad de fósforo y que el potasio tiene un efecto contraproducente en la acumulación de boro en tejidos vegetativos.

Cantidades altas de potasio, desequilibran la relación calci-magnesio, originando también una deficiencia de boro dentro de la planta (11).

Tanaka (27) llevó a cabo otros experimentos, en los cuales midió la relación de concentración de calcio y boro en diferentes partes de la planta de girasol. Observó que en el tallo, donde encontró cantidades grandes de calcio, la concentración de boro era baja en las hojas, este hecho le hizo pensar que el boro es inmovilizado en los tallos por el alto contenido de Ca. El mismo autor observó que una deficiencia de boro, puede aparecer inmediatamente después de un encalado en el suelo, esto debido a dos posibles causas: una disminución en la disponibilidad de boro en el suelo o en la planta misma, debido al aumento de concentración de Ca.

El balance boro-calcio en las plantas es de gran interés debido al

papel importante que desempeñan en la actividad metabólica de la planta (16).

## 2. En el crecimiento

Todos los autores, coinciden en que el boro tiene un papel importante en el crecimiento de las plantas, pero pocos mencionan como lo hace. En café se han llevado a cabo trabajos sobre el efecto que éste elemento tiene en el crecimiento, teniéndose que Prophete (22) observó que en plantaciones de café tratadas con boro y azúcar, provocó un aumento de altura de planta, longitud de ramas laterales, longitud de entrenudos cerca del ápice del tallo, diámetro del tallo, porcentaje de materia seca y de las raíces.

Por otro lado, el efecto de la deficiencia de boro en la planta se manifiesta en el crecimiento apical de la misma, lo que confirma el hecho de su importancia en el crecimiento. Ya en 1914 Brenckley (3) había comprobado el retardo en el desarrollo meristemático en plantas que sufrían de una deficiencia específica de boro. Según Skok (26) la acción del boro es sobre la actividad celular, Rojas (24) indica que hay correlación entre la deficiencia de boro y la deficiencia de RNA (ácido ribonucleico) en el tomate, otros autores como Vih y Clark (29) hallaron una típica cesación en el crecimiento radicular en plantas de tomate deficientes en boro. Albert (1) en plantas de tomate, encontró que la raíz principal dejó de crecer, 72 horas después de haber eliminado el boro de la solución nutritiva, también notó una baja en el contenido de RNA de esta raíz.

Johnston y Dore (15) usando al tomate como planta indicadora, obtu-

vieron un crecimiento normal, desde la germinación, hasta la fructificación, cuando la solución nutritiva estaba provista de un buen contenido de boro.

Por último, se ha encontrado que el boro actúa en la fertilidad del grano de polen (11). Batjer y Thompson (2) encontraron que con aplicaciones de ácido bórico, incrementaron la producción de perales al estimular la germinación del grano de polen.

### 3. En el movimiento de los carbohidratos

Se ha encontrado que esta función al igual que su efecto en el crecimiento están altamente ligadas. Prophete (22) llevando a cabo dos experimentos, uno con plantas adultas al sol y otro con plantitas a la sombra (50% de luz), fueron planeadas para estudiar el efecto del azúcar y del boro sobre algunos aspectos del crecimiento y nutrición mineral de plantas de café y el efecto que el boro tiene sobre el traslado y utilización del azúcar. Observó que en las aplicaciones con boro, únicamente hubo un aumento marcado en el crecimiento de las plantitas y el contenido de boro en hojas de plantas adultas; las de azúcar, aumentaron significativamente el porcentaje de materia seca del tallo de las plantitas y provocaron la caída de hojas en plantas adultas; las aplicaciones combinadas de azúcar-boro, actuaron de manera positiva sobre el crecimiento de ramas laterales, longitud de entrenudos, diámetro del tallo y porcentaje de materia seca en las raíces de las plantitas y de manera negativa en el contenido de boro en las hojas de plantas adultas.

Existen dos teorías sobre la acción fisiológica que tiene el boro en el traslado de los carbohidratos, la primera, nos dice que el ion bo-

rato reacciona con el azúcar, formando un complejo azúcar-borato, el cual penetra a la célula a través de la membrana, la célula utiliza el azúcar liberando al ion borato; la segunda es que el ion borato, se asocia a la membrana celular, donde reacciona químicamente con la molécula de azúcar facilitando así su paso por la membrana (9). Esta segunda hipótesis muestra al boro, sirviendo de una especie de puente, que recoge a la molécula de azúcar del exterior de la célula y la hace penetrar a ella mediante otra reacción química.

Tratando de explicar esto, Guach y Duggér (9) hicieron un complejo ionizable borato-azúcar, que, según ellos, es trasladado con gran facilidad. Concluyeron que 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 lo que creen más posible la segunda hipótesis, pero no descartan que la primera se lleve a cabo.

Parece ser que la acumulación de azúcares en ciertas partes de la planta, es uno de los disturbios principales, de una deficiencia marcada de boro. Scripture y Mc Hargue (25) llevaron a cabo un estudio, en el cual, la deficiencia de boro, en plantas de rábano, causaron una acumulación de azúcares reductores y carbohidratos insolubles en alcohol en la parte aérea, mientras que en el tubérculo se acumularon carbohidratos hidrolizables.

Prophete (22) estableció una relación boro-azúcar, positiva, trabajando en plantas de Coffea arábica, lo que indica que el traslado de azúcar es más rápido en presencia de boro.

#### 4. Concentraciones normales, dentro de la planta de café

Muchos son los trabajos que se han desarrollado para poder determinar los contenidos normales de boro en la planta de café. El ISIC (Instituto Salvadoreño de Investigación del Café) los ha investigado, llegando a la conclusión de que el boro en concentraciones foliares inferiores a 40 ppm constituye una deficiencia en alto grado, también concluyó que concentraciones superiores a las 200 ppm pueden originar toxicidades dentro de la planta. El criterio general que se sigue en El Salvador es el siguiente: Al pasar los 100 ppm hay seguridad de que no existe la deficiencia, entre 60 y 100, si bien no hay deficiencia, pero se encuentra en su límite que debe considerarse como mediano, menos de 40 ppm la deficiencia es manifiesta (10).

La Escuela Superior de Agricultura "Luis de Queirz" Instituto Agronómico de Sao Paulo, Brasil (11) enmarca los contenidos foliares de boro de la siguiente manera: deficiente cuando se encuentra de 20 a 60 ppm; normal de <sup>60</sup>10 a 100 ppm y más allá de esto se pueden provocar toxicidades. Muller (18), en Costa Rica, determinó, que concentraciones arriba de 150 ppm en las hojas adultas son ya frecuentemente asociadas con la toxicidad del elemento boro.

Para Guatemala, Donald Fiester (8) establece que la concentración normal de boro en el cuarto par de hojas está entre 60 y 150 ppm y que el nivel crítico se encuentra en 30 ppm, también define como una zona de deficiencia la enmarcada entre 30 y 60 ppm de contenido de boro en las hojas de café.

## 5. Síntomas de deficiencia

Los síntomas de deficiencia de boro son invariables dentro de una especie, de igual manera que su necesidad, aunque se ha podido notar que éstos varían de especie a especie (17). Los síntomas visibles que presentan las plantas de café, son fácilmente reconocibles, pues se producen anormalidades típicas en las hojas y en los puntos de crecimiento.

Uno de los primeros en aparecer, es el aspecto negruzco y muerte de la yema terminal (4, 6, 17, 19, 21), no sólo en las ramas laterales (bándolas), sino también en los tallos verticales. Como consecuencia de esta muerte de yemas terminales se produce, en los extremos de las bándolas varias nuevas ramas secundarias que nacen de un mismo punto (21), el número de ramas laterales varía entre 2 y 7 y se les da el nombre de "Palmilla" (17, 21). Esto no debe confundirse con la producción de ramas laterales, en café, tras el punto de crecimiento, sin morir éste o por ser eliminada la yema terminal por cualquier causa mecánica.

La muerte de la yema apical, en los tallos verticales, y sus bándolas producen una necrosis regresiva de los copetes, llamada "Die Back", la cual avanza un poco hacia la base de los tallos y bándolas, dando la idea de una planta enferma por alguna causa fungosa. La necrosis regresiva o muerte regresiva, causada por la deficiencia de boro, va casi siempre, acompañada de otros síntomas característicos, como el poco desarrollo del sistema radical, entrenudos cortos, las hojas crecen delgadas, quebradizas y coriáceas al tacto, tienen poco brillo y su borde es irregular y asimétrico (17, 19), las venas, sobre todo las del envez, toman un aspecto clorótico parecido a la deficiencia de calcio (21).

Es frecuente que un mismo árbol de café, presente todos los síntomas de transición, entre una deficiencia severa y un contenido normal de boro, debido a su poca movilidad. (17).

#### 6. Síntomas de toxicidad

Aunque el café tolera el boro, el ámbito de la corrección de la deficiencia a la toxicidad es muy estrecho y fácilmente se puede producir daños al romper la tolerancia de esta planta (11). El análisis foliar es un recurso muy útil, para controlar el contenido foliar de boro y mantenerlo entre los límites normales.

La toxicidad puede presentarse, en los casos en que se abuse del uso de boro, para corregir una deficiencia o cuando se utiliza y la planta no lo necesita. También, puede provocarse, al hacer una mala dosificación, de un fertilizante de un producto con alta concentración del elemento. Ya que el rango, entre la deficiencia y la toxicidad, de este elemento es relativamente pequeño, debe tenerse gran cuidado cuando se ha de corregir o llenar necesidades de la planta.

Los síntomas que se presentan en el café, con: Las hojas muestran un amarillento (clorosis) en los bordes, que va avanzando hacia la vena central y entre las secundarias, las cuales permanecen de color verde obscuro; manchas como pecas se hacen presentes en la zona clorótica, algunas hojas afectadas se desprenden y otras permanecen adheridas en la planta (10).

El parénquima de la hoja es de color amarillo o anaranjado brillante. En estos casos de toxicidad severa, en toda la lámina se pueden ob-

servar pequeñas pecas de color café, síntoma típico de la toxicidad de boro (21). Las hojas que llegan a presentar estos síntomas, son aquellas que se desarrollan o forman en presencia del exceso del elemento; una vez pasado éste, las hojas que se forman son normales. Es por esto, que en una planta de café, se pueden observar, en una misma bándola que hojas adultas muestran síntomas de toxicidad y hojas jóvenes no (21). Las hojas afectadas, por lo general, caen o permanecen por algún tiempo, en todo caso, la planta se recupera con rapidez (10).

De acuerdo con el contenido foliar de boro en hojas que presentan síntomas de toxicidad, este puede ir de 150 ppm o más (17, 21). Algunos autores como Oertly y Koht (19) señalan, que en general las plantas que presentan toxicidad de boro, no sufren una baja notable en su rendimiento. Como las partes afectadas por la <sup>a</sup>cumulación de boro ocurre en áreas localizadas de la hoja, ellos concluyen que no tiene efecto sobre otras partes de la planta.

## B. Disponibilidad del elemento boro

### 1. En el suelo

El nombre boro se deriva del persa Burah (7), constituye un 0.01% de la corteza terrestre, donde se encuentra en forma de boratos. Los yacimientos más importantes radican en zonas desérticas; Asia Central, Asia Menor, en las pampas de América del Sur y en California y Nevada (14).

Lamentablemente, no existe mucha información sobre el contenido de boro en suelos tropicales, y en especial en los suelos de Guatemala. Únicamente Fiester (8) menciona que los suelos de Baja Verapaz, Alta Vera-

paz y en áreas bien definidas de la zona del Pacífico, se observan las deficiencias de boro en suelos cafetaleros; así mismo dice que por lo general, es severa en las bajas altitudes de la parte occidental del país.

En Costa Rica, Pérez (21) encontró valores de 0.9 y 3.7 ppm de boro disponible en éstos suelos. También escribió: "La disponibilidad de boro en éstos suelos depende de los siguientes factores: encalado, pH, contenido de materia orgánica, humedad y el contenido de aluminio y hierro."

El boro presente en los suelos proviene de rocas ígneas y sedimentos marinos, se han encontrado valores, en rocas ígneas ácidas, hasta de 60 ppm de boro y en rocas básicas, que son más pobres, de 10 ppm/kgm. En el suelo se encuentra en cantidades pequeñas, menores al 0.01% y puede ser de naturaleza orgánica e inorgánica (7).

El contenido de boro, depende, como se ha mencionado anteriormente, del material parental, clima y contenido de materia orgánica, Berger y Pratt (7) citadas por Fassbender presentaron una revisión de literatura sobre el análisis de boro en suelos y métodos para su extracción; en este estudio indican que el valor de boro total en suelos varía entre 20 y 200 ppm y que el boro soluble puede variar entre 0.05 y 5 ppm en las capas superficiales de regiones húmedas. Según Hodson, citado por Fassbender (7), el contenido promedio del elemento en los suelos está entre 3 y 10 ppm.

## 2. Problemas

Se ha llegado a constatar que la baja disponibilidad de boro en los

suelos se debe a la formación de precipitados, particularmente de sílice y aluminio y la marcada afinidad por el boro de los hidróxidos de hierro y aluminio (7). Algunos autores aseguran que el boro produce reacciones de sustitución en los complejos aluminio-silicatos, formando precipitados y que éstos se favorecen al aumentar el pH y el contenido de calcio en los suelos; también ocurre lo mismo, cuando se produce una disminución de la humedad.

El encalado produce una disminución en la disponibilidad del boro, lo que puede llevar a serias deficiencias del elemento dentro de la planta e ineficiencia del encalado (14).

La materia orgánica, juega un papel importante en el contenido de boro en el suelo; por un lado, se le ha relacionado con el proceso de fijación de boro a pH relativamente básico (7), por otro, se ha encontrado que la materia orgánica retiene una gran cantidad de boro y que cuando el humus está saturado con iones H conserva casi el doble del elemento que uno saturado con calcio; es una fuente importante de boro en el suelo, puesto que se libera conforme se descompone (14).

### C. Metodología de extracción de boro

El procedimiento de la curcumina para la determinación del boro tiene ventajas sobre los procedimientos basados en las antraquinonas, por utilizar disolventes menos corrosivos, por no presentar sensibilidad a las pequeñas variaciones de temperatura en la disolución que ha de ser leída y nítida separación espectral entre el color del reactivo y el color dependiente del compuesto boro. El color del reactivo y el compuesto boro se produce mediante curcumina, que es extraída de la raíz de cúrcuma (5).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### A. Localización del área experimental.

Este trabajo, se llevó a cabo en condiciones de campo, con cafetos adultos de 4 años de edad, de una plantación comercial situada en la finca Concepción, en el municipio de Mataquescuintla, en el departamento de Jalapa.

Mataquescuintla, está situado a una altitud de 1800 mts (6000 pies) sobre el nivel del mar. Durante el tiempo que duró el ensayo, se registraron las condiciones climatológicas que aparecen resumidas en el cuadro No. 1. Estos datos fueron tomados de la estación meteorológica de Potrero de Carrillo, localizada al oriente del municipio de Mataquescuintla, en el municipio de Jalapa, a una altitud de 1760 msnm. Ya que esta estación es la más cercana al área de experimentación, y que se encuentra en la misma zona ecológica, se pueden tomar estos datos como semejantes a los registrados en el área experimental.

#### B. El suelo.

Antes de efectuar las aplicaciones de los tratamientos, en los primeros días del mes de septiembre de 1985, con el fin de tener un mejor conocimiento de las características físicas de interés del suelo experimental, se tomaron muestras representativas del suelo de cada una de las repeticiones. Los resultados se muestran en el Cuadro No. 2, cada muestra fue de aproximadamente un kilo, obtenida por combinación de 7 perforaciones según la guía para la toma de muestras de suelo en los cafetales

Cuadro No 1. Datos climatológicos

Mes, 1985	Precipitación total en mm	temperatura			humedad		
		max	mín	med	max	mín	med
Septiembre	313.90	21.4	11.0	17.10	100	64	89
Octubre	221.50	21.0	11.0	16.80	98	66	89
Noviembre	43.00	20.0	9.6	15.40	100	74	90
Diciembre	4.40	19.7	8.5	14.80	100	70	89

Fuente: INSIVUMIH. Estación 9.1.2, nombre Potrero de Carrillo PIIIC

Lat 14° 45' 38" Long 89° 55' 56" Elev 1760 mts

departamento Jalapa, Municipio Jalapa

(13), que componían las muestras compuestas. Estas muestras compuestas, fueron llevadas al laboratorio en bolsas plásticas y seguidamente secadas al aire a la sombra, para efectuar los análisis correspondientes.

Cuadro No. 2. Análisis físico del suelo

	Repeticiones			
	I	II	III	IV
Materia orgánica %	1.90	2.03	1.95	1.90
pH	4.60	4.70	4.67	4.65

### 1. Determinación del pH.

Después de homogenizado y tamizado el suelo seco, el pH fue determinado en agua destilada en proporciones 1:2.5, a 10 ml de suelo se le → agregaron 25 ml de agua destilada, se agitó y se dejó reposar por espacio de una hora, después se midió el pH con un potenciómetro con electrodo de vidrio (5).

### 2. Materia orgánica.

Homogenizada la muestra de suelo, fue tamizada en una malla 0.25 mm y se determinó el % de materia orgánica mediante el método de Walkley y Black (5).

## C. Material vegetal

### 1. Variación de café.

Las plantas utilizadas fueron de una plantación bajo sombra de

Coffea arabica var Caturra, sembradas a un distanciamiento de 1.2 x 2.0 mts, lo que da una población de 4150 matas por Ha (2196 x manzana). La sombra del cafetal era de Cuje o Chalun (Inga xalapensis), sembrada a 10 x 10 mts.

Todas las plantas que no presentaban uniformidad, con respecto al resto de la plantación, en su crecimiento, cobertura de follage, etc., fueron descartadas. Igualmente se eliminaron las que habían sido podadas o sus brotes eran muy jóvenes.

La parcela experimental constaba de 6 plantas en hilera, para muestreo se reducía a 4 plantas efectivas. En el terreno, existía pendiente ligera pero suave. Pérez (20) dice: "En cultivos perennes, la heterogeneidad del suelo es de menor importancia, en comparación con el genotipo de la planta."

## 2. Determinación química en muestras foliares.

Las muestras de hojas, fueron tomadas del 3 par de las bándolas centrales, cada muestra estaba compuesta por 20 hojas, tomadas éstas, 5 de cada planta útil de la parcela. Las muestras fueron llevadas al laboratorio en bolsas plásticas, a baja temperatura en una hielera, se lavaron con agua de grifo y se frotaron suavemente del haz y envés con una toalla de tela, seguidamente, se les cortó el peciolo y se secaron en un horno, en bolsas de papel perforado, por espacio de 72 horas a 70 grados centígrados.

Después se molieron en un molino Wiley con una malla # 40 y su almacenaje se hizo en frascos de plástico duro de color crema.

El contenido foliar de boro, fue determinado por el método de curcumina en ácido acético (5).

La metodología de este procedimiento, básicamente sigue los siguientes pasos: se pesaron 0.25 grs de muestra foliar, previamente homogenizada, en un frasco erlenmeyer de <sup>0</sup>59 ml tipo pyrex. El erlenmeyer, fue tratado anteriormente con una solución de HCl 1 N y puesto en una plancha caliente a 100 grados centígrados por espacio de 10 horas, para eliminar cualquier traza en contenido de boro. Seguidamente se le adicionaron 2 ml de solución de nitrato de magnesio en metanol y se evaporó hasta sequedad en una plancha caliente a baja temperatura (Incineración en húmedo).

Luego se incineró en una mufla a 450 C° por tres horas, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se le agregaron 25 ml de una solución agua-ácido acético glacial 5:1, se agitó para disolver las cenizas y se filtró en un papel filtro Wathman No. 1.

→ Del filtrado, se tomó una <sup>a</sup>licuota de 1 ml y se le agregaron 8 ml de una solución de curcumina en ácido acético glacial, se mezcló bien y se le adicionaron 2 ml de ácido sulfúrico concentrado y se <sup>T</sup>agitó. Antes de ← hacer la lectura, fue necesario que esta mezcla quedara en reposo 30 minutos, las lecturas en % de transmitancia, se hicieron en un espectrofotómetro a 555 milimicras, Espectronic model 2A.

Las concentraciones foliares se calcularon a base de una curva estándar de boro con una serie de concentraciones que fueron desde 0 a 2 ppm, preparadas con ácido bórico ( $H_3BO_3$ ).

Hasta donde fue posible, se utilizó material de plástico desechable

especialmente en la reacción de curcúmina con ácido sulfúrico concentrado.

D. Informaciones adicionales.

1. Cuidados que recibió el café.

En el mes de noviembre a los árboles de sombra se les hizo una poda fuerte, lo que resultó en una sombra más regulada. Las malas hierbas, se controlaron en forma manual en el mes de octubre. No fue necesario ningún control fitosanitario.

2. Fertilizaciones.

En el año 1984, los cafetales, que componían el ensayo, recibieron una fertilización a base de nitrógeno, fósforo y potasio con una fórmula 15-15-15, la aplicación se hizo en el mes de junio con 8 onzas de la fórmula por mata. En 1985, a la fórmula 15-15-15 se le adicionó sulfato de amonio en proporción 4:1 para la aplicación del mes de junio y una segunda aplicación de únicamente sulfato de amonio a razón de 4 onzas por planta en el mes de octubre.

E. El experimento.

1. Fuente de boro.

La fuente usada en el ensayo para los tratamientos al suelo y atomización fue: Solubor, que es un producto comercial que contiene un 20.5% de boro elemental, se utiliza tanto para aplicaciones al suelo como para el follaje. Es un producto altamente soluble, en los cuadros No. 3 y 4 aparecen las formas de aplicación y dosis que se emplearon en el estudio.

Cuadro No 3. Niveles de boro utilizados en los tratamientos de aplicación al suelo.

Nivel en grs de boro elemental	Grs del producto por parcela de 6 árboles	Grs del producto por árbol	Onzas árbol
10.00	292.68	48.78	1.69
5.00	146.34	24.39	0.85
2.50	73.17	12.19	0.42

Cuadro No 4. Niveles de boro utilizados en los tratamientos de aspersión al follaje.

Nivel en grs de boro elemental	Grs del producto por litro	Grs del producto por galon	Libras del producto por 54 gales
2.500	12.19	40.00	4.69
1.250	6.10	20.00	2.35
0.625	3.05	10.00	1.17

## 2. Combinación de los tratamientos

La combinación de los tratamientos se muestra en el cuadro No. 5.

## 3. Diseño experimental.

El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, 6 plantas por parcela. Las plantas para cada tratamiento fueron 24 y el total de plantas del ensayo fue de 168.

Cuadro No. 5 Combinación de aplicaciones

NO	Fuente	Forma de aplicación	Boro elemental aplicado/planta
1	solubor	al suelo	10.00 grs
2	"	" "	5.00 grs
3	"	" "	2.50 grs
4	"	foliar	2.50 grs
5	"	"	1.25 grs
6	"	"	0.625 grs
7	ninguno	Testigo	0.00 grs

## 4. Aplicación de los tratamientos.

El día 24 de septiembre de 1985, se procedió a tomar una muestra foliar inicial para cada tratamiento, lo que permitió conocer la concentración de boro existente en las plantas antes de aplicar los tratamientos.

El mismo día, y después de la toma de muestras, se hicieron las a-

plicaciones al suelo y al follaje de los diferentes niveles en estudio. Al suelo, se aplicó en una banda de aproximadamente 10 cms al contorno de la planta y alejada del tronco de ésta unos 15 cms. La aspersión se → hizo con una bomba marca <sup>d</sup>Goria, con capacidad para dos litros, el agua fue tomada de un nacimiento cercano al área de experimentación y se necesitó de aproximadamente un litro para mojar completamente cada planta. Asimismo, se le adicionó un adherente por ser época de lluvias.

En el momento de la aspersión, se colocaron unos sacos de brin bajo las plantas para evitar la contaminación del suelo por la gotera de la planta, evitando así cualquier absorción por las raíces superficiales. A las plantas vecinas de otros tratamientos se les protegió con un nylon.

##### 5. Tamaño y frecuencia del muestreo.

En total se hicieron 6 muestreos posteriores a la aplicación de los → tratamientos, cada muestreo estuvo separado por <sup>15</sup>25 días, para hacer un total de 90 días de estudio.

Se tomaron 5 hojas por planta del tercer par de las bándolas centrales, el criterio para definir el tercer par, fue: tomar como primer par a las hojas recientemente formadas que tengan un largo mayor de 5 cms. (13). La concentración de elementos nutritivos en el tercer y cuarto par es relativamente constante, como ha sido probado anteriormente (20). El total de hojas que conformaban una muestra era de 20.

##### 6. Análisis Estadístico.

Los datos obtenidos en este estudio, fueron estadísticamente anali-

zados, mediante el análisis de varianza (ANDEVA), descomponiendo en grados de libertad individuales el componente principal de la suma de cuadrados de los tratamientos. Cabe recordar que el experimento siguió el modelo de bloques al azar, pero la toma de muestras en diferentes épocas, generó una subdivisión de la parcela en el tiempo.

Cuadro No 6. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par,  
antes de aplicarse los tratamientos.

Tratamientos	I	II	III	IV	Promedio
1	49.50	45.50	50.00	42.50	46.87
2	42.50	42.00	39.00	47.00	42.62
3	55.00	34.00	45.50	34.00	37.12
4	43.50	33.00	42.50	40.00	39.75
5	47.50	39.00	47.50	46.00	45.00
6	41.00	45.50	40.00	54.00	45.12
7	50.00	40.00	37.50	47.50	43.75
Promedio	44.14	39.85	43.14	44.42	42.88

Cuadro No 7. Análisis de varianza del contenido inicial de boro en las  
hojas del tercer par

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	276.92	46.15	NS
2. Bloques	3	92.93	30.79	NS
3. Error	18	417.97	23.22	
Total	27			

G.L= Grados de libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrado medio

NS= Indica que no se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el experimento, los cuales vienen a confirmar o rechazar los objetivos e hipótesis propuestos, son éstos la culminación de todo un proceso experimental, desde el planteamiento del problema, los estudios preliminares, la definición del experimento en sí, su montaje y seguimiento, y finalmente la obtención de los resultados que llevaron a la obtención de conclusiones.

##### A. Resultados preliminares.

En primer lugar, se presentarán los valores del contenido inicial de boro en el tercer par de hojas, previo a la aplicación de los tratamientos en estudio. Estos valores, dan cierta información acerca de la variabilidad natural del contenido de boro en los cafetos del área experimental.

En el cuadro No. 6 se puede observar, que el contenido de boro en cada parcela es bastante uniforme, como también lo es el promedio en cada bloque. Por tal razón toda variación posterior a la aplicación de los tratamientos es debida exclusivamente a los diversos efectos causados por los mismos.

De los datos presentados en el cuadro No. 7, se deriva que la uniformidad estadística en el área experimental es excelente y que no se encuentra diferencia estadísticamente significativa al 1% de probabilidad de cometer error. El resultado del experimento preliminar de unifor-

midad demostró evidentemente, que el cafetal bajo estudio está en un predio esencialmente deficiente en boro. El contenido inicial de boro en las hojas del tercer par fue en promedio alrededor de 42.887 ppm. El límite de normalidad establecido por Muller (18) está entre 60 y 150 ppm de boro en las hojas de café.

El boro es un elemento que se acumula y persiste en los tejidos de edad más avanzada (22), lo que confirma que la plantación se encuentra deficiente del elemento boro.

Cabe señalar que paralelamente al ensayo, se llevaron a cabo algunas observaciones complementarias acerca del comportamiento del boro en las plantas, éstas se concentraron exclusivamente en cambios fenotípicos: en el crecimiento; anomalías relacionadas con la deficiencia o toxicidad del boro, las cuales se mencionarán conforme el desarrollo de este capítulo.

#### B. Resultados posteriores a la aplicación de los tratamientos.

Como se mencionó en la metodología del experimento, posterior a la aplicación de los tratamientos, se llevaron a cabo muestreos con intervalos de 15 días hasta completar 90 días de estudio. En la siguiente sección de este capítulo, se presentarán uno a uno los resultados de cada muestreo, así como también su respectivo análisis de varianza y las observaciones de campo que se llevaron a cabo el día que se efectuó.

Los cuadros No. 8 y 9 muestran los resultados y su análisis funcional de varianza, del muestreo efectuado el 8 de octubre de 1985. Estos resultados muestran un cambio en la concentración de boro en todas las

Cuadro No 8. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, el 8 de Octubre de 1985

Tratamientos	I	II	III	IV	Promedio
1	46.00	58.00	51.50	45.00	50.12
2	50.00	60.00	52.50	33.00	48.87
3	40.00	41.00	51.00	40.00	43.00
4	80.00	50.00	55.00	47.50	58.12
5	60.00	51.50	49.50	60.00	55.25
6	42.00	57.00	58.00	47.50	51.12
7	37.00	36.00	39.50	41.00	38.37
Promedio	50.71	50.50	51.00	44.85	49.26

Cuadro No 9. Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 8 de Octubre

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	1106.06	184.34	NS
2. Bloques	3	182.46	60.82	NS
3. Error	18	1354.23	75.23	
Total	27			

G.L= Grados de libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrado medio

NS= Indica que no se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

parcelas sometidas a los tratamientos. Las parcelas testigo, evidenciaron una disminución en el contenido de boro. Estadísticamente, no se encuentra una diferencia significativa al 1% de probabilidad de cometer error, entre los tratamientos, ni los bloques.

En las observaciones de campo, las parcelas con el tratamiento No. 4 (5 grs de boro por litro de aspersión), se mostraron con una mayor actividad en su crecimiento de las yemas terminales.

Los cuadros No. 10 y 11, muestran los resultados obtenidos en el muestreo efectuado el 22 de octubre. Se nota ya un evidente incremento en el contenido foliar de boro, en las plantas sometidas a aplicaciones del elemento, con respecto al testigo. Estadísticamente, existe una diferencia significativa al 1% de probabilidad entre los tratamientos.

Se pudo observar que las parcelas con aplicaciones al follaje han evidenciado un incremento más rápido en el contenido de boro que las aplicaciones al suelo. El testigo ha mantenido su nivel dentro de la zona de deficiencia y todos los demás tratamientos, excepto el No. 3, dosis mínima al suelo (2.5 grs de boro), se encuentran ya en el rango normal de concentración foliar de boro en café (8).

En las observaciones se notó un mayor desarrollo en las hojas de reciente formación, era evidente una coloración de un verde más intenso con respecto a las hojas recientemente formadas en plantas de las parcelas testigo, en las cuales se llegó a notar la formación de "Palmillas" en las bándolas centrales, síntoma característico de una deficiencia de boro (8).

Cuadro No 10. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 22 de Octubre de 1985.

Tratamientos	I	II	III	IV	Promedio
1	70.00	75.50	77.50	79.00	75.50
2	61.00	63.50	60.00	71.00	63.87
3	56.00	55.50	57.00	53.00	55.30
4	79.00	81.50	73.00	87.00	81.37
5	73.00	76.00	75.00	81.00	76.25
6	63.00	64.50	65.50	67.00	65.00
7	45.50	50.00	47.00	49.00	47.87
Promedio	63.92	66.64	65.71	69.57	66.46

Cuadro No 11. Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 22 de Octubre

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	3508.46	584.74	S :
2. Bloques	3	116.74	38.91	S
3. Error	18	116.75	6.48	
Total	27			

G.L= Grados de libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrado medio

S= Indica que se encontró diferencia al 1 % de probabilidad

Cuadro No 12. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 5 de Noviembre de 1985.

Tratamientos	I	II	III	IV	Promedio
1	104.00	99.50	105.00	109.50	104.50
2	72.00	76.00	77.50	80.00	76.37
3	90.00	81.50	76.00	80.00	81.87
4	112.50	114.00	106.00	111.50	111.00
5	84.50	90.00	86.00	79.50	85.00
6	73.00	81.00	79.50	83.50	79.25
7	51.00	43.50	54.00	50.50	49.75
Promedio	83.85	83.64	83.42	83.96	83.96

Cuadro No 13. Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 5 de Noviembre

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	9634.08	1605.68	S
2. Bloques	3	9.31	3.10	NS
3. Error	18	391.55	21.75	
Total	27			

G.L=Grados de libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrado medio

S= Indica que se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

NS= Indica que no se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

Cuadro No 12. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 5 de Noviembre de 1985.

Tratamientos	I	II	III	IV	Promedio
1	104.00	99.50	105.00	109.50	104.50
2	72.00	76.00	77.50	80.00	76.37
3	90.00	81.50	76.00	80.00	81.87
4	112.50	114.00	106.00	111.50	111.00
5	84.50	90.00	86.00	79.50	85.00
6	73.00	81.00	79.50	83.50	79.25
7	51.00	43.50	54.00	50.50	49.75
Promedio	83.85	83.64	83.42	83.96	85.96

Cuadro No 13. Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 5 de Noviembre

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	9634.08	1605.68	S
2. Bloques	3	9.31	3.10	NS
3. Error	18	391.55	21.75	
Total	27			

G.L=Grados de libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrado medio

S= Indica que se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

NS= Indica que no se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

Los cuadros 12 y 13, muestran los resultados del muestreo realizado el 5 de noviembre. Son claras ya, para esta fecha, las diferencias en el contenido de boro en cada uno de los tratamientos. Estadísticamente, existe una diferencia altamente significativa al 1% de probabilidad de cometer error, dentro de los tratamientos; no así dentro de los bloques.

En las observaciones de campo, el crecimiento de las hojas nuevas de las plantas tratadas, en relación con el testigo, eran claramente visibles. Se observó hojas de mayor tamaño y grosor, plantas con más cobertura foliar y un color verde más intenso.

Los tratamientos No. 1 y 4 rebasaron ya el nivel de 100 ppm, considerado por Muller como el límite máximo del rango de normalidad en contenido de boro en hojas viejas.

Los cuadros No. 14 y 15, presentan los resultados y su análisis de varianza del muestreo efectuado el 19 de noviembre. Esto es 60 días después de iniciado el estudio. En esta fecha, se encuentra una diferencia altamente significativa al 1% de probabilidad. Entre los tratamientos, se tiene también que la concentración de boro en todas las plantas que fueron sometidas a aplicaciones foliares o al suelo, se encuentran arriba de las 100 ppm. Se nota también que la concentración en las plantas testigo, ha dejado la zona de deficiencia, sufriendo un aumento en su concentración, pero que aún así, es alta la diferencia que existe entre la concentración de boro en las plantas sometidas a la dosis de 2.5 grs del elemento al suelo, que en esta fecha ha sido el que ha representado una menor respuesta, que el testigo. Esta diferencia es del

Cuadro No 14. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 19 de Noviembre de 1985.

Tratamientos	I	II	III	IV	Promedio
1	124.00	123.50	120.00	127.50	123.75
2	98.00	102.00	109.50	104.50	103.50
3	96.50	100.00	102.00	105.00	100.87
4	130.50	114.00	122.50	119.50	121.62
5	112.50	106.00	113.50	116.00	112.50
6	103.00	109.00	108.00	111.00	107.75
7	70.50	70.50	81.00	76.50	74.62
Promedio	105.00	103.85	108.07	108.57	106.37

Cuadro No 15. Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 19 de Noviembre

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	6481.74	1080.29	S
2. Floques	3	111.52	37.17	NS
3. Error	18	313.05	17.39	
Total	27			

G.L= Grados de libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrado medio

S= Indica que se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

NS= Indica que no se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

Cuadro No 16. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 3 de Diciembre de 1985.

Tratamientos	I	II	III	IV	Promedio
1	157.00	136.00	141.00	130.00	141.00
2	121.50	123.00	114.50	127.00	121.50
3	96.00	102.50	103.50	105.50	101.87
4	127.50	134.00	129.50	131.50	130.62
5	83.50	87.50	86.50	92.00	87.85
6	73.00	78.00	75.50	74.50	75.25
7	69.00	66.00	54.00	63.00	63.00
Promedio	103.92	103.85	100.64	103.35	102.92

Cuadro No 17. Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado el 3 de Diciembre.

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	20674.98	3445.83	S*
2. Bloques	3	153.82	51.27	NS
3. Error	18	667.31	37.07	
Total	27			

G.L= Grados de libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrado medio

S= Indica que se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

NS= Indica que no se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

Cuadro No 18. Valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos el 18 de Diciembre de 1985

Tratamientos	I	II	III	IV	promedio
1	133.50	140.50	142.00	146.00	140.50
2	99.50	103.50	104.50	111.00	104.52
3	103.50	95.00	103.00	110.50	103.00
4	113.00	112.50	115.50	118.50	114.87
5	50.00	18.50	76.00	87.00	51.12
6	70.00	78.00	75.00	74.50	74.37
7	50.00	51.00	54.00	45.00	50.00
Promedio	92.78	94.57	95.71	98.92	95.50

Cuadro No 19. Análisis de varianza del contenido de boro en las hojas del tercer par, para el muestreo efectuado del 18 de Diciembre

Causas de variación	G.L	S.C	C.M	
1. Tratamientos	6	21052.25	3508.70	S
2. Eloquentes	3	140.21	46.73	NS
3. Error	18	289.53	16.08	
Total	27			

G.L= Grados de Libertad, S.C= Suma de cuadrados, C.M= Cuadrados medios

S= Indica que se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

NS= Indica que no se detectaron diferencias al 1 % de probabilidad

orden de 26 ppm con respecto al tratamiento mencionado anteriormente y de 49 ppm con respecto al tratamiento de 10 grs de boro al suelo, que es el que presenta una mayor concentración.

Es de hacer notar, la poca variabilidad que se ha mostrado entre los bloques y en sí la variación estadística del experimento, que ha reportado coeficientes de variación que se pueden considerar muy buenos para este tipo de estudios.

Los cuadros No. 16 y 17 dan los resultados y su análisis de varianza del muestreo del 3 de diciembre de 1985. Nuevamente se encuentran diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos al 1% de probabilidad.

Este muestreo, presenta un dato interesante, y es el decremento que muestran en el contenido de boro los tratamientos No. 5 y 6 (1.25  $\pm$  0.625 grs de boro por litro de aspersión), las cuales decayeron en 25.25 y 32.50 ppm respectivamente, en relación a la concentración mostrada en el muestreo anterior. Se analiza el contenido del tratamiento No. 4 (2.5 grs por litro de aspersión). Se tiene que también ha disminuído en la relación de incrementos mostrados en los muestreos anteriores, lo que indica que las aplicaciones al follaje, para esta fecha, han dejado de actuar.

Estos resultados difieren un poco de los encontrados por el ISIC (Instituto Salvadoreño de Investigación del Café) (10) el cual encontró que los tratamientos con boro aplicados al follaje decaen después de 45 días de aplicados, esto debido a la poca movilidad del boro dentro de las plantas y que el boro no es traslocado de hojas viejas de la planta

hacia las hojas en formación, y que necesita de un suministro constante dentro de la planta (9).

En otro orden, las aplicaciones al suelo mantienen su incremento en las concentraciones foliares de boro.

Los cuadros No. 18 y 19, presentan los resultados obtenidos y su análisis de varianza del último muestreo, efectuado éste 90 días después de iniciado el experimento. Es de observar que la concentración de boro en las aplicaciones foliares, han decaído en los tres niveles aplicados, en relación con el muestreo anterior. Las aplicaciones al suelo han mantenido casi constante su concentración con respecto al muestreo anterior, por lo que se puede decir que se ha estabilizado y/o empieza a decrecer, como es el caso del tratamiento No. 2 (5 grs de boro al suelo). Estadísticamente existe una diferencia altamente significativa al 1% de probabilidad entre los tratamientos.

Dentro de los objetivos que motivaron este trabajo, se tenía el determinar la diferencia entre la aplicación de boro al suelo vs follaje, después de 90 días de aplicados ambos. Se planteó la hipótesis nula que ésta diferencia no existiría dentro de los distintos tratamientos y para determinar esto se procedió con los datos presentados en el cuadro No. 18 a hacer un análisis de comparación de promedios mediante el método de Duncan (23) el cual se presenta en el cuadro No. 20.

De este cuadro, se puede notar que el promedio del tratamiento No. 1 (10 grs al suelo), es estadísticamente diferente a los promedios obtenidos para esta fecha por los otros tratamientos. Se observa también que no existe diferencia entre los tratamientos No. 2, 3 y 4, los cuales pre-

Cuadro No 20. Comparación de promedios, mediante el método de Duncan, de los valores promedio de boro (ppm) en hojas del tercer par, obtenidos a los 90 días de aplicados los tratamientos

Promedio	140.50	114.87	104.52	103.00	81.12	74.37	50.00
50.00	<u>90.50</u>	<u>64.87</u>	<u>54.52</u>	<u>53.00</u>	<u>31.12</u>	<u>24.37</u>	00.00
74.37	<u>66.13</u>	<u>40.50</u>	<u>30.15</u>	<u>28.63</u>	6.75	00.00	
81.12	<u>59.38</u>	<u>33.75</u>	<u>23.40</u>	<u>21.88</u>	00.00		
103.00	<u>37.50</u>	11.87	1.52	00.00			
104.52	<u>35.98</u>	10.35	00.00				
114.87	<u>25.63</u>	00.00					
140.50	00.00						

         = Indica que se detectaron diferencias al 5 % de probabilidad

—→ senta: promedios de concentración de 104.52, 103 y 114.87 ppms respectivamente, lo que indica que el nivel de 5 grs y 2.5 grs de boro al suelo dan igual efecto que el nivel de 2.5 grs por litro de aspersión, todo esto <sup>L</sup> al 1% de probabilidad. También se tiene que éstos tres tratamientos mencionados anteriormente, muestran que estadísticamente no se comportan igual a los tratamientos No. 5 y 6 (1.25 y 0.625 grs de boro por litro de aspersión), los cuales se muestran iguales estadísticamente, según éste análisis de promedios.

De éste análisis, también se establece que todos los tratamientos: niveles y formas de aplicación de boro, son estadísticamente diferentes al tratamiento testigo, por lo que se comprueba la gran solubilidad del producto utilizado como fuente de boro.

C. Variación del boro en hojas del tercer par con respecto al tiempo de muestreo.

En el cuadro No. 21, se presentan las concentraciones promedio de boro obtenidas en cada muestreo por cada uno de los tratamientos, los cuales sirvieron para elaborar la gráfica No. 1, ésta gráfica presenta la variación de cada uno de los tratamientos en el tiempo en que se efectuó el estudio. Se puede notar un incremento mayor en los tratamientos aplicados por aspersión en relación a los aplicados al suelo en los primeros 60 días. Después, éste incremento se convierte en decremento, hasta llegar a completar los 90 días de estudio.

—→ Los tratamientos aplicados al suelo, van incrementando su contenido, poco a poco y llegan a alcanzar su máximo después de <sup>7</sup> 15 días, donde

Cuadro No 21. Contenido promedio de toro (ppm) en las hojas del tercer par, clasificado por tratamientos y tiempo de muestreo

Tratamientos	Tiempo de muestreo							Promedio
	Septiembre 24	Octubre 8	Octubre 22	Noviembre 5	Noviembre 19	Diciembre 3	Diciembre 18	
1	46.87	50.12	75.50	104.50	123.75	141.00	140.50	97.46
2	42.62	48.87	63.87	76.37	103.50	121.50	104.52	80.17
3	37.12	43.00	55.30	81.87	100.87	101.87	103.00	74.71
4	39.75	58.12	81.37	111.00	121.62	130.62	114.87	93.90
5	45.00	55.25	76.25	85.00	112.50	87.25	81.12	77.48
6	45.12	51.12	65.00	79.25	107.75	75.25	74.37	71.12
7	45.75	38.37	47.87	49.75	74.62	63.00	50.00	52.43
Promedio	42.88	49.26	66.45	83.96	106.37	102.92	95.48	78.19

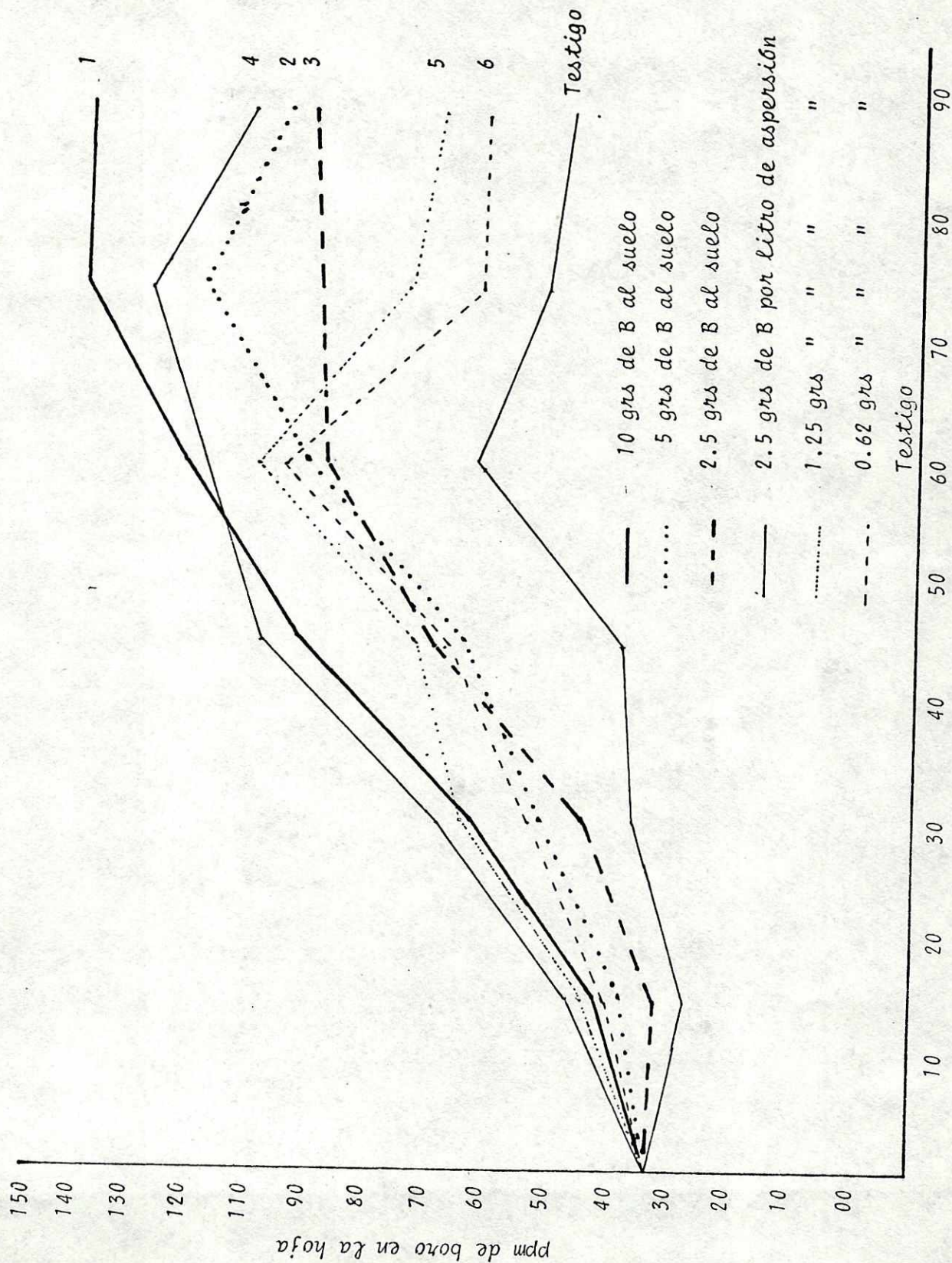


Fig. No. 1 Variación del contenido de boro según el tiempo de muestreo

las curvas tienden a mantenerse y mostrar una leve caída en las concentraciones.

El comportamiento de las parcelas testigo, en un principio decae, esto coincide con un período de alta precipitación en el área, (ver cuadro No. 1), después tiende a incrementarse y entre los días 45 y 60 muestra un súbito incremento, mismo que muestra las aplicaciones foliares de boro. Para esta fecha, se dieron condiciones de una baja en la precipitación pluvial y se llevó a cabo un descombramiento fuerte en los árboles de sombra. La combinación de este último factor con un buen contenido de humedad del suelo obligó a las plantas a una mayor actividad fotosintética la que se mostró en el aparecimiento de muchos brotes nuevos de todas las plantas y una mayor extracción de elementos nutritivos del suelo y en este caso de boro.

Al terminar este período de adaptación y stress a que fueron sometidas las plantas, por la exposición al sol, el contenido de boro volvió a descender hasta llegar a los 90 días, cuando el contenido foliar de boro de las plantas testigo se encontraba nuevamente en el rango de deficiencia.

Como se esperaba, al principio el contenido de boro en las hojas del tercer par, subió rápidamente, hasta alcanzar un punto máximo para luego declinar. Esto se presentó en forma más marcada en los tratamientos aplicados al follaje que en los aplicados al suelo. El efecto de los tratamientos sugiere una tendencia en el transcurso del tiempo de muestreo que se ajusta a una curva de segundo grado. En las gráficas No. 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se describen las curvas de segundo grado calcula-

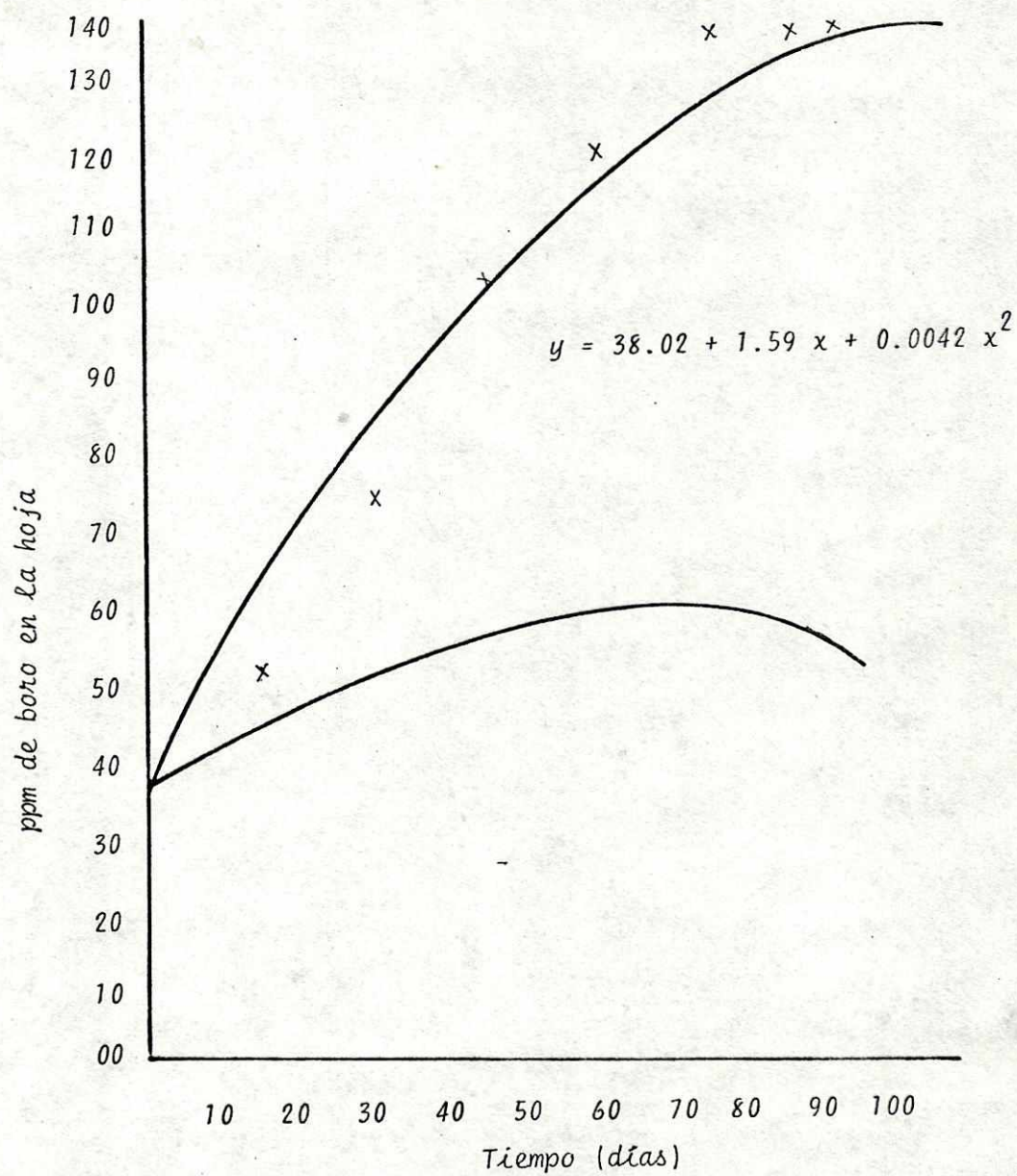


Fig. No. 2. Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 10 grs de boro elemental al suelo.

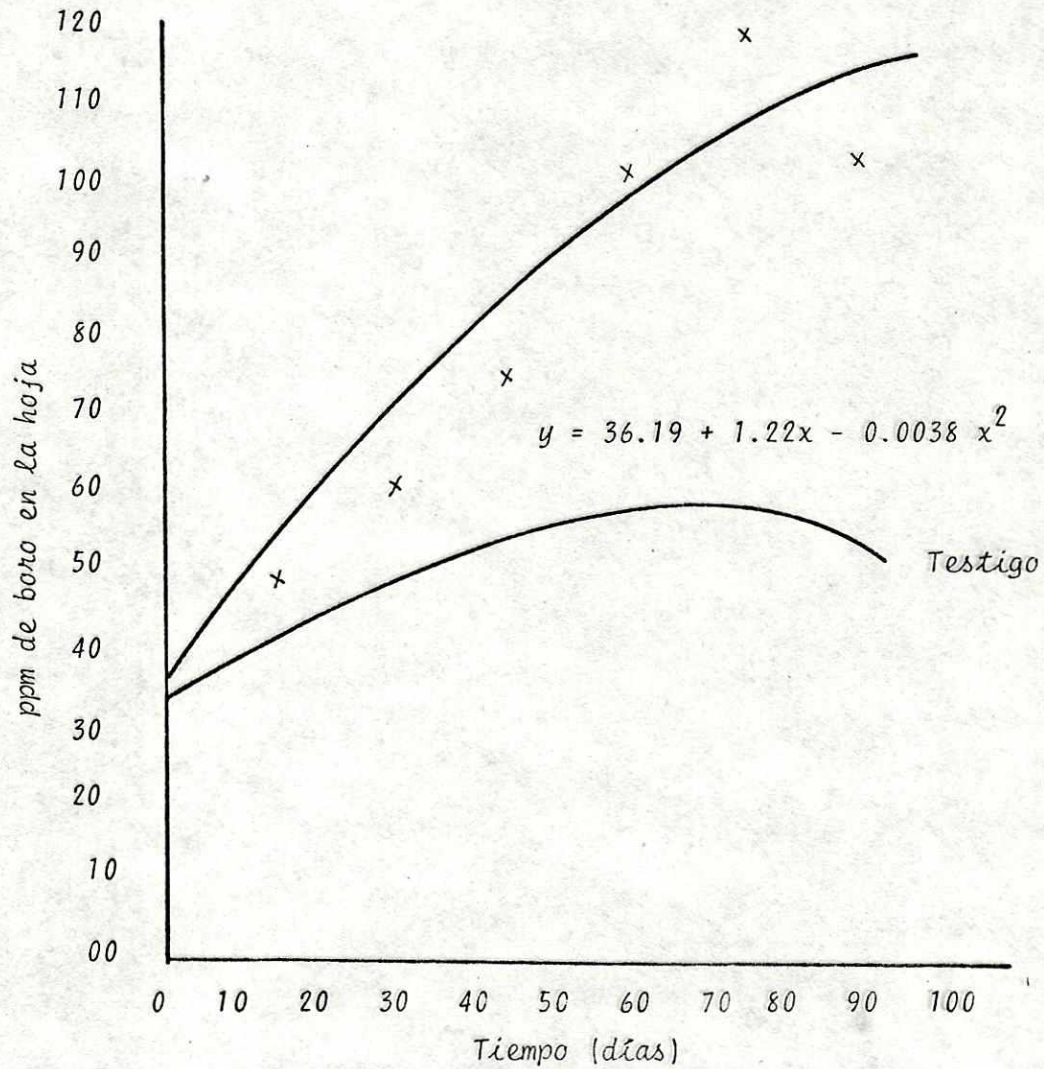


Fig. No. 3. Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 5 grs de boro elemental al suelo

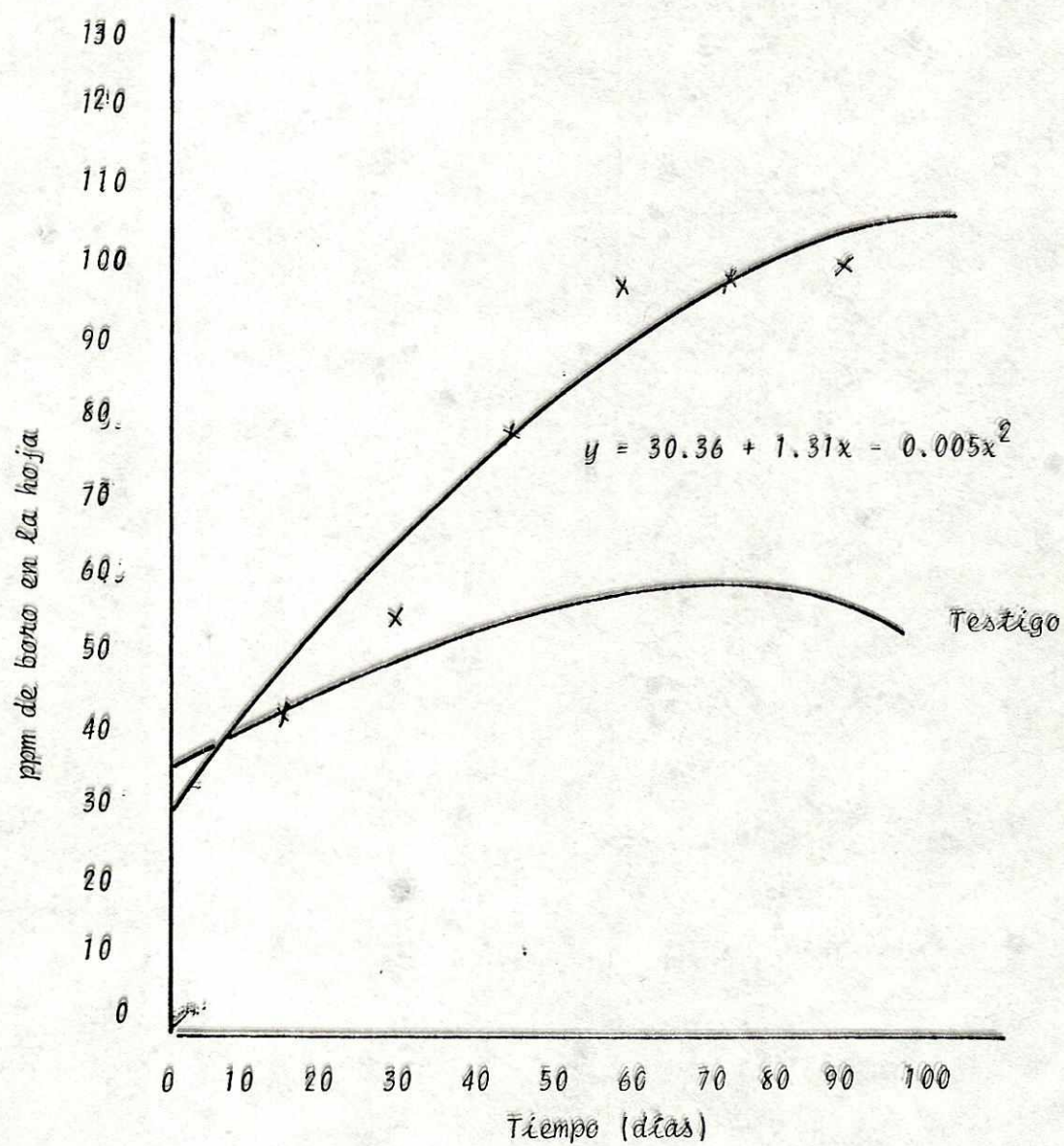


Fig. No. 4. Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 2.5 grs de boro elemental al suelo

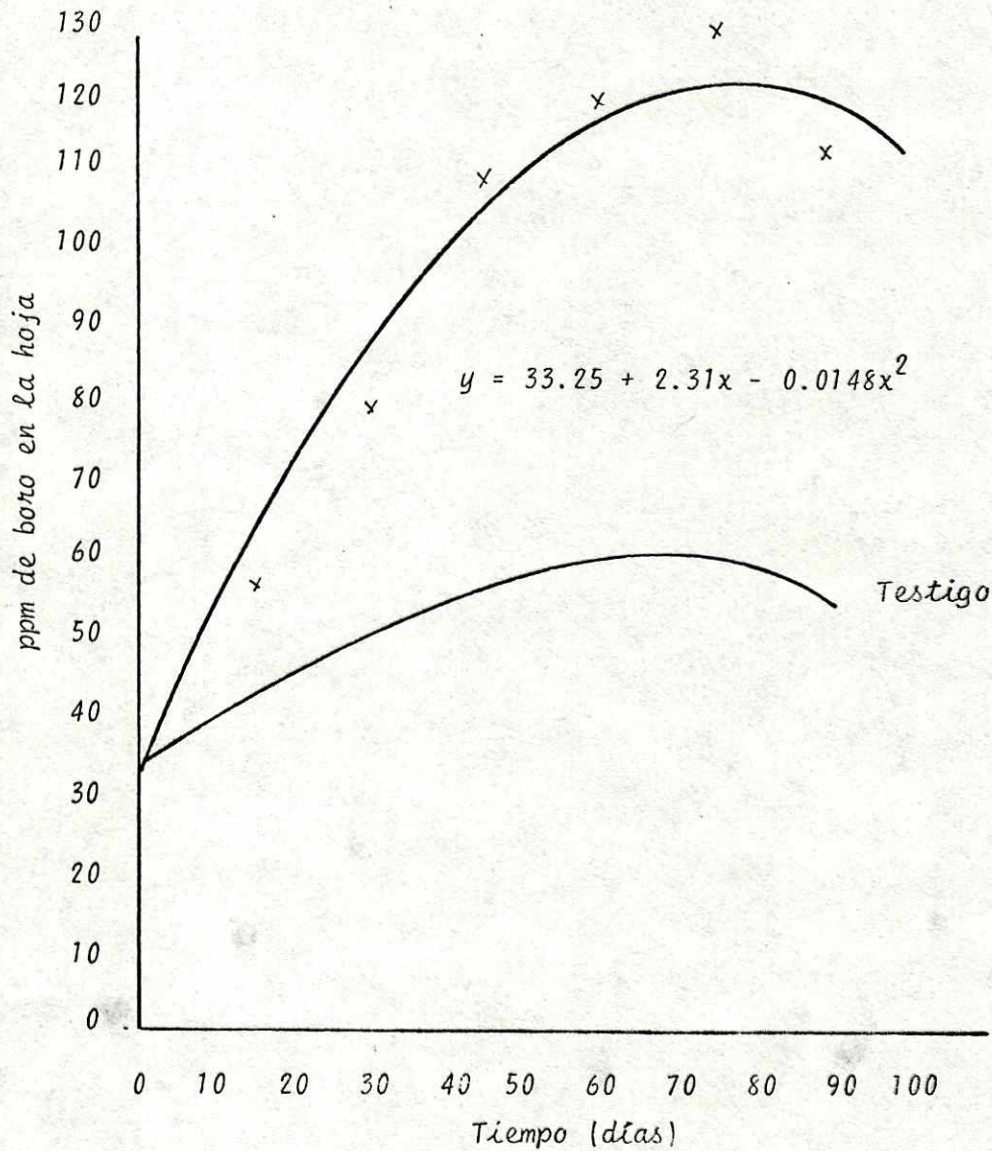


Fig. No. 5. Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 2.5 grs de boro elemental por litro de aspersion.

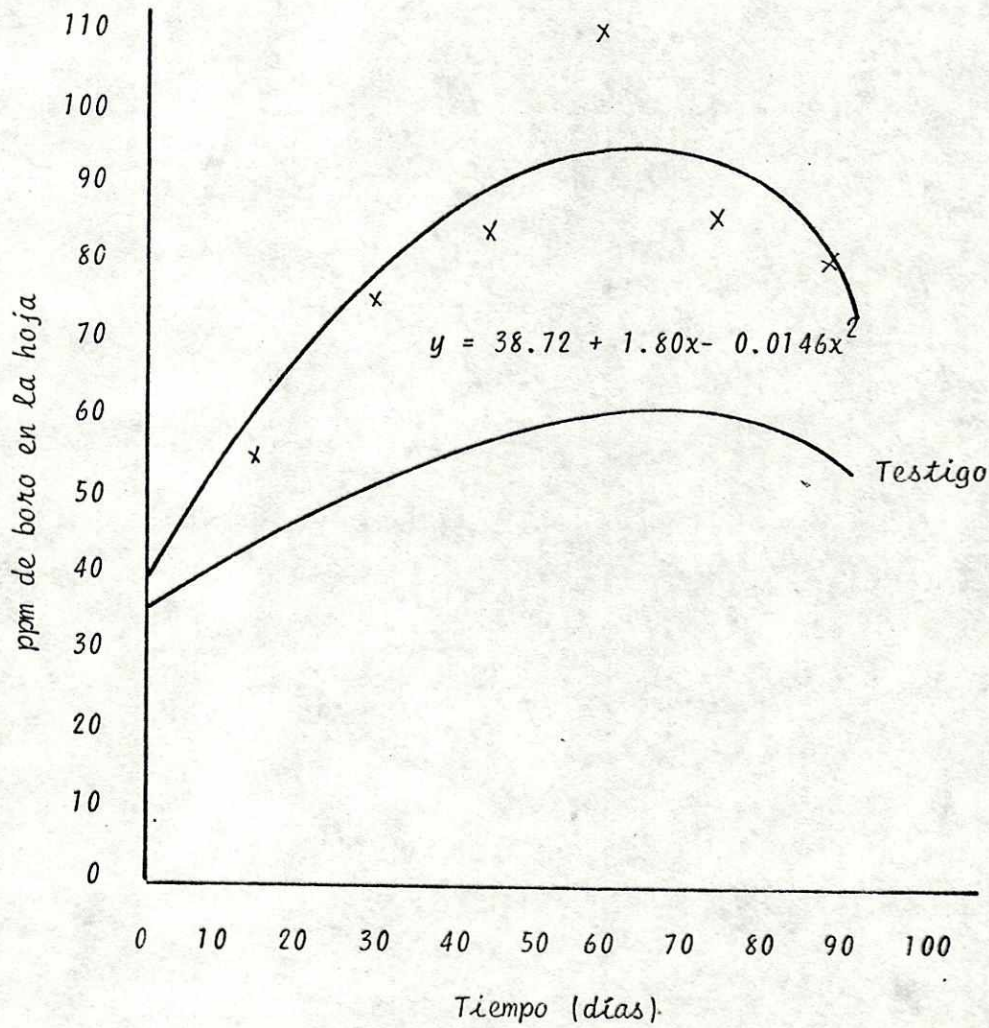


Fig. No. 6. Variación en el contenido foliar de boro para la dosis de 1.25 grs de boro elemental por litro de aspersion.

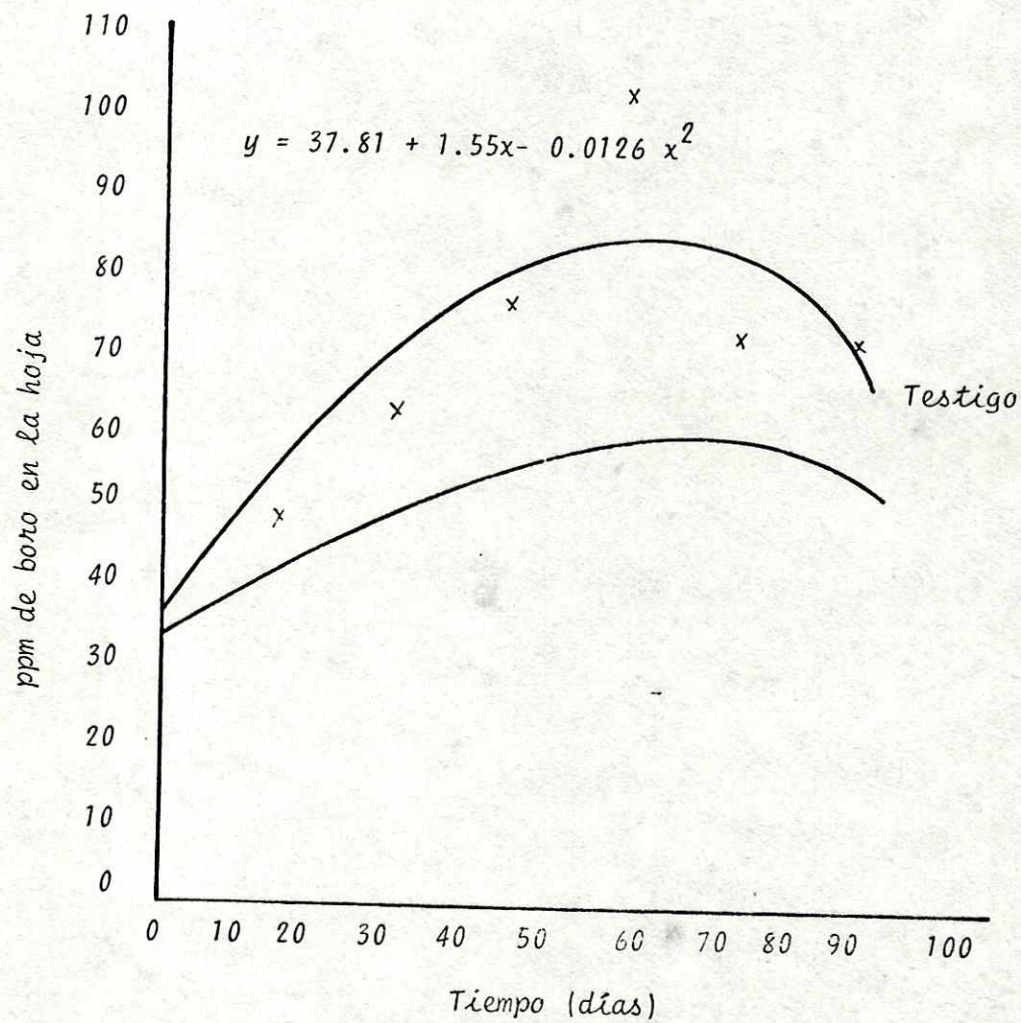


Fig No. 7. Variación en el contenido foliar de boro para la dosis 0.625 grs de boro elemental por litro de aspersion

das para cada uno de los tratamientos, comparados con una curva calculada de igual forma para el testigo, la cual sufrió muy poca variación a través del tiempo que duró el experimento.

Al observar estas curvas calculadas, se puede notar la diferencia que se presenta en la tendencia seguida por las curvas de los tratamientos aplicados al suelo y la tendencia presentada por los tratamientos al follaje, se observa que en los tratamientos al follaje se tiene una mayor velocidad de incremento diario en el contenido de boro al derivar sus funciones con respecto al tiempo, pero que al mismo tiempo, presentan una aceleración negativa mayor, en los tres niveles con respecto a los tratamientos al suelo.

En general las formas de aplicación demuestran 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 re<sup>S</sup>puesta a la aspersion era casi instantánea con un incremento rápido a partir de los primeros días en el contenido inicial de boro, sin embargo, se encontró luego una declinación rápida a partir de los 60 días 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 y dejó la zona de deficiencia después de los 30 días; pero resultó tener un efecto más prolongado, lo que significa que desde el punto de vista práctico, sería más favorable la aplicación al suelo. Una absorción rápida con un buen contenido de humedad del suelo fue reportada por Muller (18).

El segundo punto concierne al hecho de muestrear hojas del tercer

→ par (ver definición en pag. 23), estas al comienzo fueron hojas que recibieron aspersion, pero que en el transcurso del tiempo, o sea al producirse nuevo crecimiento, se tomaron como tercer par las hojas que no fueron atomizadas con boro. Como el traslado de este elemento es muy deficiente desde el crecimiento viejo a las partes jóvenes (18), era de esperar encontrar un descenso rápido en la concentración foliar al muestrear hojas no incluidas en la aplicación inicial. Al mismo tiempo, se vio la persistencia del efecto del boro aplicado al suelo a través de un contenido foliar elevado.

Las dosis más altas de aplicación de boro, de cualquiera de las formas de aplicación, o sea el nivel de 10 grs y 2.5 grs de boro elemental, aplicados al suelo y por litro de aspersion respectivamente, incrementaron el contenido foliar en mayor proporción que las dosis menores. Si se toma el promedio del contenido inicial de boro en el área experimental, 42.88 ppm como el 100% de contenido inicial, se tienen incrementos máximos de 288% y 204% en los niveles mencionados anteriormente.

En general, el contenido de boro en las hojas del tercer par subió por efecto de la aplicación al suelo hasta los 90 días de estudio, mientras que con la aspersion declinó rápidamente a los 60 días. Por tanto, esta observación da una idea clara de la frecuencia de fertilización de boro, la que debe ser probablemente de 2 a 3 aplicaciones al año, si se hace al suelo y quizá de 5 o más si se hace 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.

## V. CONCLUSIONES

En general, la aplicación de boro a cafetos incrementa considerablemente el contenido foliar, a través del tiempo, las aplicaciones al suelo, tienen un efecto más favorable comparado con las aspersiones al follaje.

Evidentemente y confirmando lo esperado, la atomización surte un efecto inmediato, elevando el contenido de boro significativamente, pero su declinación es también rápida; por otra parte las aplicaciones al suelo tienen una respuesta lenta en el contenido foliar, pero su efecto persiste por mucho más tiempo.

La dosis de 10 grs de boro elemental por planta al suelo, es la que mejor llena las demandas del elemento en la planta para las condiciones que se dieron en el experimento.

Para la corrección de una deficiencia de boro en plantaciones de café, y su posterior mantenimiento a través del año, deberán de hacerse en aplicaciones al suelo con un intervalo de cuatro meses, esto da tres aplicaciones al año que podrán coincidir con las aplicaciones de fertilizante compuesto; la primera, antes del inicio de las lluvias, en el mes de marzo - abril, la segunda en el mes de julio - agosto y la tercera en el mes de noviembre - diciembre.

El análisis foliar, es la mejor arma con que se cuenta, para la determinación de una deficiencia de boro, en las plantaciones de café. Las hojas del tercer par de las bándolas centrales dan buen resultado para este tipo de evaluaciones.

## BIBLIOGRAFIA

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, H.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. BRENCHELEY, W. The action of certain compounds of zinc, arsenic and boron on the growth of plant. *Annals of Botany* 28: 283-302. 1939
4. COOK, R.L. y MILLAR, C.E. Some soil factors affecting boron availability. *Soil Science Society of America. Proceedings*. 4: 297-301. 1939.
5. COSTA RICA. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Metodología para Análisis de Suelos, Plantas y Aguas. Costa Rica. 1980
6. EATON, F.M. y WILCOX, L.V. Deficiency, toxicity, and accumulation of boron in plants. *JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH* 69(6): 237-272. 1944.
7. FASSBENDER, H.W. *Química de Suelos*. San José, Costa Rica. 1982. 398 p.
8. FIESTER, D. Nutrición del Cafeto. *Revista Cafetalera (Guatemala)* 1961: 10-13. Diciembre 1961.
9. GAUCH, H.G. y DUGGER, W.M. The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiology* 28 (3): 457-466. 1953
10. 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. BOLETIN DIVULGATIVO 18. 1954. 24 p.
11. Guatemala. ANACAFE, AGA e INTECAP. El cafeto. Sistemas racionales del cultivo. 5a. etapa. Guatemala. INTECAP. 1977. pp. 71-73.
12. Guatemala. ANACAFE, AGA e INTECAP. Nutrición mineral del cafeto. Caficultura Intensiva. 6a. etapa. Guatemala. INTECAP. 1978. pp. 19, 40-42.
13. Guatemala. FEDERACION DE COOPERATIVAS PRODUCTORAS DE CAFE. Curso de caficultura. FEDECOCAGUA. 1982. pp. 15-18.

14. JACKSON, M.L. *Análisis químico de suelos*. Barcelona, Ediciones Omega S.A. 1964. 662 p.
15. JOHNSTON, E.S. y DORE, W.H. *The relation of boron to the growth of the tomato plant*. *Science Gt* (1734): 324-325. 1928.
16. 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.
17. MOWRY, H. *Costa Rica mejorará su café*. *HACIENDA* 49(2): 40-41. 1954.
18. MULLER, L. *La aplicación del diagnóstico foliar en el caféto (Coffea arábica L.) para una mejor fertilización*. *Turrialba (Costa Rica)* 9(4): 110-122. 1959.
19. OERTY, 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.
20. PEREZ, G.L. *Estudio sobre el tamaño de la parcela experimental en café*. Costa Rica. SERVICIO TECNICO INTERAMERICANO DE COOPERACION AGRICOLA. Información No. 7. 1959. 23p.
21. PEREZ, V.M. *Algunas deficiencias minerales del caféto en Costa Rica*. STICA, Costa Rica. 27p. pp. 15-22.
22. PROPHETE, FORTUNE, J. *Efecto de aspersiones de azúcar y boro sobre algunos aspectos del crecimiento y de la nutrición mineral de plantas de café*. Tesis Mag Agr. Turrialba, Costa Rica. IICA. 1962. 68 p.
23. REYES, P. *Diseño de experimentos aplicados*. Mexico, Editorial Trillas. 1981. 344 p.
24. ROJAS, M. y ROVALO, M. *Fisiología Vegetal aplicada*. New York. Mc Graw-Hill. 1979. 262p pp 108-110.
25. 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(3): 360-364. 1945.
26. SKOK, J. *Relationship of boron nutrition to radio-sensitivity of sunflower plants*. *Plant physiology* 32(6): 648-658. 1957.
27. 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.
28. TANAKA, H. *Boron absorption by excised sunflower root*. *Soil Science and plant nutrition* 13(3): 77-82. 1967.
29. Y.H., R.Y. y CLARK, H.E. *Carbohydrates and protein content of*

boron defficient tomato root tips in relation to anatomy and  
growth. PLANT PHYSIOLOGY. 40(2): 312-315. 1965.