

**Universidad Nacional Agraria La Molina**

**Programa Académico de Agronomía**



**La Toxicidad del Boro en los Cultivos de  
Maíz, Trigo y Alfalfa Desarrollados en  
dos Suelos**

**Tesis para optar el Título de  
INGENIERO AGRONOMO**

**Luis Rubén Bazán Tapia**

**LIMA - PERU**

**1971**

## INDICE GENERAL

Capítulo.	Pág.
Resumen	9
I Introducción	11
II Revisión de Literatura	13
III Materiales y Métodos	19
IV Resultados y Discusión	23
V Conclusiones	43
VI Bibliografía	45
Apéndice	48

## LISTA DE TABLAS

Tabla No.	Pág.
1. Rendimiento de materia seca, en los tres cultivos desarrollados en los dos suelos.	30
2. Análisis de variancia para los rendimientos de materia seca en el cultivo de maíz.	33
3. Análisis de variancia para los rendimientos de materia seca en el cultivo de trigo.	33
4. Análisis de variancia para los rendimientos de materia seca en el cultivo de alfalfa.	33
5. Concentración de Boro en los tejidos aéreos de los tres cultivos desarrollados en los dos suelos.	36
6. Análisis de variancia para la concentración de Boro en los tejidos aéreos del maíz.	38
7. Análisis de variancia para la concentración de Boro en los tejidos aéreos del trigo.	38
8. Análisis de variancia para la concentración de Boro en los tejidos aéreos de la alfalfa.	38
9. Miligramos de elemento absorbido por las plantas de maíz, trigo y alfalfa desarrollados en los dos suelos.	41

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotog.No.		Pág.
1.	Efecto tóxico del Boro en el cultivo de maíz desarrollado en el suelo La Molina, Franco Arenoso.	24
2.	Efecto tóxico del Boro en el cultivo de maíz desarrollado en el suelo Puente Piedra, Franco.	24
3.	Efecto tóxico del Boro en el cultivo de trigo desarrollado en el suelo La Molina, Franco Arenoso.	26
4.	Efecto tóxico del Boro en el cultivo de trigo desarrollado en el suelo Puente Piedra, Franco.	26
5.	Efecto tóxico del Boro en el cultivo de trigo.	26
6.	Efecto tóxico del Boro en el cultivo de alfalfa desarrollado en el suelo La Molina, Franco Arenoso.	28
7.	Efecto tóxico del Boro en el cultivo de alfalfa desarrollado en el suelo Puente Piedra, Franco.	28

## LISTA DE FIGURAS

Fig.No.	Pág.
1. Efecto de la aplicación de Boro sobre el rendimiento de materia seca en el cultivo de maíz.	31
2. Efecto de la aplicación de Boro sobre el rendimiento de materia seca en el cultivo de trigo.	31
3. Efecto de la aplicación de Boro sobre el rendimiento de materia seca en el cultivo de alfalfa.	31
4. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el rendimiento de materia seca en el cultivo de maíz.	34
5. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el rendimiento de materia seca en el cultivo de trigo.	34
6. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el rendimiento de materia seca en el cultivo de alfalfa.	34
7. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración de Boro en la parte aérea del cultivo de maíz.	37
8. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración de Boro en la parte aérea del cultivo de trigo.	37
9. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración de Boro en la parte aérea del cultivo de alfalfa.	37
10. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y la concentración de Boro en el tejido aéreo del cultivo de maíz.	39

Fig.No.

Pág.

11. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y la con  
centración de Boro en el tejido aereo del cultivo de  
trigo. 39
12. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y la con  
centración de Boro en el tejido aereo del cultivo de  
alfalfa. 39

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS DEL APENDICE

Tabla.No.	Pág.
10. Análisis físico-químico de los suelos.	48
11. Concentración de los elementos N-P-K-Ca-Mg. en la parte aérea de los tres cultivos desarrollados en el suelo La Molina, Franco Arenoso.	49
12. Concentración de los elementos N-P-K-Ca-Mg. en la parte aérea de los tres cultivos desarrollados en el suelo Puente Piedra, Franco.	50
Figura.No.	
13. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Nitrógeno en la parte aérea del maíz.	51
14. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Fósforo en la parte aérea del maíz.	51
15. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Potasio en la parte aérea del maíz.	51
16. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Calcio en la parte aérea del maíz.	52
17. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Magnesio en la parte aérea del maíz.	52

18. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Nitrógeno en la parte aérea del trigo. 53
19. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Fósforo en la parte aérea del trigo. 53
20. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Potasio en la parte aérea del trigo. 53
21. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Calcio en la parte aérea del trigo. 54
22. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Magnesio en la parte aérea del trigo. 54
23. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Nitrógeno en la parte aérea de la alfalfa. 55
24. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Fósforo en la parte aérea de la alfalfa. 55
25. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Potasio en la parte aérea de la alfalfa. 55
26. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Calcio en la parte aérea de la alfalfa. 56
27. Efecto de la aplicación de Boro sobre la concentración del Magnesio en la parte aérea de la alfalfa. 56
28. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Nitrógeno extraído por el cultivo de maíz. 57
29. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Nitrógeno extraído por el cultivo de trigo. 57

Figura.No.	Pág.
30. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Nitrógeno extraído por el cultivo de alfalfa.	57
31. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Fósforo extraído por el cultivo de maíz.	58
32. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Fósforo extraído por el cultivo de trigo.	58
33. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Fósforo extraído por el cultivo de alfalfa.	58
34. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Potasio extraído por el cultivo de maíz.	59
35. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Potasio extraído por el cultivo de trigo.	59
36. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Potasio extraído por el cultivo de alfalfa.	59
37. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Calcio extraído por el cultivo de maíz.	60
38. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Calcio extraído por el cultivo de trigo.	60
39. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Calcio extraído por el cultivo de alfalfa.	60
40. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Magnesio extraído por el cultivo de maíz.	61
41. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Magnesio extraído por el cultivo de trigo.	61
42. Regresión y correlación entre el Boro aplicado y el Magnesio extraído por el cultivo de alfalfa.	61

## RESUMEN

Con el fin de determinar el efecto tóxico del Boro en los suelos y conocer la sintomatología manifestada en la parte aérea de la planta; se aplicaron diferentes niveles de Boro en forma de solución, a dos suelos procedentes de la costa central del Perú donde se hicieron crecer tres cultivos.

La investigación fue llevada a cabo bajo condiciones de invernadero, utilizando los suelos La Molina, Franco Arenoso (60 ppm. de Boro) y Puente Piedra, Franco (4 ppm. de Boro). Las especies vegetales fueron: maíz (PM-204), trigo (cv. Salcantay) y alfalfa (cv. San pedrana). Ocho días después de iniciada la germinación se aplicaron: 0-4-8-16-24-32 ppm. de Boro.

El diseño experimental empleado fue el completamente randomizado. Se obtuvo información gráfica mediante fotografías del efecto tóxico. Se determinó el rendimiento de materia seca, la concentración de Boro en los tejidos y la extracción de los elementos N-P-K-Ca-Mg. por las plantas.

Los síntomas de toxicidad se caracterizaron por clorosis y necrosis marginal en las hojas adultas. Cuando las plantas recibieron 24 y 32 ppm. de Boro, los síntomas de toxicidad se presentaron tanto en las hojas adultas como en las jóvenes. Debido al efecto tóxico se produjo reducción en el crecimiento y menor grosor de los tallos.

Las plantas crecidas en el suelo Puente Piedra, Franco, en general presentaron síntomas menos intensos que las desarrolladas en el suelo

La Molina, Franco Arenoso; e inclusive las plantas de trigo y alfalfa crecidas en éste último, cuando recibieron 24 y 32 ppm. de Boro llegaron a morir en su totalidad.

Bajo las condiciones de este experimento, el cultivo de maíz se mostró como el más tolerante a los excesos de Boro en el suelo La Molina, Franco Arenoso.

El rendimiento de materia seca fue disminuida significativamente en los tres cultivos, conforme se incrementaron los niveles de Boro aplicado al suelo.

La concentración de Boro en los tejidos de maíz fueron las más altas que para el trigo y la alfalfa. Se estableció correlación positiva altamente significativa entre los niveles de Boro aplicados al suelo y la concentración de éste en los tejidos.

La extracción de los elementos N-P-K-Ca-Mg., fueron disminuidos estableciéndose correlaciones negativas significativas.

## INTRODUCCION

El Boro es un microelemento esencial para el crecimiento de las plantas. En el suelo este elemento, además puede encontrarse en forma deficiente o tóxica. Este microelemento ha sido estudiado con mayor intensidad con mayor intensidad con relación a su deficiencia. Sin embargo, poco se conoce sobre su toxicidad. El Laboratorio de Salinidad de USA (21) ha dado ha conocer una lista de los cultivos resistentes a los excesos de Boro en los suelos, pero los límites exactos de tolerancia en relación a la concentración óptima en el suelo, no han sido establecidos para la mayoría de las plantas bajo diferentes condiciones ecológicas.

Los límites de concentración de Boro para producir deficiencia o toxicidad se saben que son muy estrechos; pero ellos aún no están bien establecidos. Estos pueden estar influenciados por algunos factores tales como: humedad, textura, pH., y Calcio del suelo.

La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) (12), ha realizado un reconocimiento de los suelos agrícolas en la costa sur, con relación a la concentración de Boro presente en el suelo. Este reconocimiento revela que muchos de los suelos estudiados poseen un alto contenido de Boro soluble en agua, los que según el Laboratorio de Salinidad USA (21), podrían ser calificados como no aptos para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, cabe destacar que muchos de los cultivos que se desarrollan sobre ellos no presentan síntomas de toxicidad, mientras que otros sí parecen presentarlos.

En nuestro medio los trabajos sobre toxicidad de Boro son relativamente pocos. En vista de esto, el presente trabajo tiene por objeto desarrollar la sintomatología de la toxicidad del Boro, adicionando para ello diferentes niveles de este elemento a dos suelos, procedentes de la costa central del Perú, cuyos contenidos de Boro soluble en agua caliente fueron de 60 y 4 ppm. Los cultivos de maíz, trigo y alfalfa fueron seleccionados de acuerdo a su tolerancia relativa al Boro e importancia agrícola bajo nuestras condiciones. El efecto de los niveles crecientes de Boro será también evaluado através del rendimiento de materia seca, concentración de Boro en los tejidos vegetales y la extracción de los elementos nutrientes tales como: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio.

## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

Se ha determinado que la absorción del Boro y la toxicidad son proporcionales a la concentración de Boro en el suelo, soluble en agua caliente. Las plantas han sido divididas en grupos de acuerdo a su tolerancia relativa a las altas concentraciones de Boro, pero los límites de tolerancia con relación a la concentración de Boro en el suelo no han sido establecidas para la mayoría de ellas.

Los primeros trabajos realizados por Neller y Morse (13), mostraron que el frijol y el maíz fueron cultivos más sensibles que la papa. Los síntomas de toxicidad en el maíz incluyeron clorosis y un quemado marginal; en la papa los folíolos fueron ennegrecidos en las márgenes. Scofield y Wilcox (17) observaron clorosis en las hojas maduras de cítricos que fueron regados con aguas que contenían de 0.6 a 5.0 ppm. de Boro. En hojas de tomate bajo las mismas condiciones, observaron quemado marginal angosto de color pardo oscuro en las hojas viejas.

Eaton (4) estudiando el efecto de la deficiencia y exceso del Boro sobre las plantas, encontró que la remolacha azucarera fue una de las más tolerantes a los altos suministros de Boro, seguido en orden decreciente de tolerancia por el rábano, maíz y frijol. Él observó, que los efectos tóxicos pueden aparecer en hojas viejas de las plantas, las cuales mostraban deficiencia en las hojas jóvenes. Esto le llevó a concluir que la acumulación de Boro no siempre está relacionado con la tolerancia a los excesos de Boro. De este

modo, el melón mostró alta tolerancia pero bajo nivel de acumulación. Este hecho, llevó a concluir que la fluctuación entre deficiencia y exceso es muy estrecha para la mayoría de las plantas; además las concentraciones necesarias para el crecimiento de las plantas con altos requerimientos puede ser tóxica para las plantas sensibles.

Trabajos de investigación han demostrado que existen pronunciadas variaciones en el contenido de Boro en las hojas de limón y del clavel, Oertli (14). Para producir necrosis en las hojas, la concentración de Boro en los tejidos de limón y clavel fueron aparentemente similares; sin embargo el clavel es considerado como muy tolerante y el limón como muy sensitivo (21). Esto parece ser posible, sin embargo la diferencia en tolerancia al Boro por las plantas podría ser causada en menor grado por la diferencia en la sensibilidad de las hojas que por las diferentes proporciones de acumulación del Boro en las hojas.

Oertli y Kohl (15) estudiando la tolerancia de varias especies a los excesos de Boro, encontraron que la toxicidad se manifiesta por clorosis y necrosis. Estos síntomas indicaron que hay una relación entre la forma de la nervadura de las hojas y la toxicidad. Así, en las hojas de nervadura paralela como las del maíz, que terminan a lo largo del Borde, los síntomas de toxicidad son encontrados en estos bordes; en las hojas donde las nervaduras son de distribución radial como las del geranio, la toxicidad aparece alrededor de toda la hoja. En hojas con una red de nervaduras bien desarrolladas y muchas nervaduras secundarias, se observa una tendencia de encontrar síntomas de toxicidad en las áreas formadas por las nervaduras principales y las secundarias. Estas observaciones soportarían la teoría de que el Boro se mueve

por la corriente de transpiración. Por medio de estas correlaciones Oertli y Kohl, sustentan la hipótesis de que la clorosis y necrosis debido al exceso de Boro son probablemente causadas por la toxicidad directa del Boro en los sitios de daño y no indirectamente por la acción del Boro a alguna parte distante de la hoja. Esta localización de la toxicidad puede explicar por qué muchas veces no se produce reducción en el rendimiento cuando está asociado con la toxicidad del Boro.

Sin embargo las investigaciones de Eaton (5) indicaron que los rendimientos fueron ligeramente disminuidos por la toxicidad del Boro; tal vez por la reducción del área fotosintética, pero en una fracción muy pequeña.

Las investigaciones de Scott (18) señalan que la relación de respiración de los tejidos de las hojas con un alto contenido de Boro es ligeramente mayor al de los tejidos con bajo contenido de Boro, pero no lo suficiente para causar una función anormal.

Bradford (1) indica que los síntomas de toxicidad al Boro están caracterizados generalmente por clorosis y necrosis en los diferentes cultivos. Los cultivos han sido caracterizados en grupos de acuerdo a su tolerancia relativa al Boro; así se han clasificado en plantas sensibles, semi tolerantes y tolerantes. Esta clasificación fue originalmente presentada por Eaton (5) y posteriormente modificadas por las observaciones hechas en el campo.

El tiempo necesario para producir los síntomas de toxicidad en los cultivos es muy variable. Esto fue experimentado por Oertli y Kohl (15), mediante la adición de 10 ppm. de Boro en forma de solución; él concluyó

que el tiempo necesario fluctuaba entre 2 a 77 días. También midió en las áreas afectadas la concentración de Boro, encontrando una amplia variación, mostrando así que las áreas necróticas contenían más de 1500 ppm., las áreas cloróticas contenían alrededor de 1000 ppm., mientras que las áreas verdes entre 100 a 1000 ppm.

La toxicidad del Boro representa todavía un importante problema agrícola en muchas regiones. Los suelos pueden contener excesivas concentraciones de Boro bajo condiciones naturales de campo, o acumular altos contenidos debido a una fertilización no adecuada con altas cantidades de Boro. En el Perú La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) ha estudiado los suelos agrícolas de la costa sur, revelando que el 83 % de ellos pueden ser calificados como salinos y sódicos y que muchos de ellos tienen un alto contenido de Boro soluble en agua. Masson (12).

Bravo (2) en el valle de Tambo (Perú) encontró síntomas de toxicidad caracterizados por clorosis y necrosis marginal ocasionados por la alta concentración de Boro.

Fox (7) estudiando el comportamiento de cuatro especies vegetales en suelos recolectados en los valles de la costa sur del Perú, con alto contenido de Boro (5 a 115 ppm.) (12), encontró ligeros síntomas de toxicidad en las plantas de alfalfa, algodón y maíz; las plantas de frijol fueron las que mostraron los síntomas más severos de toxicidad y la más alta acumulación de Boro en los tejidos. Los rendimientos de las cuatro especies vegetales sufrieron una disminución significativa cuando los suelos tuvieron más de 55 ppm. de Boro soluble en agua caliente.

Un exceso de Boro puede presentarse en suelos con alto contenido de materia orgánica. Este exceso de Boro fue demostrado por Mac Kay y colaboradores (11) quienes encontraron toxicidad en plantas de avena, frijol, tomate y papa cuando crecieron en concentraciones de 4.8-6.7-7.2 y 8.0 ppm. de Boro en el suelo.

Para contrarrestar el efecto tóxico del Boro se han realizado diferentes estudios. Jones y Scarseth (10), Reeve y Shive (16), Brennan y Shive (3) demostraron que adicionando Calcio al suelo se disminuía el efecto tóxico del Boro. Fox (6) confirmó que elevando el pH. y las concentraciones de Calcio en las soluciones nutritivas, la absorción de Boro por las plantas de algodón que crecieron en las soluciones con altas concentraciones de Boro fue disminuida en un 50 %. Algunas prácticas culturales pueden ayudar a disminuir el efecto tóxico del Boro; así Harigopal y Rao (9) encontraron que plantas crecidas con concentraciones de 10 a 100 ppm. de Boro, pueden ser recuperadas de los síntomas de toxicidad si el suelo es lavado; sin embargo el rendimiento podría ser menor que para aquellas no tratadas con Boro.

El rol esencial del Boro fue demostrado a través de numerosas investigaciones. Varios papeles importantes le atribuyen a este elemento. Según las investigaciones de Gauch y Dugger (8), consideraron que el Boro combinado con los azúcares formaban compuestos complejos móviles que promovían la traslocación de los azúcares; esta teoría fue desaprobada por las investigaciones de Ziegler; Skok; Neales; Skol'nik y Solov'eva; citados por Skol'nik (19) No obstante ello lleva a aclarar que el Boro afecta a los carbohidratos indirectamente y no directamente como fue pensado inicialmente. Los trabajos de Dutta y McIlrath; Starch; citados por Skol'nik (19), han mostrado que

una deficiencia de Boro puede reducir la lignificación en los tallos y raíces. Los experimentos de Reed; Perkins y Aronoff; Watanabe y colaboradores, citados por Skol'nik (19) mostraron que varios compuestos fenólicos se acumulan en los tejidos de las plantas deficientes en Boro, algunos de estos compuestos son precursores de la lignina.

Una función atribuida al Boro es que este elemento tiene algún papel sobre las relaciones de agua a nivel celular. Tisdale y Nelson (20) indican que las plantas cultivadas sin Boro, transpiran menos que las cultivadas con este elemento. Esta reducción de la transpiración fue atribuida a una disminución en la absorción de agua y a la anormal morfología de las plantas por la carencia de Boro.

Trabajos recientes realizados en Rusia, presentados por Skol'nik (19) han mostrado que una deficiencia de Boro produce una disminución del contenido de ácido ribonucleico (RNA) en los brotes y raíces de las plantas de frijol y girasol; además el ácido desoxirribonucleico (DNA) de estos órganos también se redujo. Al aplicarse Boro, el contenido de RNA y DNA retornó a un contenido normal en los brotes y raíces. Estos trabajos fueron los que desaprobaron la teoría de Gauch y Dugger.

A pesar de todas las investigaciones hasta el momento, es imposible exponer el papel preciso del Boro; sin embargo este elemento es esencial para las plantas.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

El experimento fue conducido en condiciones de invernadero, utilizando dos suelos identificados como: suelo No.1 La Molina, Franco Arenoso procedente del campo San Francisco fundo La Molina y suelo No.2 Puente Piedra, Franco procedente del fundo Puente Piedra Lima.

El análisis de Boro soluble en agua caliente revela 60 y 4 ppm. de Boro para los suelos 1 y 2 respectivamente. Los resultados completos de los análisis físico y químico de estos suelos se presentan en la tabla No.10 del apéndice.

Las plantas experimentales fueron: maíz (*Zea mays*. híbrido FM.204), trigo (*Triticum vulgare*. cv. Salcantay), alfalfa (*Medicago sativa*. cv. San pedrana). Estas plantas fueron seleccionadas de acuerdo a su tolerancia relativa al Boro según el Laboratorio de Salinidad USA (21) y a su importancia agrícola en nuestro medio.

#### 3.1 Materiales Empleados.

##### 3.1.1 Materiales de Invernadero.

Macetas de barro cocido, capacidad de 3 kilos. Forradas interiormente con plástico.

Balanza con aproximación de 1 gramo.

Probeta graduada con capacidad de 1 litro.

### 3.1.2 Materiales de Laboratorio.

Bolsas de papel enceradas.

Balanza con aproximación de 0.1 gramos.

Estufa graduable hasta 105°C.

Molino de hojas Wiley

Material de vidrio libre de Boro.

Espectrofotómetro Coleman modelo 6C.

Fotómetro a la llama Coleman modelo 21.

### 3.2 Procedimiento Experimental.

Los suelos empleados fueron pasados a travez de un tamiz de 2 mm. de diámetro. Una vez taradas las macetas se colocaron 3 kilos de TFSA en cada una de ellas. Ambos suelos recibieron fertilización NPK en los siguientes niveles equivalentes:

100 Kg/Ha. de Nitrógeno. Fuente: Urea (46 % N)

100 Kg/Ha. de Fósforo. Fuente: Superfosfato Simple (20 %  $P_2O_5$ )

60 Kg/Ha. de Potasio. Fuente: Cloruro de Potasa (60 %  $K_2O$ )

La siembra se realizó en los suelos previamente humedecidos a su capacidad de campo con agua destilada. El número de plantas por maceta varió de acuerdo a la especie vegetal; pero siempre se consideró un número adecuado para obtener materia seca en una cantidad suficiente para los análisis químicos. Ocho días después de iniciada la germinación, se procedió a la aplicación de Boro en forma de solución, conjuntamente con el agua de riego, utilizando para esto una solución patrón de Tetraborato de Sodio ( $B_4O_7 \cdot Na_2 \cdot 10 H_2O$ ). Para cada tratamiento se aplicó una determinada cantidad de mililitros de la solución patrón, de acuerdo a la siguiente distribución:

### Distribución de los tratamientos

No.Trat.	ml. tomados de la solución patrón de 6000 ppm. de Boro.	ppm. de Boro aplicados al suelo.
I	0	0
II	2	4
III	4	8
IV	8	16
V	12	24
VI	16	32

Se consideraron en total 6 tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Las macetas y los tratamientos fueron distribuidos en forma completamente al azar y randomizados. La duración del experimento fue de 45 días, después de la cual se procedió a la cosecha de la parte aérea. Los riegos fueron siempre con agua destilada y llevándolos a su capacidad de campo. Los tejidos cosechados, fueron lavados con agua acidulada y secados a la estufa a 75°C. por 24 horas. Posteriormente pesadas y determinándose así la materia seca. Estas partes aéreas fueron molidas en un molino Wiley a través de una criba de 40 mesh.

### 3.3 Métodos Analíticos.

#### 3.3.1 Métodos Analíticos Empleados para los Suelos.

Para los análisis de los suelos, físicos y químicos, se emplearon los métodos utilizados en el Laboratorio de Análisis del Departamento de Suelos y Geología de la UNA La Molina. La determinación del Boro en los suelos, se siguió el procedimiento indicado por el Laboratorio de Salinidad, USDA (21).

### 3.3.2 Métodos Analíticos Empleados para los Tejidos.

Porciones determinadas de materia seca molida fueron calcinadas en una mufla eléctrica a 450°C. durante 8 horas. Los elementos solubles fueron extraídos mediante ácido clorhídrico QP y en el extracto se determinaron los elementos B-P-K-Ca-Mg. Otra porción de la muestra seca molida fue utilizada para la determinación de la concentración de Nitrógeno. Los métodos utilizados para cada uno de estos elementos fueron los siguientes:

Nitrógeno: método del micro Kjeldahl modificado

Fósforo: método del ácido 1,2,4 amino naftol sulfónico. Tomando una alícuota del extracto clorhídrico y desarrollo del color; lectura de la densidad óptica en el espectrofotómetro a 560 mμ.

Potasio: lectura de una dilución del extracto clorhídrico en el fotómetro a la llama.

Calcio: método del EDTA; titulación de una alícuota del extracto clorhídrico ante la presencia del indicador furfurato de amonio.

Magnesio: método del amarillo de Thyazol; tomando una alícuota del extracto clorhídrico y desarrollo de color. Lectura de la densidad óptica en el espectrofotómetro a 545 mμ.

Boro: desarrollo de color en una alícuota del extracto clorhídrico mediante el carmín sulfúrico. Lectura de la densidad óptica en el espectrofotómetro a 590 mμ.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

Para un mejor conocimiento práctico de la sintomatología producida por el efecto tóxico del Boro, se han grabado estas manifestaciones mediante diapositivas a color; sólo algunas de ellas son presentadas. Los síntomas de toxicidad en los tres cultivos presentan las características señaladas por Eaton (4), Oertli (14) y Bradford (1). Cuando la toxicidad es ligera, las hojas adultas presentan clorosis marginal; si la toxicidad es intensa, las hojas adultas y jóvenes presentan clorosis que luego evolucionan a necrosis. En algunos casos, al nivel de 32 ppm. de Boro aplicado, la necrosis abarca toda el área foliar produciendo la muerte de la planta. Fotografías Nos. 3 y 6.

#### 4.1 Síntomas de Toxicidad.

##### 4.1.1 Síntomas de Toxicidad en el Cultivo de Maíz.

Estos síntomas que se presentan en el cultivo de maíz, vamos a discutirlo en forma separada para cada suelo. El maíz desarrollado en el suelo La Molina, Franco Arenoso (en las fotografías: suelo No. 1), los síntomas se caracterizaron por clorosis marginal que luego evolucionan a necrosis. En los tratamientos II y III la clorosis se inicia por el ápice de la hoja y avanza muy ligeramente por los bordes llegando aproximadamente hasta una tercera parte de la longitud de esta. No compromete el área central y las hojas afectadas son las adultas. En los tratamientos IV, V y VI la toxicidad es más intensa; en este caso el área afectada es mayor que en el caso anterior, e inclusive afecta gran parte del área central de la hoja y afecta tanto a las hojas adultas como a las jóvenes, tal como se puede apreciar en la fotografía No.1

El maíz desarrollado en el suelo Puente Piedra, Franco (en las fotografías: suelo No.2) se apreció la sintomatología en forma similar a lo manifestado para el suelo La Molina, Franco Arenoso; sin embargo, haciendo una comparación del efecto tóxico entre los dos suelos se pudo notar que la toxicidad es menos intensa en el suelo Puente Piedra, Franco; tal como se puede apreciar en la fotografía No.2



Fotografía No.1 Efecto tóxico del Boro en el Cultivo de Maíz  
Desarrollado en el suelo La Molina, Franco Arenoso.



Fotografía No.2 Efecto tóxico del Boro en el Cultivo de Maíz  
Desarrollado en el suelo Puente Piedra, Franco.

Los síntomas observados, debido al efecto tóxico, concuerdan con lo indicado por Oertli y Kohl (15) para las hojas de venación paralela; sin embargo no concuerdan con lo manifestado para el área afectada, donde a los niveles de 24 y 32 ppm. de Boro aplicado, los síntomas de toxicidad comprometen el área central de la hoja, tal como se muestran en las fotografías 1 y 2. Este efecto sobre los bordes y el área central va dar lugar a que la planta disponga de una menor área fotosintética total.

#### 4.1.2 Síntomas de Toxicidad en el Cultivo de Trigo.

Teniendo en cuenta el tipo de venación de las hojas de este cultivo; los síntomas de toxicidad se manifiestan por una clorosis marginal que luego evolucionan a necrosis; se inicia en el ápice de la hoja y avanza por los bordes hacia la base. En los tratamientos II y III los síntomas de toxicidad se presentan especialmente en las hojas adultas y comprometen sólo los bordes y el ápice. En los tratamientos IV, V y VI la necrosis abarca las márgenes y el área central, presentándose este síntoma tanto en las hojas adultas como en las jóvenes; tal como se puede apreciar en las fotografías Nos. 3 y 4. Esta característica se logró apreciar en los dos suelos.

Comparando el efecto tóxico en los dos suelos, mediante la fotografía No.5 se puede concluir que el efecto es más intenso en el suelo La Molina, Franco Arenoso, donde al nivel de 32 ppm. de Boro aplicado se produce la muerte de la planta por el efecto tóxico, mientras que al mismo nivel en el suelo Puente Piedra, Franco, no se produce la muerte total de la planta. Fotografías Nos. 3 y 4.

#### 4.1.3 Síntomas de Toxicidad en el Cultivo de Alfalfa.

Los síntomas de toxicidad en este cultivo están caracterizados por la clorosis marginal de los folíolos inferiores, pero solamente en los tratamientos II y III. Para los tratamientos IV, V y VI los síntomas de toxicidad están caracterizados por una marchitez en los bordes de los folíolos inferiores que luego evolucionan a necrosis marginal; mientras que los folíolos superiores presentan clorosis marginal que muy lentamente pueden evolucionar a necrosis o permanecer cloróticos, tal como se aprecia en la fotografía No.



Fotografía No.3 Efecto tóxico del Boro en el Cultivo de Trigo  
Desarrollado en el suelo La Molina, Franco arenoso.



Fotografía No.4 Efecto tóxico del Boro en el Cultivo de Trigo  
Desarrollado en el suelo Puente Piedra, Franco.



Fotografía No.5 Efecto tóxico del Boro en el Cultivo de Trigo  
Desarrollados en los dos suelos.

Comparando el efecto tóxico del Boro en los dos suelos, se pudo apreciar que fue más intenso en el suelo La Molina, Franco Arenoso, donde al nivel de 32 ppm. de Boro aplicado se produjo la muerte de la planta, mientras que al mismo nivel en el suelo Puente Piedra, Franco, no se presentó tal situación; pero si gran área foliar fue afectada por los síntomas de toxicidad. Fotografías Nos.6 y 7

#### Otras Manifestaciones del Efecto Tóxico del Boro.

Estas pueden ser establecidas mediante la observación del grado de desarrollo de los cultivos; así observando la altura de las plantas o el macollaje de ellas podemos encontrar un menor desarrollo de ellas, conforme se incrementó el nivel de Boro aplicado al suelo. Para el caso del maíz con un nivel de 32 ppm. de Boro aplicado al suelo, la altura de estas fue menor que al nivel de 0 ppm. de Boro aplicado, además se notó la tendencia de un menor grosor de los tallos conforme se incrementan los niveles de Boro aplicado al suelo. Esta característica viene a ser el reflejo de una menor área fotosintética que se presenta por el efecto de la necrosis.

Para el caso del trigo, se pudo apreciar que conforme aumentó el nivel de Boro aplicado al suelo hubo menor desarrollo y macollaje de las plantas, comparando los tratamientos con el nivel de 0 ppm. de Boro aplicado.

En la alfalfa se observó también la misma tendencia que se presentó en el trigo; sin embargo, cuando el suelo recibió 4 ppm. de Boro las plantas fueron ligeramente más grandes que las desarrolladas al nivel de 0 ppm. de Boro aplicado.

La presencia de zonas necróticas debido a un exceso de Boro en los suelos, puede ser explicado teniendo en cuenta lo indicado por Tisdale y Nelson (20) considerando que el Boro está relacionado de alguna manera con la absorción de agua por las células. En estas zonas necróticas se produce una alta concentración de Boro tal como lo demostró Certli y Kohl (15), esto produce una intensa evaporación y por consiguiente un desbalance hídrico provocando la muerte de la célula.



Fotografía No.6 Efecto tóxico del Boro en el Cultivo de Alfalfa  
Desarrollado en el suelo La Molina, Franco Arenoso.



Fotografía No.7 Efecto tóxico del Boro en el Cultivo de Alfalfa  
Desarrollado en el suelo Puente Piedra, Franco.

Es evidente que las plantas desarrolladas en el suelo Puente Piedra, Franco, presentan síntomas de toxicidad menos severos que las desarrolladas en el suelo La Molina, Franco Arenoso, debido a su menor contenido de Boro soluble (tabla No.10, apéndice). Además parece ser que el contenido de arcilla ha tenido cierta influencia en este sentido, lo cual concuerda con lo indicado por Wilson y colaboradores (22).

#### 4.2 Rendimiento de Materia Seca.

Los rendimientos de materia seca por cultivo, suelo y tratamiento, son presentados en la tabla No.1 y graficados en las figuras 1, 2 y 3.

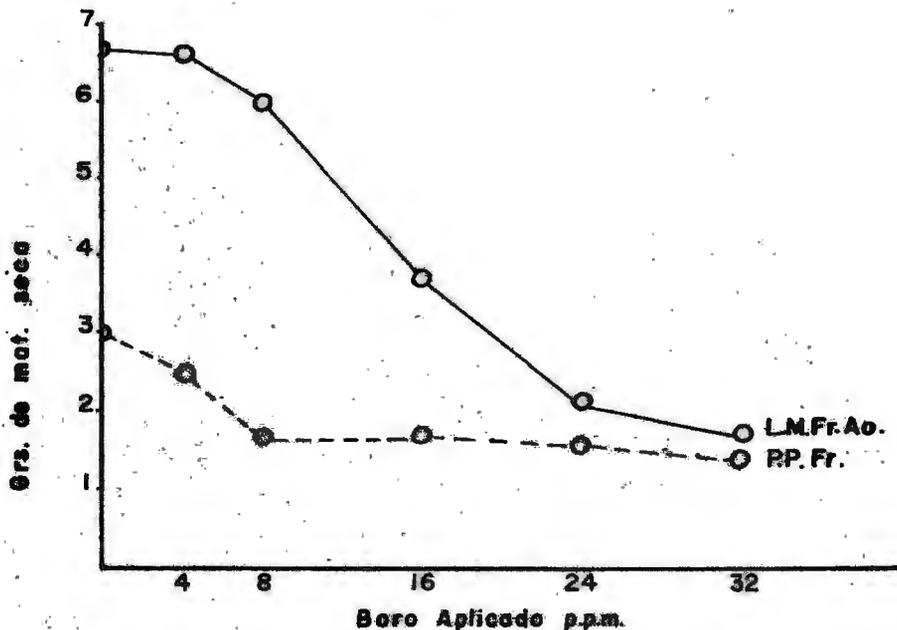
Tabla No.1 Rendimiento de Materia Seca. Grs/Tratamiento.

Promedio de cuatro repeticiones.

Cultivos	ppm. de Boro aplicado al suelo					
	0	4	8	16	24	32
Suelo: La Molina, Franco Arenoso.						
Maíz	6.71	6.64	6.02	3.76	2.14	1.70
Trigo	2.72	1.80	1.42	0.58	0.49	0.17
Alfalfa	1.29	1.46	0.96	0.16	0.11	0.07
Suelo: Puente Piedra, Franco.						
Maíz	3.01	2.49	1.70	1.73	1.62	1.40
Trigo	2.87	2.52	1.75	0.89	0.58	0.67
Alfalfa	1.70	1.76	1.59	0.83	0.71	0.37

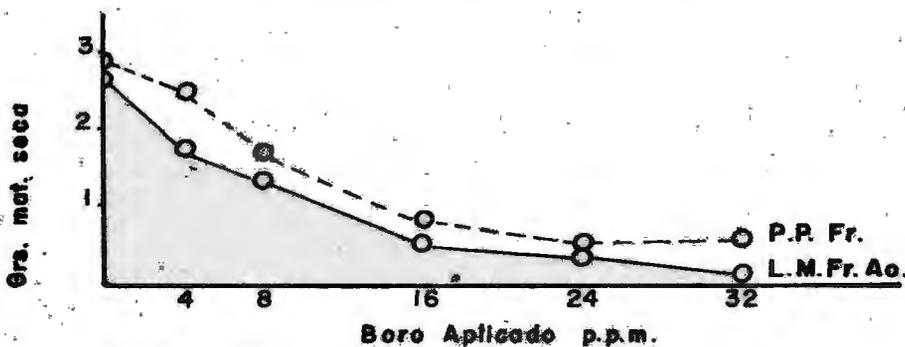
En general se puede decir que la tendencia en los tres cultivos es de manifestar un menor rendimiento de materia seca conforme se incrementan los niveles de Boro aplicado. Esta tendencia de dar un menor rendimiento de materia seca es observada en las fotografías, donde se puede observar claramente que se produce un menor crecimiento conforme aumenta el nivel de Boro aplicado. Además existe una relación entre el menor rendimiento de materia seca y el mayor grado de toxicidad manifestada en el área foliar.

Comparando los rendimientos de materia seca en función del factor suelo tenemos: para el trigo y la alfalfa un mayor rendimiento en el suelo Puente Piedra, Franco; para el maíz, el rendimiento fue mayor en el suelo La Molina, Franco Arenoso. El mayor rendimiento en el suelo Puente Piedra, Franco, se debe a que en este suelo los efectos tóxicos fueron menos intensos; sin -



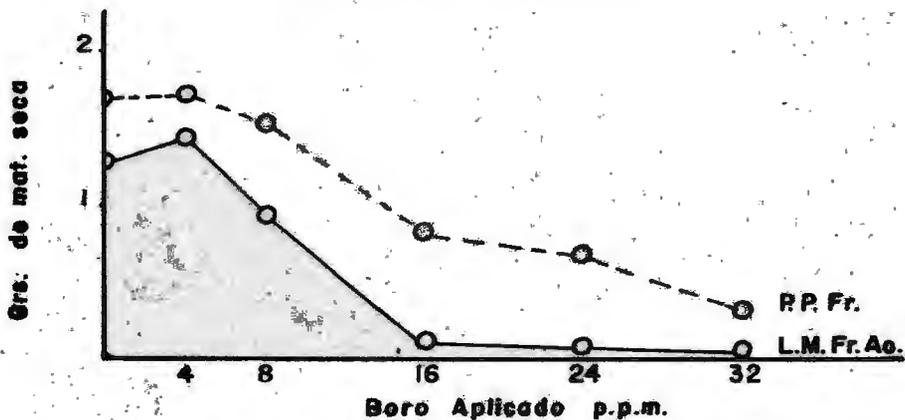
Cultivo : Maiz.

FIG. 1 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA



Cultivo: Trigo

FIG. 2 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA



Cultivo : Alfalfa

FIG. 3 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

embargo existe una contradicción para el caso del maíz. Este último puede ser explicado teniendo en cuenta las condiciones físicas del suelo La Molina, Franco Arenoso.

De las figuras 1, 2 y 3 también se puede concluir que el efecto tóxico se manifiesta más intensamente cuando el suelo recibió una cantidad mayor de 4 ppm. de Boro.

El análisis estadístico de la materia seca en el cultivo de maíz, tabla No.2, dió diferencias altamente significativas a las fuentes de variabilidad: Boro, Suelo y a la interacción Suelo-Boro. Para los cultivos de trigo y alfalfa, el análisis estadístico del rendimiento de materia seca, tablas 3 y 4 dió diferencias altamente significativas a las fuentes de variabilidad Boro y Suelo.

Las ecuaciones de la línea de regresión halladas, para los rendimientos de materia seca, están graficadas en las figuras 4, 5 y 6. Para estas ecuaciones se consideró como variable dependiente en el eje Y a los gramos de materia seca y como variable independiente en el eje X a las ppm. de Boro aplicado en el suelo. Las correlaciones negativas significativas halladas, vienen a corroborar las observaciones de un menor desarrollo conforme se incrementaron los niveles de Boro aplicados al suelo, y el efecto tóxico manifestado en las hojas produciendo una menor área foliar fotosintética.

Estas consideraciones concuerdan con lo manifestado por las investigaciones de Oertli y Kohl (15) quienes sostienen que el daño producido por la toxicidad es local y primario en lugar de secundario, es decir que las áreas necróticas y cloróticas son debidas a la acumulación de Boro en estas zonas, siendo sólo estas afectadas permaneciendo el metabolismo igual en las áreas no afectadas pero ésta se ve disminuida afectando por consiguiente el rendimiento. Esta apreciación llega a cumplirse ya que, puede apreciarse por las fotografías y por las regresiones, que a los niveles de 32 ppm. de Boro aplicado al suelo, el rendimiento de materia seca baja grandemente e inclusive en las plantas de trigo y alfalfa se produjo la muerte total de las plantas

Tabla No.2 Análisis de Variancia para los Rendimientos de Materia Seca en el Cultivo de Maíz.

Fuentes de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	F.C	
Repeticiones	3	0.10	0.033	0.10	
Boro	5	77.73	15.55	48.59	**
Suelo	1	75.03	75.03	234.47	**
Boro X Suelo	5	32.88	6.58	20.56	**
Error	33	10.73	0.32		
Total	47	196.47			

CV. : 13.73 %

Tabla No.3 Análisis de Variancia para los Rendimientos de Materia Seca en el Cultivo de Trigo.

Fuentes de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	F.C	
Repeticiones	3	0.38	0.12	2.29	
Boro	5	37.57	7.51	136.54	**
Suelo	1	1.47	1.47	26.72	**
Boro X Suelo	5	0.53	0.10	1.92	
Error	33	0.055	0.85		
Total	47	40.005			

CV. : 16.79 %

Tabla No.4 Análisis de Variancia para los Rendimientos de Materia Seca en el Cultivo de Alfalfa.

Fuentes de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	F.C	
Repeticiones	3	0.12	0.04	1.33	
Boro	5	14.85	2.97	99.00	**
Suelo	1	2.84	2.84	94.66	**
Boro X Suelo	5	0.28	0.05	1.66	
Error	33	1.08	0.03		
Total	47	19.17			

CV. : 18.80 %

\* Nivel de significación: 0.05

\*\* Nivel de significación: 0.01

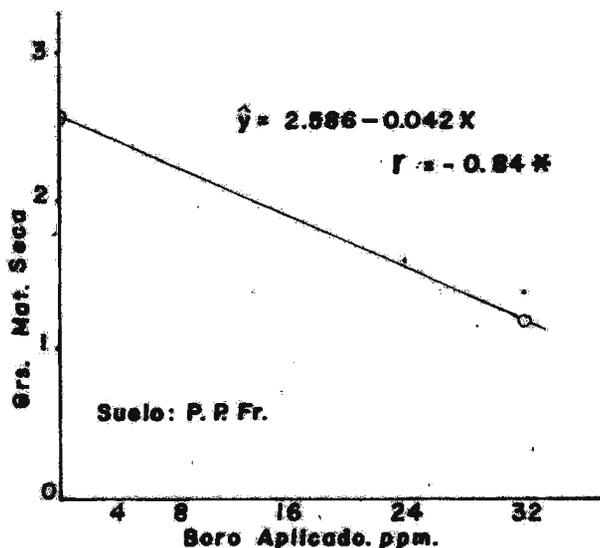
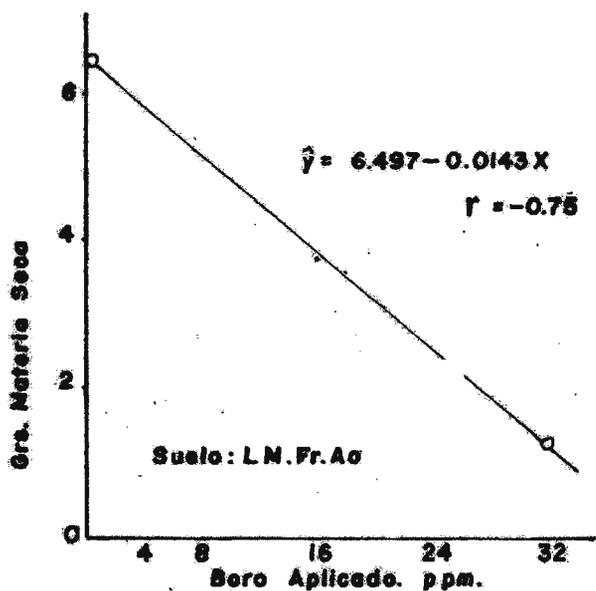


FIG: 4 \_ REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN EL CULTIVO DE MAIZ

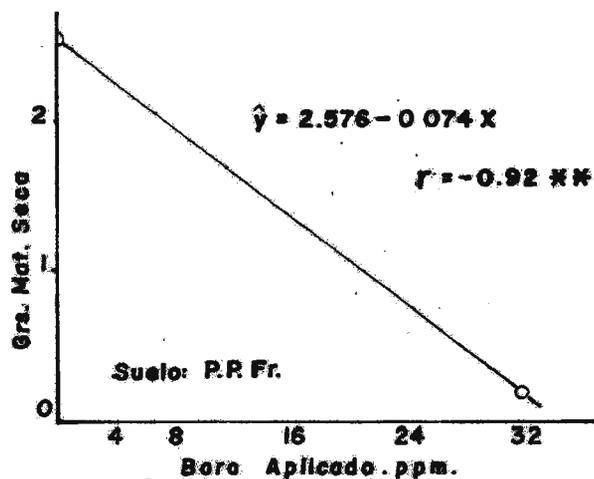
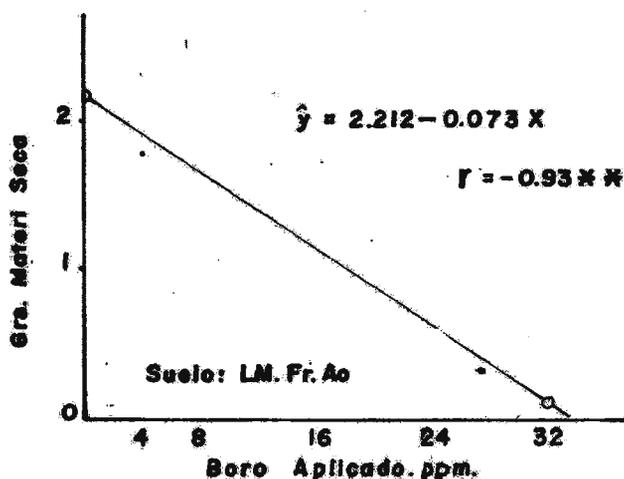


FIG: 5 \_ REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN EL CULTIVO DE TRIGO

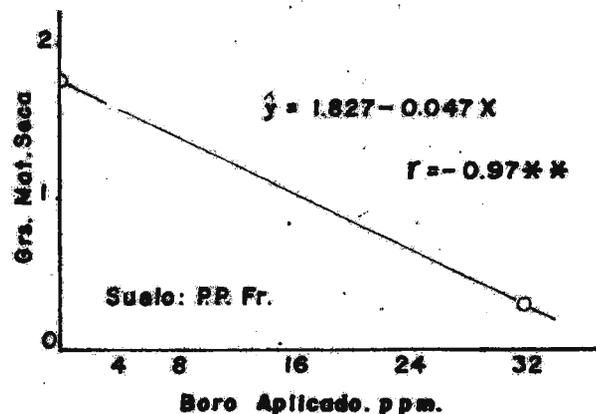
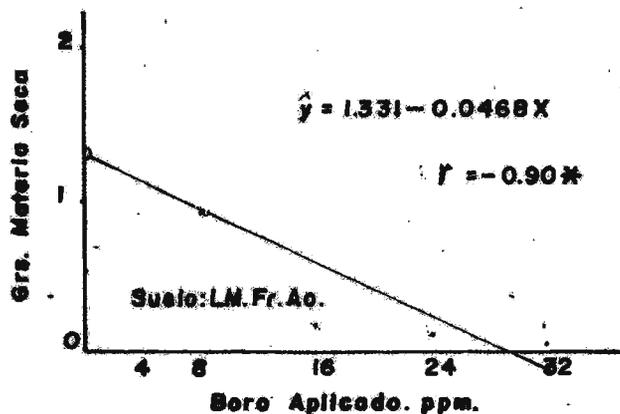


FIG: 6 \_ REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y EL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN EL CULTIVO DE ALFALFA

por carencia de área fotosintética. También se puede decir que bajo estas condiciones del experimento, el cultivo de maíz se mostró más resistente a la toxicidad del Boro; cosa contraria a lo indicado por el Laboratorio de Salinidad, USDA (21).

#### 4.3 Concentración de Boro en los Tejidos Aéreos.

En la tabla No.5 se presentan los valores promedios de la concentración de Boro en los tejidos. Estos valores son graficados y presentados en las figuras 7, 8 y 9.

Tabla No.5 Concentración de Boro en los tejidos Aéreos. Expresados en ppm. Promedio de 4 repeticiones.

Cultivos	ppm. de Boro aplicado al Suelo					
	0	4	8	16	24	32
Suelo: La Molina, Franco Arenoso						
Maíz	71	300	549	1,524	2,882	3,227
Trigo	60	394	910	1,402	1,530	1,612
Alfalfa	278	494	579	1,059	*	*
Suelo: Puente Piedra, Franco						
Maíz	75	237	399	500	1,229	1,564
Trigo	30	177	352	807	991	1,222
Alfalfa	130	245	252	364	894	758

\* Análisis no realizados por carencia de tejidos.

Se puede apreciar que la tendencia general es manifestar una mayor concentración de Boro conforme aumentan los niveles de Boro aplicado al suelo. Esta mayor acumulación que se produce viene a corroborar los síntomas de toxicidad observados. La mayor concentración de Boro fue obtenida por las plan-

tas de maíz, sin embargo esto no está en relación con los síntomas de toxicidad observados; era de esperar que los cultivos de alfalfa y trigo presentasen las más altas concentraciones debidos a los síntomas tóxicos más intensos que presentaron, pero ello no ocurrió. Esto podría ser consecuencia de la sensibilidad al Boro de estos cultivos bajo las condiciones que se realizó el experimento.

Estudiando el factor suelo, se puede deducir que las plantas desarrolladas en el suelo La Molina, Franco Arenoso, presentan siempre una mayor concentración de Boro en los tejidos aereos.

En las tablas 6, 7 y 8 se presentan los análisis estadísticos de la variancia para la concentración de Boro en los tejidos. Se encuentra diferencias altamente significativas para las fuentes de variabilidad: Boro, Suelo y a la interacción Boro-Suelo.

Las ecuaciones de la línea de regresión estan representados graficamente en las figuras 10, 11 y 12. Encontramos correlaciones positivas altamente significativas para los tres cultivos y los dos suelos. Para encontrar estas ecuaciones se consideró como variable dependiente en el eje Y a las ppm. de Boro en los tejidos, y como variable independiente en el eje X a las ppm. de Boro aplicado.

Estableciendo una relación entre la concentración de Boro en los tejidos aereos y los síntomas de toxicidad presentados en las fotografías, se puede concluir que los síntomas de toxicidad se presentan en las plantas estudiadas cuando la concentración de Boro en los tejidos es mayor de 300 ppm. de Boro, que concuerda con lo indicado por Fox (7). Además se aprecia que las plantas con las más altas concentraciones de Boro se presentan los síntomas más severos de toxicidad y los menores rendimientos.

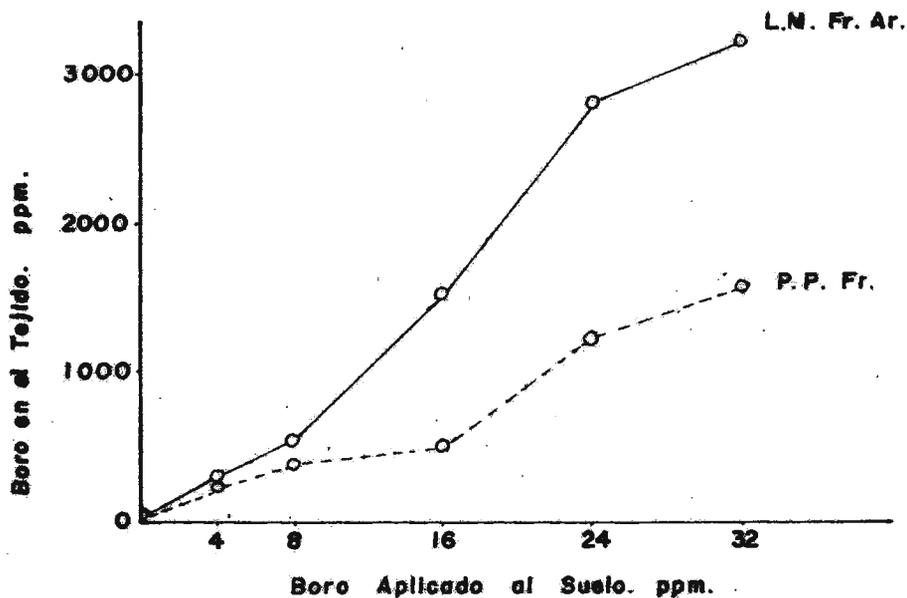


FIG. 7 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE BORO EN LA PARTE AEREA DEL MAIZ

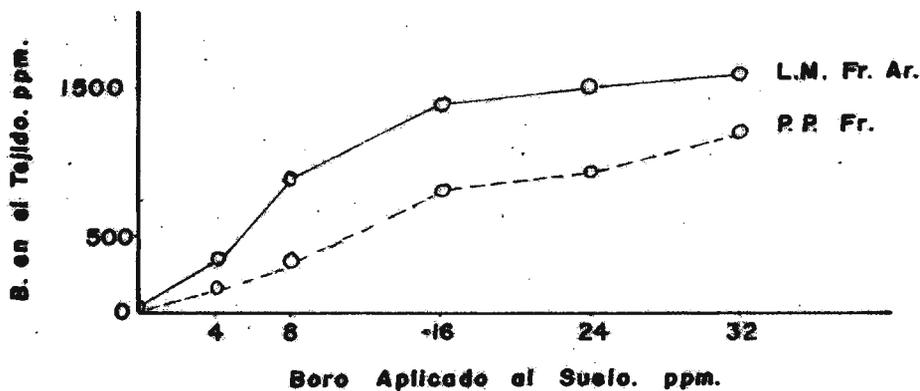


FIG. 8 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE BORO EN LA PARTE AEREA DEL TRIGO

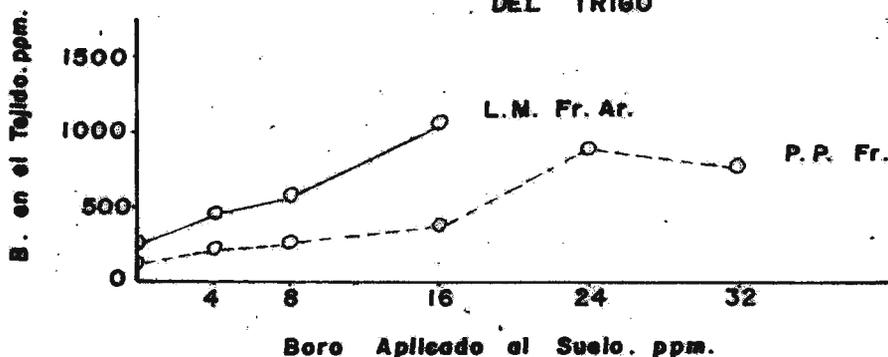


FIG. 9 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE BORO EN LA PARTE AEREA DE LA ALFALFA

Tabla No.6 Análisis de Variancia para la Concentración de Boro en los Tejidos Aéreos del Cultivo de Maíz.

Fuentes de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc.
Repeticiones	3	213,798	71,266	1.94
Boro	5	33'652,321	6'730	183.33 **
Suelo	1	4'585,560	4'585,560	124.63 **
Boro X Suelo	5	4'445,009	889,001	24.21 **
Error	33	1'211,525	36,712	
Total	47	44'108,213		

CV. : 18.81 %

Tabla No.7 Análisis de Variancia para la Concentración de Boro en los Tejidos Aéreos del Cultivo de Trigo.

Fuentes de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc.
Repeticiones	3	53,418	17,806	0.90
Boro	5	12'395,428	2'479,085	126.07 **
Suelo	1	1'806,528	1'806,528	91.87 **
Boro X Suelo	5	502,765	100,553	5.11 **
Error	33	648,935	19,664	
Total	47	15'407,074		

CV. : 17.73 %

Tabla No.8 Análisis de Variancia para la Concentración de Boro en los Tejidos Aéreos del Cultivo de Alfalfa.

Fuentes de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc.
Repeticiones	3	7,046	2,345	0.68
Boro	3	1'072,880	357,626	104.66 **
Suelo	1	1'006,780	1'006,780	294.60 **
Boro X Suelo	3	341,485	113,828	33.31 **
Error	21	71,765	3,417	
Total	31	2'499,956		

CV. : 13.74 %

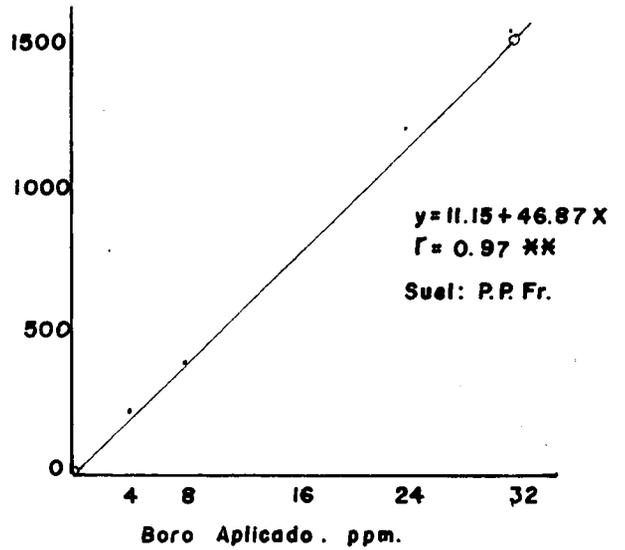
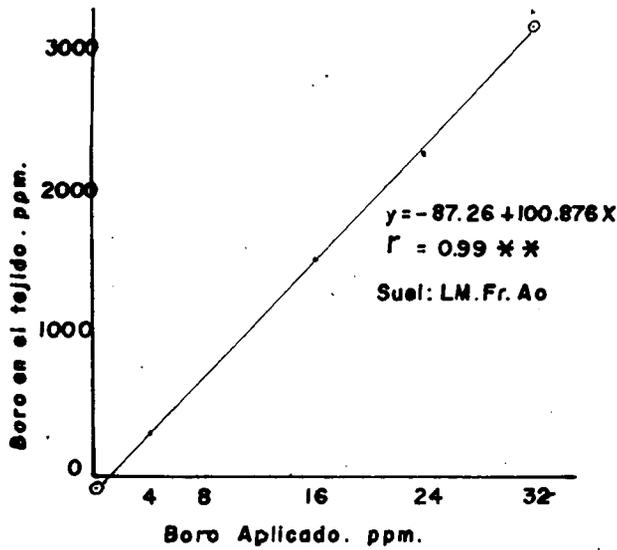


FIG: 10 \_ REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y LA CONCENTRACION DE BORO EN EL TEJIDO AEREO DEL MAIZ

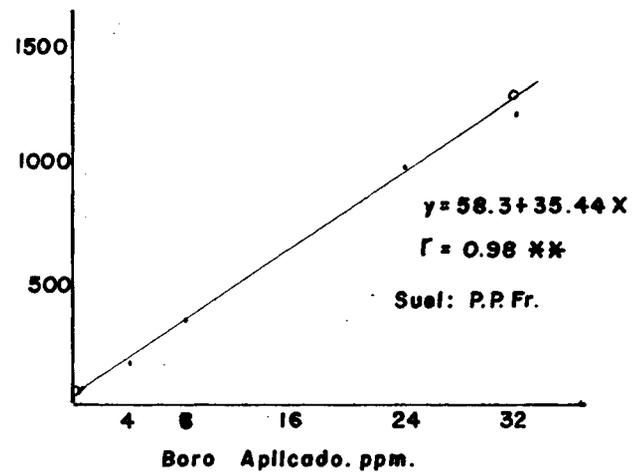
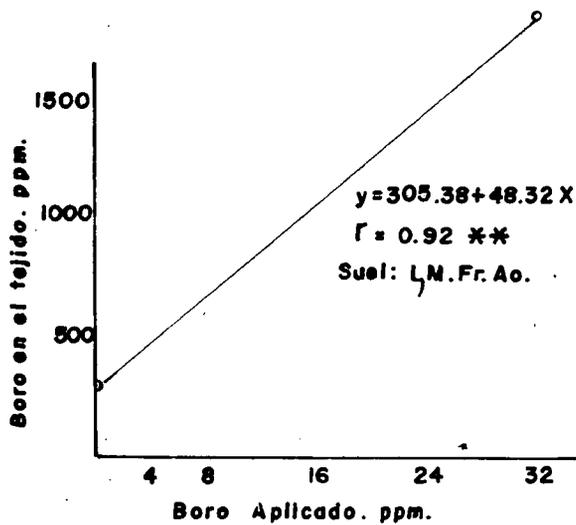


FIG: 11 \_ REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y LA CONCENTRACION DE BORO EN EL TEJIDO AEREO DEL TRIGO

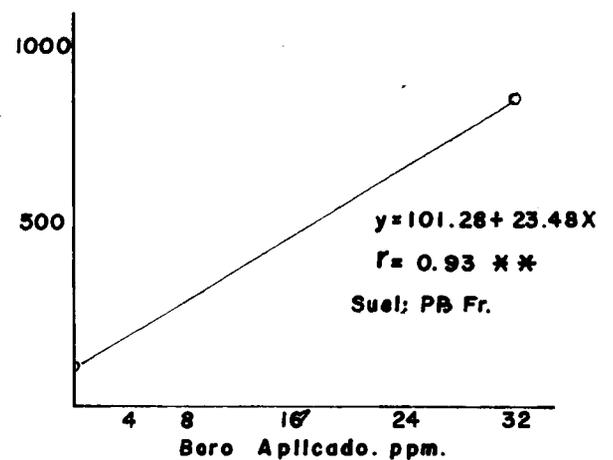
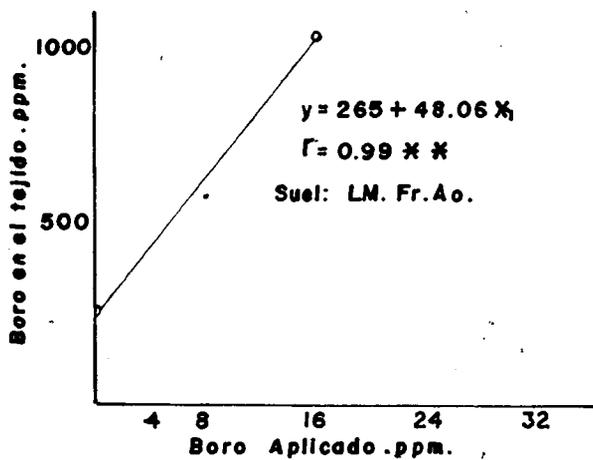


FIG: 12 \_ REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y LA CONCENTRACION DE BORO EN EL TEJIDO AEREO DE LA ALFALFA

#### 4.4 Concentración y Extracción de los Elementos: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio.

En las tablas 11 y 12 del apéndice, se presentan las concentraciones de los elementos, expresados en porcentaje. Estos valores han sido graficados en las figuras número 13 a la número 27 del apéndice. En la tabla No.9, presentamos los miligramos de elemento extraído por las plantas en los diferentes tratamientos.

En forma general se puede decir, que conforme se incrementó el nivel de Boro aplicado, la extracción de los elementos disminuyó. Esto puede ser explicado teniendo en cuenta que al aumentar el nivel de Boro aplicado al suelo el crecimiento de las plantas se hizo menor; aumentó el efecto tóxico, que produjo alteración en el metabolismo celular.

Se han hallado las ecuaciones de las líneas de regresión para cada uno de los elementos en estudio y los respectivos coeficientes de correlación con el fin de medir el grado de asociación entre cada elemento y el nivel de Boro aplicado al suelo. Estas ecuaciones son presentadas en las figuras número 28 a la número 42 del apéndice.

4.4.1 Para el Nitrógeno. En el cultivo de maíz encontramos correlación negativa altamente significativa para las plantas desarrolladas en el suelo La Molina, Franco Arenoso. Correlación negativa significativa para las desarrolladas en el suelo Puente Piedra, Franco. Para el cultivo de trigo, hay correlación negativa significativa en ambos suelos. En el cultivo de alfalfa, se presenta el mismo caso que para el cultivo de trigo.

4.4.2 Para el Fósforo. En el cultivo de maíz encontramos correlación negativa altamente significativa para las desarrolladas en el suelo La Molina, Franco Arenoso; y correlación negativa significativa para las desarrolladas en el suelo Puente Piedra, Franco. En el cultivo de trigo, encontramos correlación negativa altamente significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso; y correlación negativa significativa en el suelo Puente Piedra, Franco. En el cultivo de alfalfa encontramos correlación negativa

Tabla No.9 Miligramos de elemento extraído por las plantas de Maíz, Trigo, y Alfalfa. Promedio de cuatro repeticiones.

mgs. de elemento extraído = grs. materia seca X % elemento. X 10

	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Cultivo de Maíz										
0	124.8	8.05	252.9	185.8	16.7	58.0	3.61	132.1	72.8	5.4
4	132.8	8.63	284.8	182.6	14.6	53.5	3.73	111.1	62.0	4.2
8	123.4	9.03	284.7	189.0	17.4	34.5	2.21	79.5	43.6	3.0
16	85.3	7.14	171.8	115.8	8.2	35.2	2.07	77.8	47.9	2.9
24	49.6	5.35	101.0	64.8	4.5	32.5	1.78	76.3	41.4	2.7
32	40.9	4.25	69.7	56.2	4.4	28.4	1.96	67.2	40.7	2.5
Cultivo de Trigo										
0	79.6	9.98	113.7	46.8	2.1	74.9	6.31	149.5	53.1	2.3
4	52.6	6.84	86.7	43.5	1.4	67.5	5.79	138.1	38.5	2.2
8	40.8	5.72	74.2	29.4	1.3	47.4	3.67	102.9	21.7	1.2
16	17.3	3.13	26.3	20.5	0.4	23.7	2.13	56.2	21.7	0.7
24	15.8	3.00	22.8	15.4	0.3	16.1	1.74	38.7	8.7	0.4
32	5.3	1.07	8.0	3.9	0.1	18.9	1.87	43.1	10.1	0.4
Cultivo de Alfalfa										
0	45.1	3.87	47.8	52.2	1.6	54.4	3.57	69.0	46.4	2.9
4	54.9	4.20	59.3	62.6	1.4	57.0	3.69	74.6	46.3	2.8
8	35.2	2.78	42.4	46.0	0.9	54.0	3.49	64.4	39.1	2.5
16	5.9	0.52	8.1	8.4	0.1	31.5	2.07	32.9	21.9	1.0
24	*	*	*	*	*	27.1	1.63	29.8	20.7	0.8
32	*	*	*	*	*	14.8	0.88	15.9	10.9	0.4

\* Análisis no realizados por carencia de tejidos.

negativa significativa en los dos suelos.

4.4.3 Para el Potasio. En el cultivo de maíz encontramos correlación negativa altamente significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso; y correlación negativa significativa en el suelo Puente Piedra, Franco. En el cultivo de trigo, encontramos correlación negativa altamente significativa en los dos suelos. Para la alfalfa, encontramos correlación negativa significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso; y correlación negativa altamente significativa en el suelo Puente Piedra, Franco.

4.4.4 Para el Calcio. En el cultivo de maíz encontramos correlación negativa significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso; y correlación negativa no significativa en el suelo Puente Piedra, Franco. Para el trigo, encontramos correlación negativa altamente significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso; y correlación negativa significativa en el suelo Puente Piedra, Franco. En la alfalfa, encontramos correlación negativa significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso; y correlación negativa significativa en el suelo Puente Piedra, Franco.

4.4.5 Para el Magnesio. En el maíz encontramos correlación negativa altamente significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso y correlación negativa no significativa en el suelo Puente Piedra, Franco. Para el cultivo de trigo encontramos correlación negativa altamente significativa en el suelo La Molina, Franco Arenoso y correlación negativa no significativa en el suelo Puente Piedra, Franco. Para el cultivo de alfalfa encontramos correlación negativa altamente significativa en los dos suelos.

Esta evidencia estadística, confirma el menor rendimiento de materia seca obtenida debido al efecto tóxico. Esta toxicidad, produjo disminución en el área fotosintética total, y como consecuencia una menor extracción de los elementos estudiados.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

Los síntomas de toxicidad presentados en los tres cultivos se caracterizaron por la clorosis marginal, que en algunos casos evolucionaron a necrosis marginal. Estos síntomas se presentaron en las hojas adultas (inferiores). Si el efecto tóxico es intenso, los síntomas se presentan tanto en las hojas adultas como en las jóvenes.

Como consecuencia del efecto tóxico, se produce menor crecimiento y desarrollo de las plantas. El rendimiento de materia seca se ve afectado, estableciéndose un menor rendimiento conforme se incrementó el nivel de Boro aplicado al suelo. El análisis estadístico confirmó este efecto depresivo.

El factor suelo tiene influencia sobre la intensidad de los síntomas de toxicidad. Las plantas desarrolladas en el suelo La Molina, Franco Arenoso, presentaron los síntomas más intensos que aquellas desarrolladas en el suelo Puente Piedra, Franco. Los rendimientos de materia seca para los cultivos de trigo y alfalfa desarrolladas en el suelo La Molina, Franco Arenoso, fueron menores que en el suelo Puente Piedra, Franco; no así, para el caso del cultivo de maíz, donde el efecto fue contrario.

La tolerancia de los cultivos al Boro, varió. Así, a 32 ppm. de Boro aplicado al suelo los cultivos de trigo y alfalfa desarrollados en el suelo La Molina, Franco Arenoso, llegaron a morir; esta situación no se presentó para el cultivo de maíz.

La capacidad de acumulación de Boro en los tejidos de las plantas es variable. Se ha encontrado para los tres cultivos correlaciones positivas altamente significativas entre el nivel de Boro aplicado al suelo y el Boro en los tejidos. Cuando la concentración de Boro en los tejidos es mayor de 300 ppm. se observaron síntomas de toxicidad.

La extracción de los elementos: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, y Magnesio., se ven afectados negativamente por los diferentes niveles de Boro aplicados al suelo. Esto es demostrado por el análisis estadístico.

## CAPITULO VI

### BIBLIOGRAFIA

1. BRADFORD, G.R. 1966 Diagnostic and Criteria for Plants and Soils, ed. Chapman, H.D. University of California Division of Agricultural Sciences.
2. BRAVO, G. 1968 Posible toxicidad de Boro en caña de azúcar. Turrialba. 18: 72-73
3. BRENNAN, E.G. and SHIVE, J.W. 1948 Effect of Calcium and Boron nutrition of the tomato on the relation between these elements in the tissue. Soil Sci. 66:65-67
4. EATON, F.M. 1940 Effect of Boron deficiency and excess on plant. Plant Physiol. 15:95-107
5. ————. 1944 Deficiency, toxicity and accumulation of Boron in plants. J. Agric. Research. 69:237-277
6. FOX, R.H. 1968 Calcium and pH effect on Boron uptake. Soil Sci. 106: 435-439
7. ————. 1968 Tolerancia de las plantas de maíz, frijol, alfalfa y algodón a concentraciones altas de Boro soluble en agua en los suelos de la costa sur del Perú. Anales Científicos. 4:185-197 La Molina, Lima Perú.
8. GAUCH, H.G. and DUGGER, W.M. 1953 The role of Boron in the translocation of sucrose. Plant Physiol. 28:457-466
9. HARIGOPAL, N and RAO, I.M. 1968 Agro-physiological studies on groundnut (*Arachis hypogaea* Linn.) with Boron toxicity. Field Crop Abs. 21-No.2, 140
10. JONES, H.E. and SCARSETH, G.D. 1944 The Calcium-Boron balance in plants as related to Boron needs. Soil Sci. 57:15-24
11. MAC KAY, D.C.; LANGILLE, W.M. and CHIPMAN, E.W. 1962 Boron deficiency and toxicity in crops grown on sphangun peat soil. Can. J. Soil Sci. 42:302-310

12. MASSON, L. 1967 Algunos problemas relacionados con la salinidad en los valles de la costa sur. ONERN
13. NIELER, T.R. and MORSE, W.J. 1921 Effect upon the growth of potatoes, corn and beans resulting the addition of borax to the fertilizer used. Soil Sci. 12:77-131
14. OERPLI, J.J. 1960 The distribution of normal and toxic amounts of Boron in leaves of rough lemon. Agron. Jour. 52:530-532
15. —————, and KOHL, H.O. 1961 Some considerations about the tolerance of various plant species to the excessive supplies of Boron. Soil Sci. 92:243-247
16. REEVE, E. and SHIVE, J.W. 1944 Potassium-Boron and Calcium-Boron relationships in plant nutrition. Soil Sci. 57:1-15
17. SCOFFIELD, G.S. and WILCOX, L.V. 1931 Boron in irrigation waters. USDA. Tech. Bull. 261
18. SCOTT, F. 1960 Effect of supra optimal Boron levels on respiration and carbohydrate metabolism of *Helianthus annuus*. Plant physiol. 35: 653-661
19. SKOL'NIK, M. 1965 The physiological role of Boron in plants. Publicado por Borax Consolidated Limited; London.
20. TISDALE, S. and NELSON, W. 1966 Soil Fertility and Fertilizers. Mac Millan Co. 2a. edition. N.Y. 694p.
21. USDA. 1954 Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook No.60. Richards, L.A. ed. y Riverside, USA.
22. WILSON, C.M.; LOVVORN, R.L. and WOODHOUSE, W.W. 1951 Movement and accumulation of water soluble Boron within the soil profile. Agron.J. 43:363-368

Tabla No.10 Análisis Físico-Químico de los suelos

Determinaciones	SUELO		Método
	La Molina campo: San Fran- cisco-Lima	Puente Piedra campo: cultiva- do con maíz.	
Arena (%)	76.00	44.00	
Limo (%)	20.00	46.00	
Arcilla (%)	4.00	10.00	Bouyoucos
CLASE TEXTURAL	Fr.-Ac.	Fr.	
Capc.de campo (%)	14.00	20.00	Humed.Equiv.
Conduct.Eléctrica (mmhos/cm)	8.00	4.00	Conductímetro
pH. en agua (1:1)	7.20	7.60	Potenciométrico
Mat. orgánica (%)	0.98	1.75	Walkley-Black
N total (%)	0.06	0.07	MicroKjeldahl
CO <sub>3</sub> (%)	1.20	0.98	GaseoLumétrico
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Disponible (Kg/Ha)	20.00	13.00	Olsen.
K <sub>2</sub> O Disponible (Kg/Ha)	680.00	740.00	Peach.
C.I.C. (meq./100 grs.)	4.32	6.40	Ac.Amonio 1N
Ca camb.(meq./100 grs.)	3.03	3.93	Versenato
Mg camb.(meq./100 grs.)	0.47	1.23	Colorimétrico
K camb. (meq/100 grs. )	0.46	0.72	Fotóm.llama
Na camb.(meq./100 grs.)	0.36	0.52	Fotóm.llama
Boro (soluble en agua- caliente. ppm.)	60.00	4.00	Colorimétrico

Tabla No.11 Concentración de los elementos en la parte aérea de las plantas desarrolladas en el suelo: La Molina, Franco Arenoso. Promedio de cuatro repeticiones.

Boro apli- cado al sue- lo. ppm.	B	N	P	K	Ca	Mg
	ppm	%	%	%	%	%
Cultivo: Maíz						
0	71	1.86	0.12	3.77	2.77	0.25
4	300	2.00	0.13	4.29	2.75	0.22
8	549	2.05	0.15	4.73	3.14	0.29
16	1,524	2.27	0.19	4.73	3.14	0.29
24	2,282	2.32	0.25	4.72	3.03	0.21
32	3,227	2.41	0.25	4.10	3.31	0.26
Cultivo: Trigo						
0	60	2.93	0.37	4.18	1.72	0.084
4	394	2.92	0.38	4.82	2.42	0.085
8	910	2.86	0.40	5.19	2.06	0.098
16	1,402	3.05	0.55	4.62	3.60	0.087
24	1,530	3.16	0.60	4.56	3.08	0.068
32	1,612	3.15	0.63	4.74	2.32	0.083
Cultivo: Alfalfa						
0	278	3.50	0.30	3.71	4.05	0.13
4	494	3.79	0.29	4.09	4.32	0.10
8	579	3.67	0.29	4.42	4.80	0.10
16	1,052	3.69	0.33	5.11	5.27	0.05
24	*	*	*	*	*	*
32	*	*	*	*	*	*

\* Análisis no realizados por carencia de tejidos.

Tabla No.12 Concentración de los elementos en la parte aérea de las plantas desarrolladas en el suelo: Puento Piedra, Franco.  
Promedio de cuatro repeticiones.

	B	N	P	K	Ca	Mg
	ppm	%	%	%	%	%
Cultivo: Maíz						
0	75	1.93	0.12	4.39	2.42	0.18
4	237	2.15	0.15	4.49	2.49	0.17
8	399	2.03	0.13	4.68	2.55	0.18
16	500	2.04	0.12	4.50	2.77	0.17
24	1,229	2.01	0.11	4.71	2.56	0.17
32	1,564	2.03	0.14	4.80	2.91	0.18
Cultivo: Trigo						
0	30	2.61	0.22	5.21	1.85	0.084
4	177	2.68	0.23	5.48	1.53	0.092
8	352	2.71	0.21	5.88	1.24	0.077
16	807	2.66	0.24	6.32	2.44	0.081
24	991	2.77	0.30	6.68	1.50	0.080
32	1,222	2.82	0.28	6.43	1.51	0.072
Cultivo: Alfalfa						
0	130	3.20	0.21	4.06	2.73	0.17
4	245	3.24	0.21	4.24	2.63	0.16
8	252	3.40	0.22	4.05	2.46	0.16
16	364	3.80	0.25	3.97	2.64	0.13
24	895	3.82	0.23	4.20	2.92	0.12
32	758	4.01	0.24	4.32	2.97	0.11

**APENDICE**

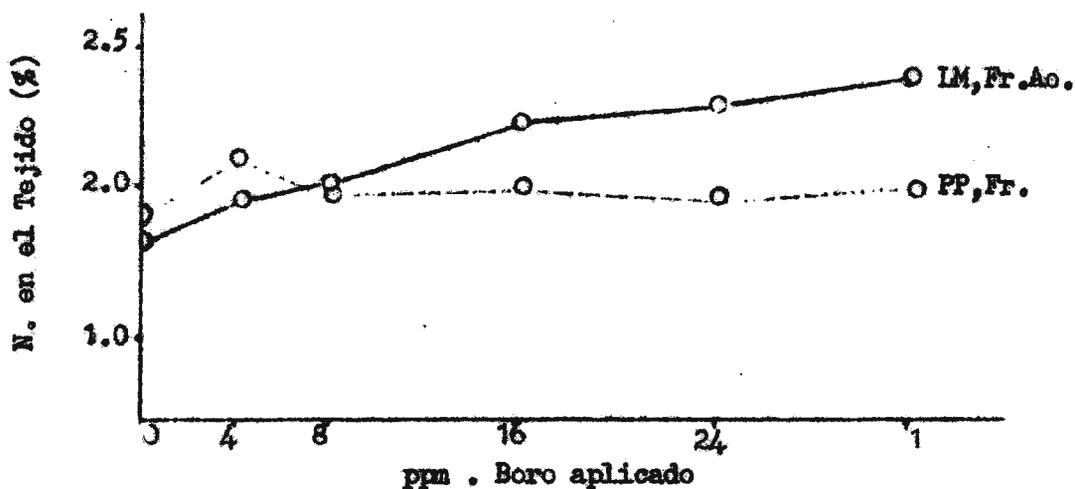


FIG. 3 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE NITROGENO EN LA PARTE AEREA DEL MAIZ.

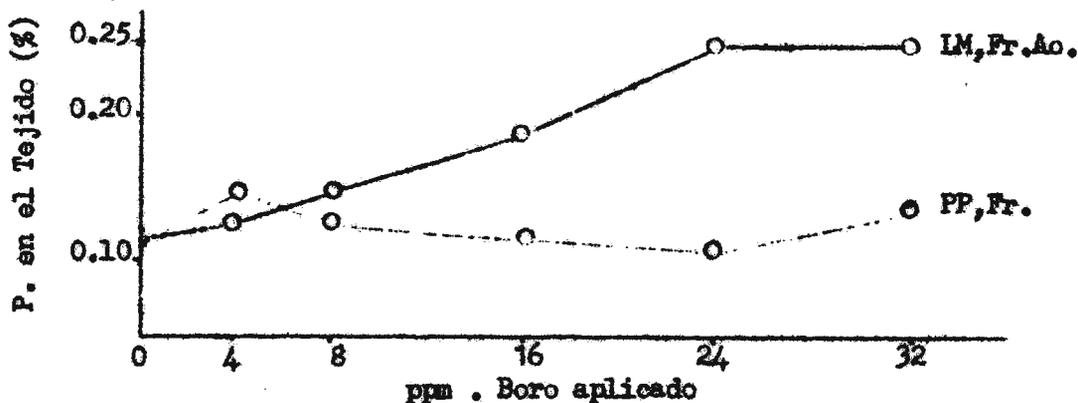


FIG. 14 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE FOSFORO EN LA PARTE AEREA DEL MAIZ.

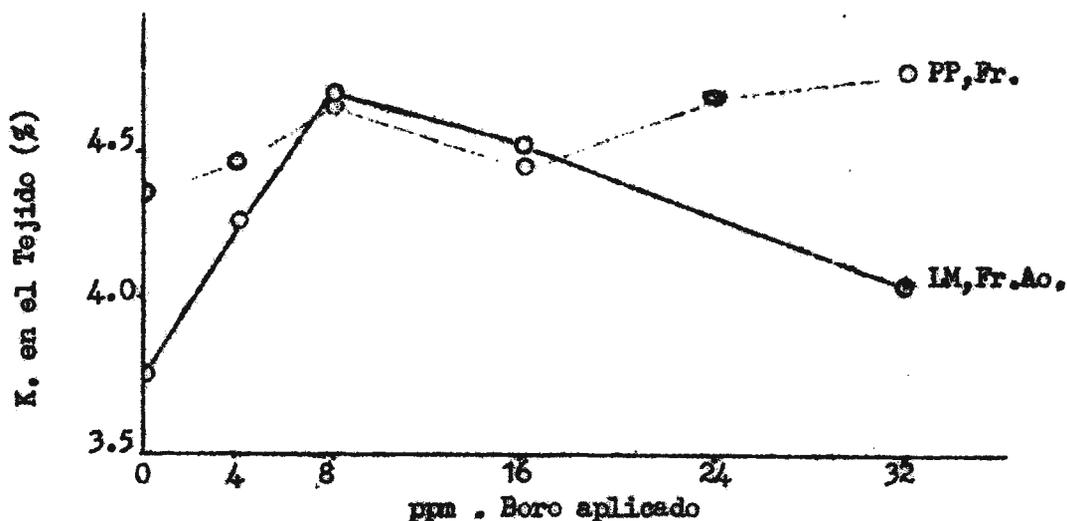


FIG. 15 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE POTASIO EN LA PARTE AEREA DEL MAIZ.

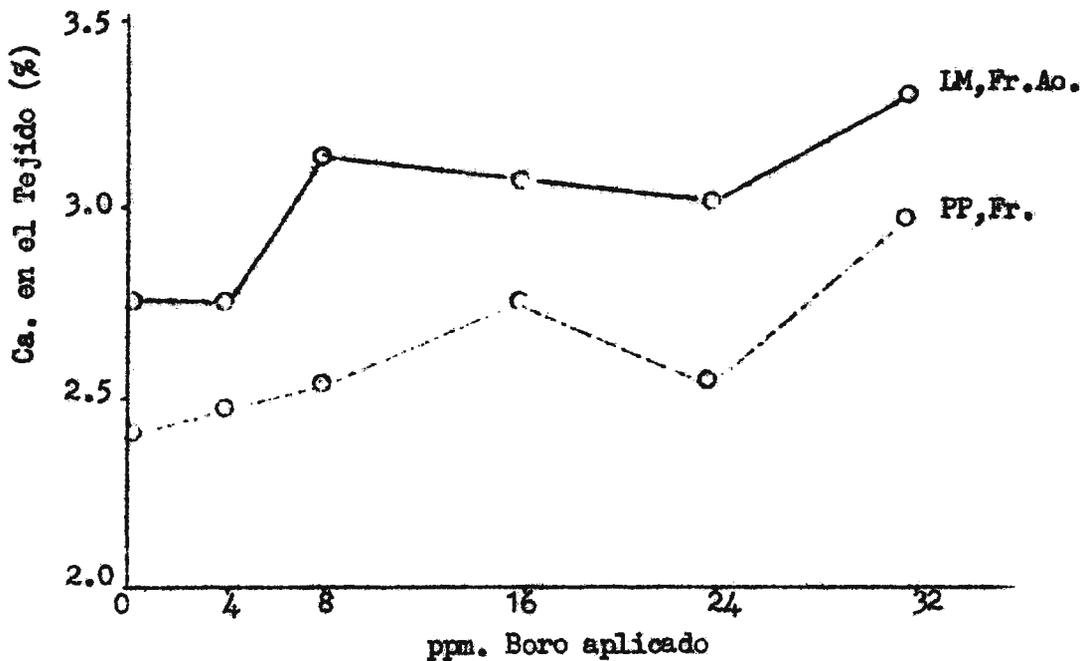


FIG. 16 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE CALCIO EN LA PARTE AEREA DEL MAIZ.

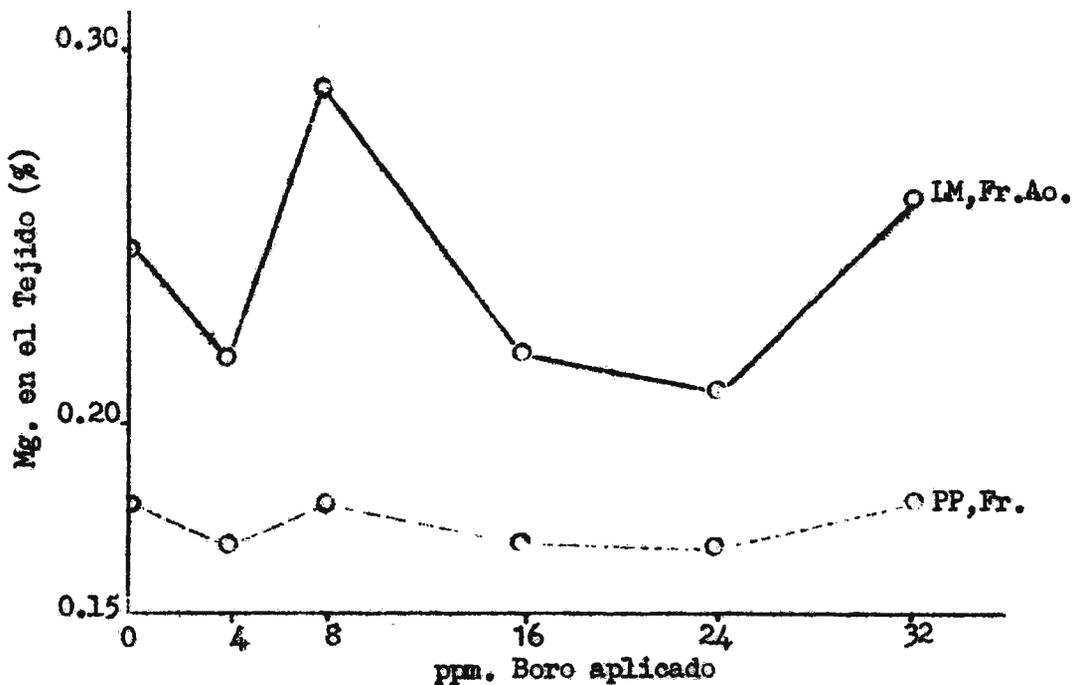


FIG. 17 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE MAGNESIO EN LA PARTE AEREA DEL MAIZ.

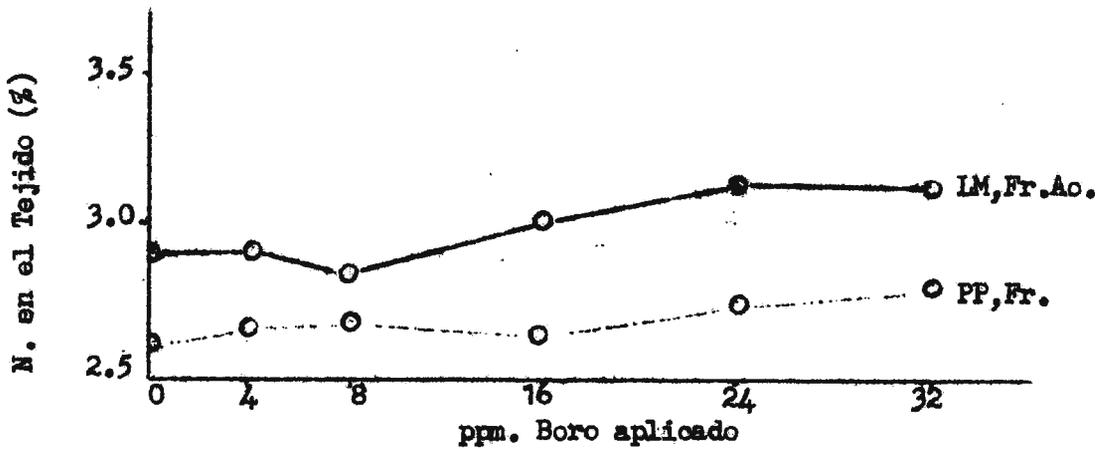


FIG. 18 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE NITROGENO EN LA PARTE AEREA DEL TRIGO.

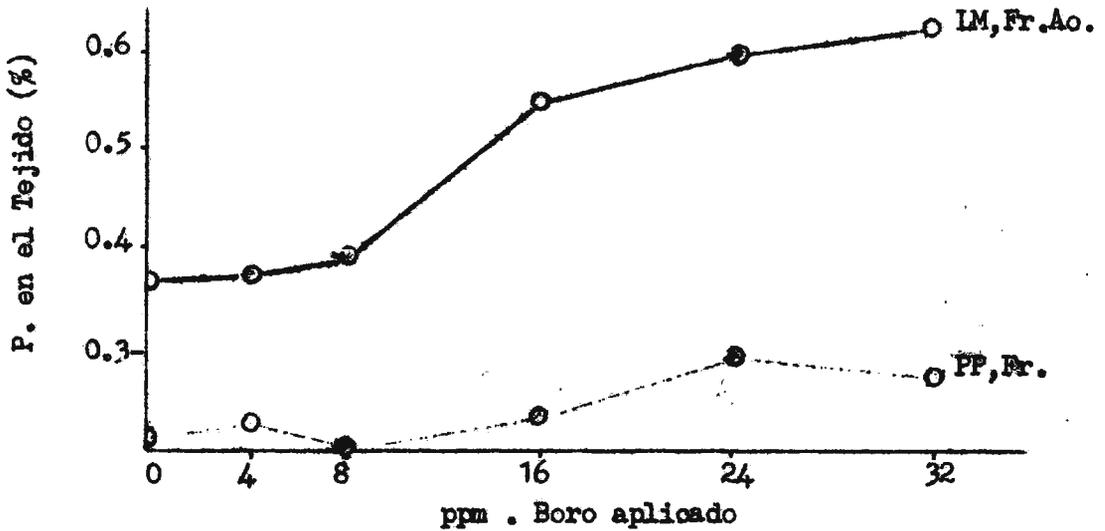


FIG. 19 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE FOSFORO EN LA PARTE AEREA DEL TRIGO.

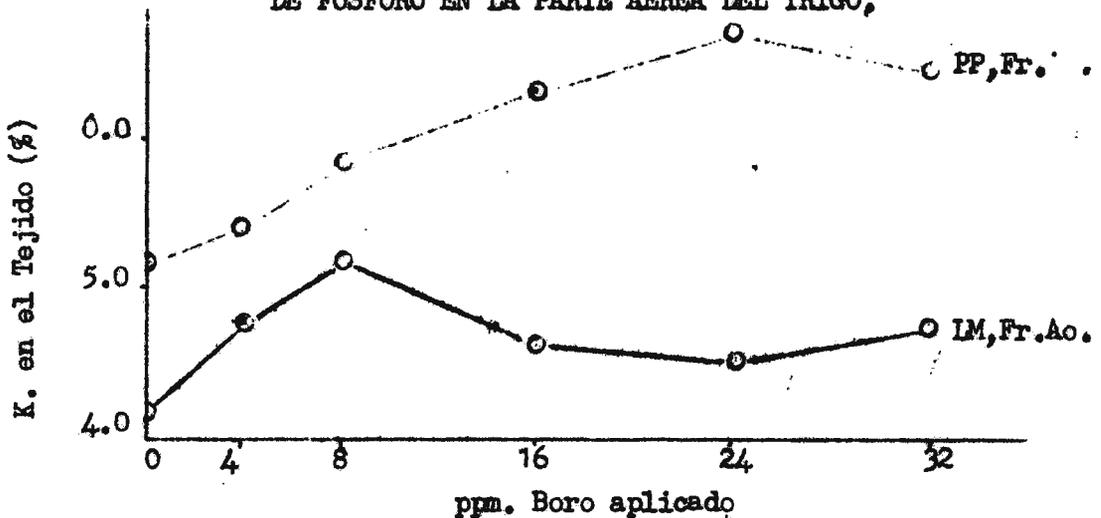


FIG. 20 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE POTASIO EN LA PARTE AEREA DEL TRIGO.

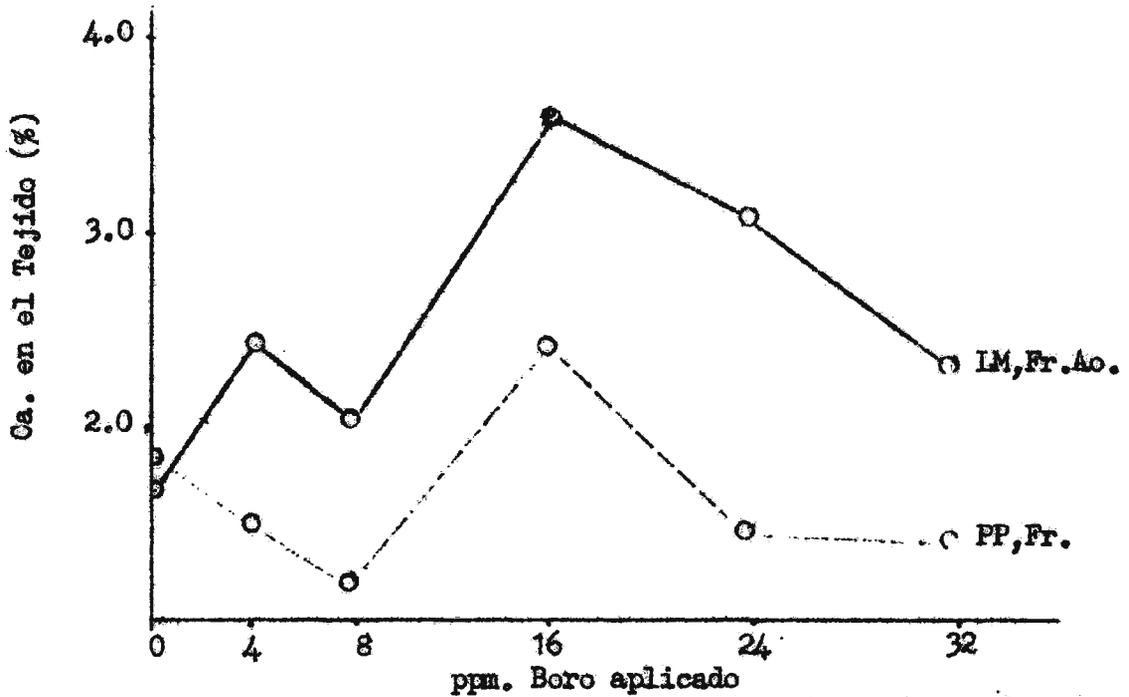


FIG. 21 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE CALCIO EN LA PARTE AEREA DEL TRIGO.

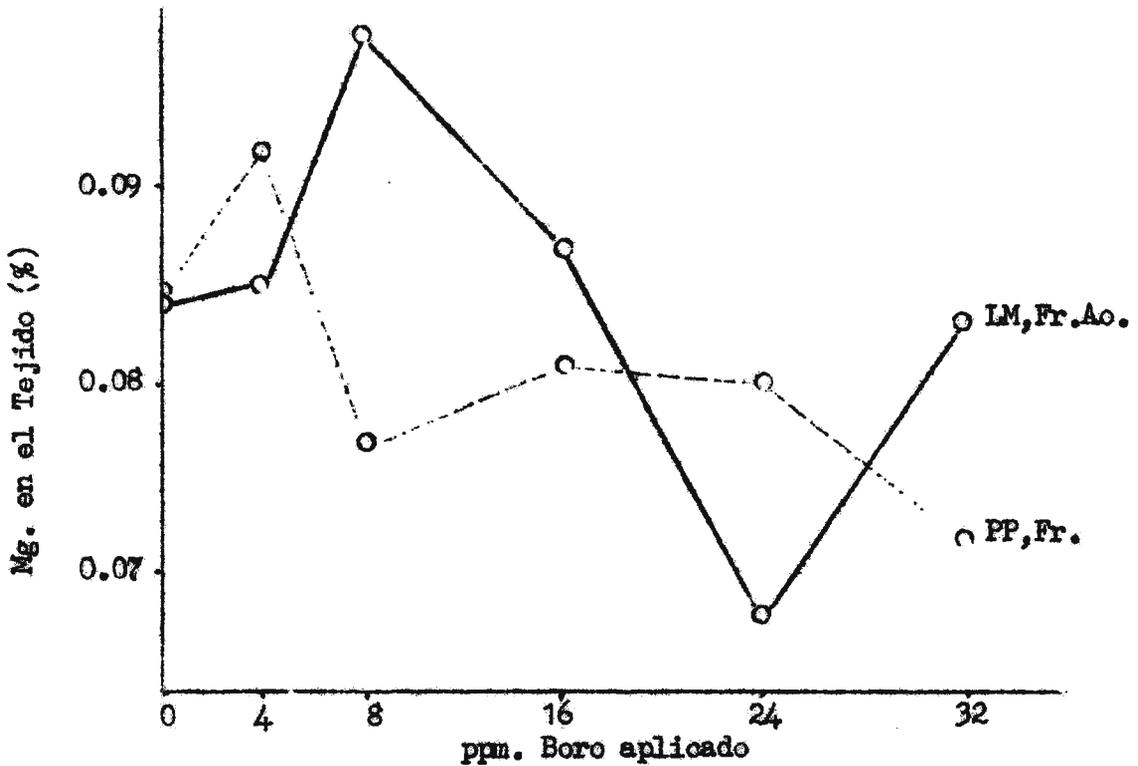


FIG. 22 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE MAGNESIO EN LA PARTE AEREA DEL TRIGO.

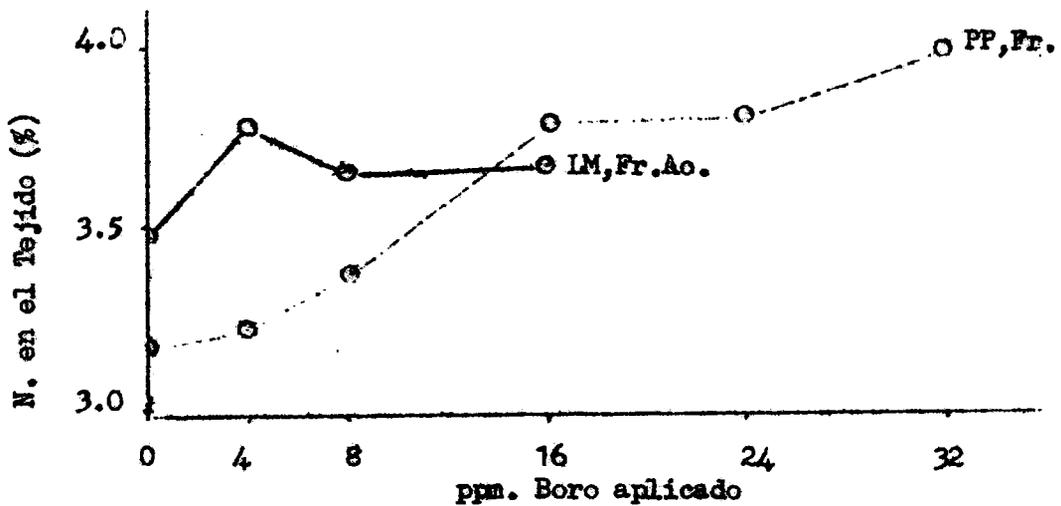


FIG. 23 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE NITROGENO EN LA PARTE AEREA DE LA ALFALFA

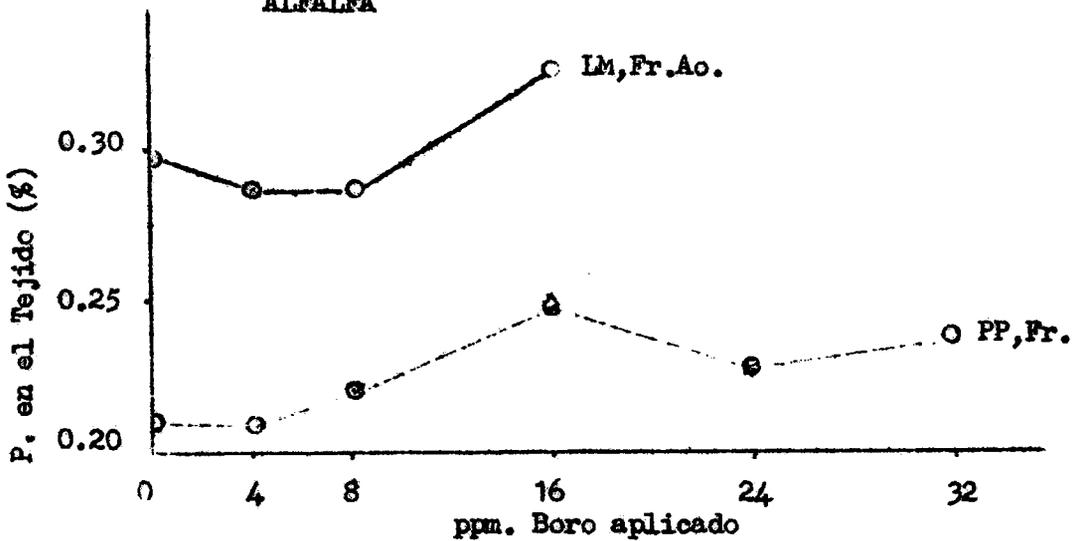


FIG. 24 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE FOSFORO EN LA PARTE AEREA DE LA ALFALFA.

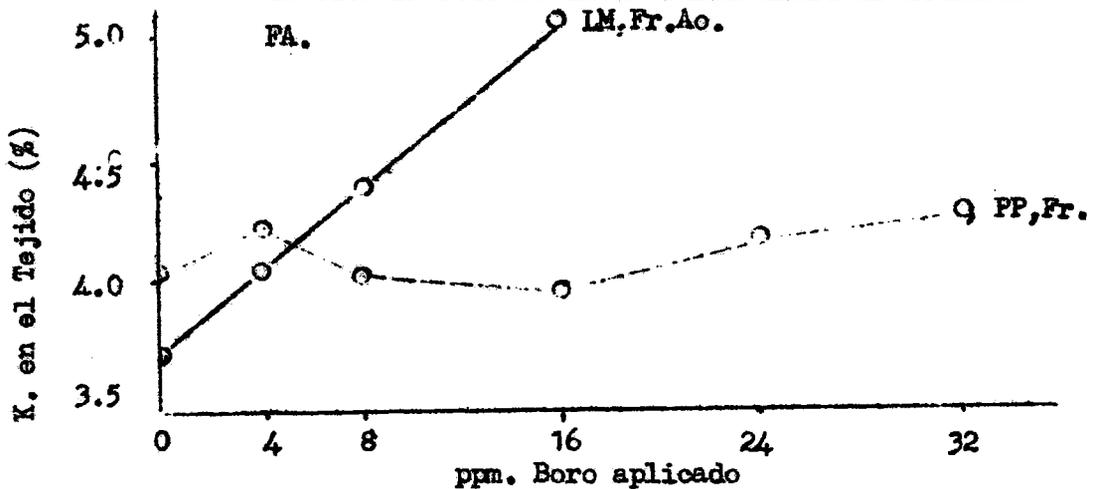


FIG. 25 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE POTASIO EN LA PARTE AEREA DE LA ALFALFA.

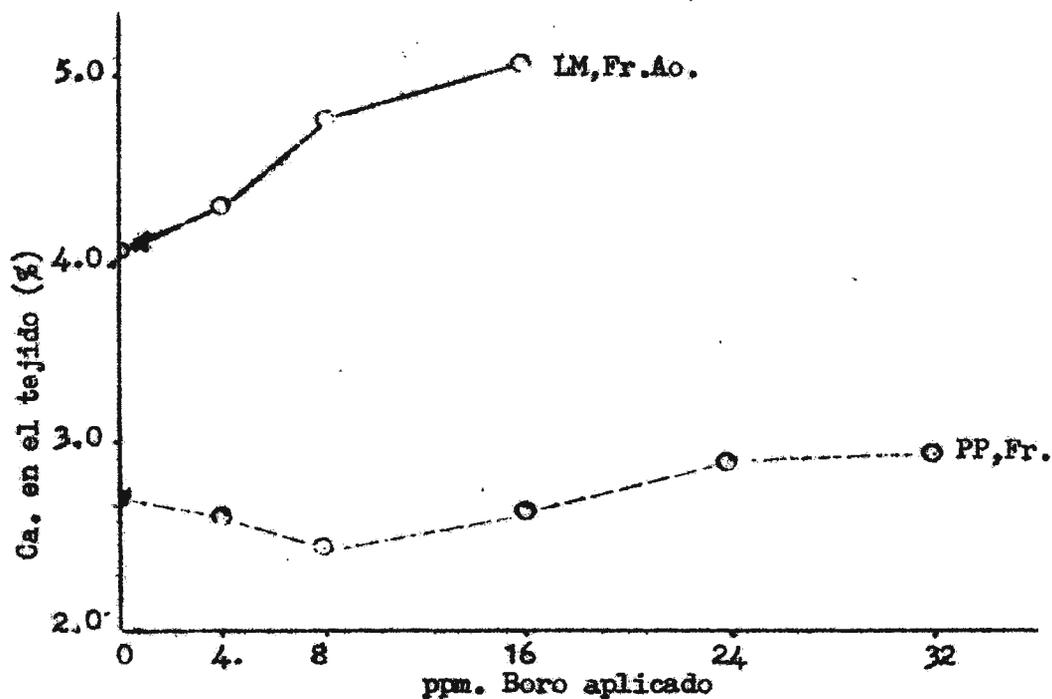


FIG. 26 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE CALCIO EN LA PARTE AEREA DE LA ALFALFA.

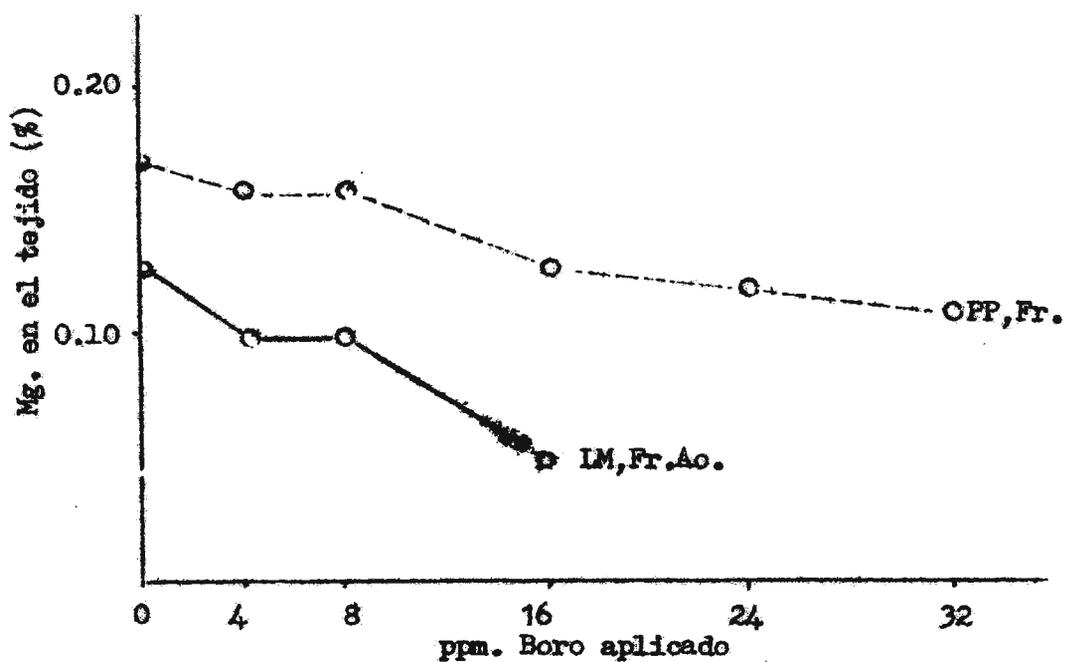


FIG. 27 EFECTO DE LA APLICACION DE BORO SOBRE LA CONCENTRACION DE MAGNESIO EN LA PARTE AEREA DE LA ALFALFA.

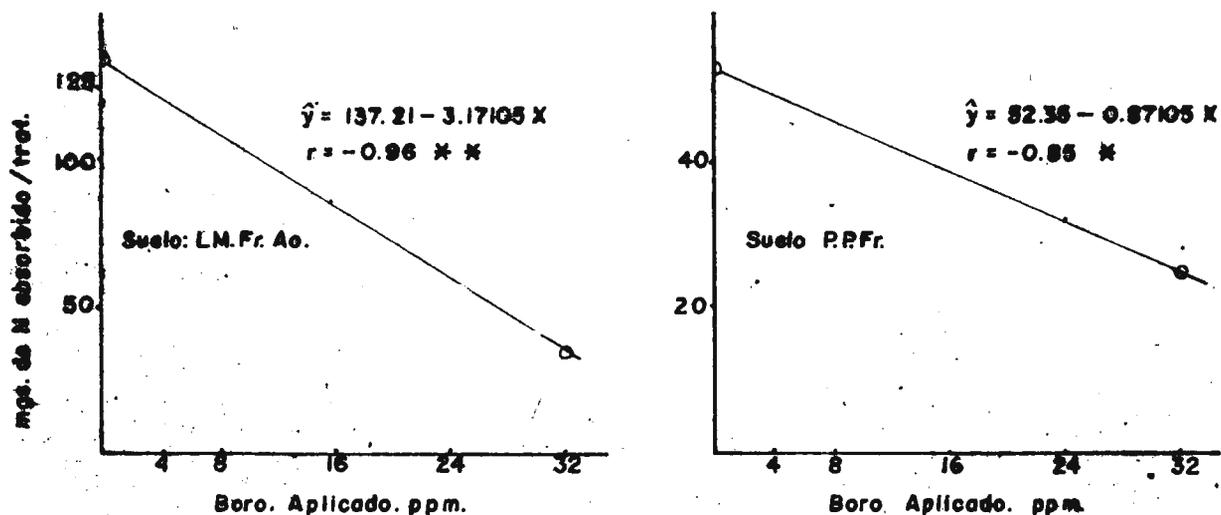


FIG. 28 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y EL NITROGENO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE MAIZ

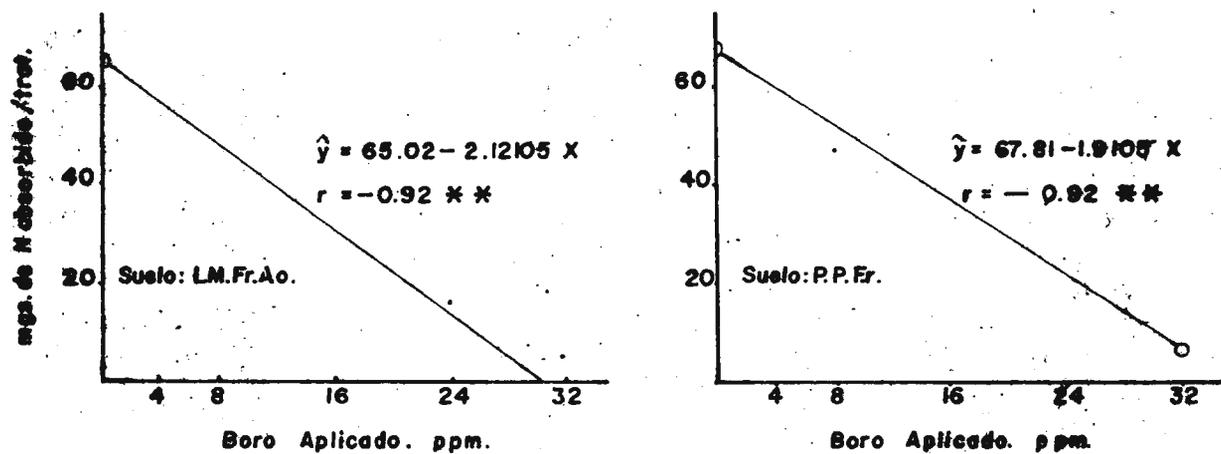


FIG. 29 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y EL NITROGENO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE TRIGO.

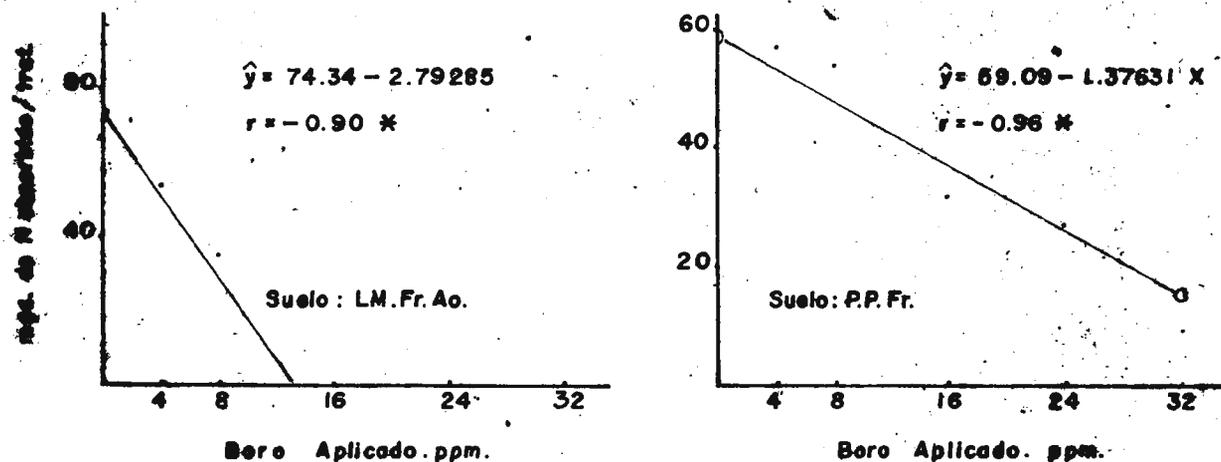


FIG. 30 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL BORO APLICADO Y EL NITROGENO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE ALFALFA

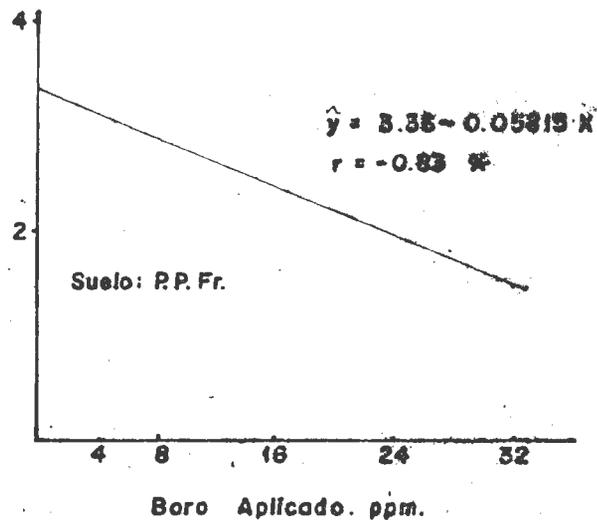
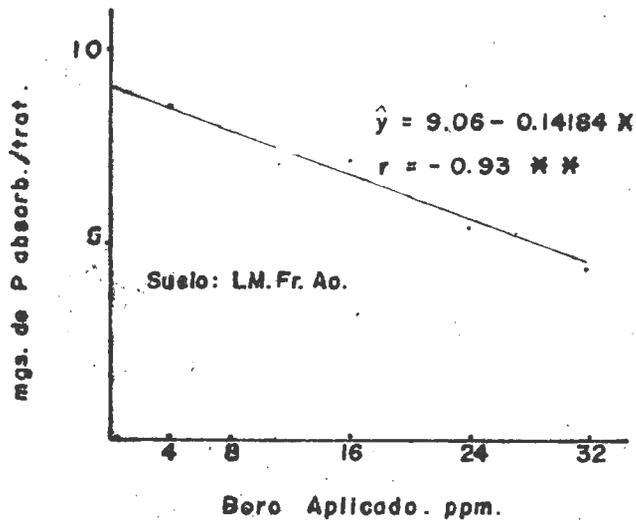


FIG. 31 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y LA ABSORCION DE FOSFORO EN EL CULTIVO DE MAIZ

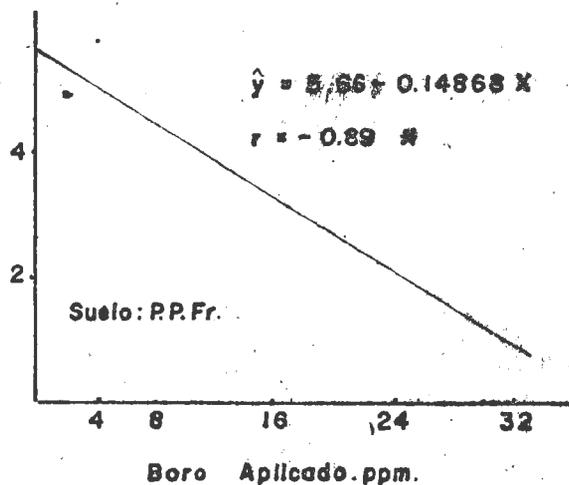
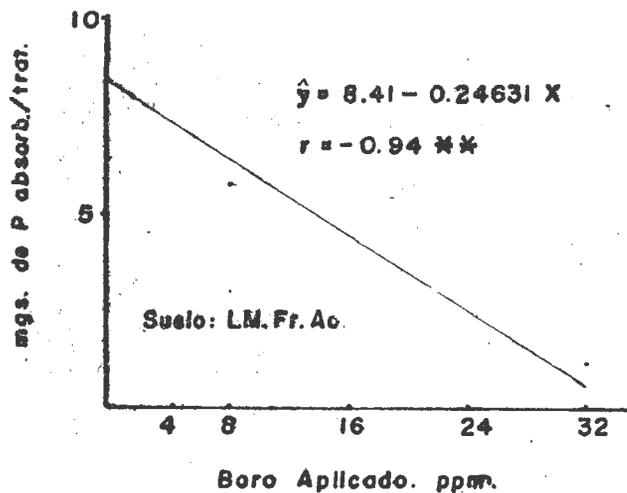


FIG. 32 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y LA ABSORCION DE FOSFORO EN EL CULTIVO DE TRIGO

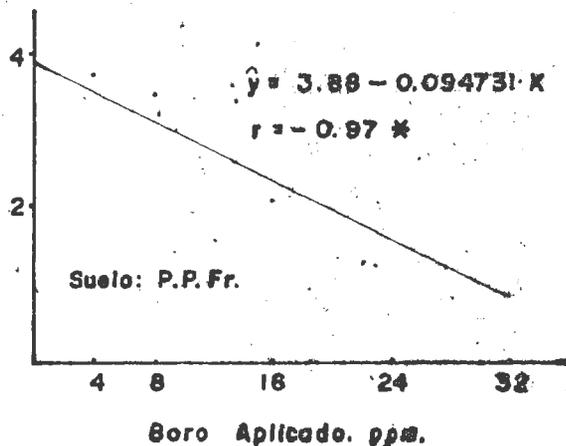
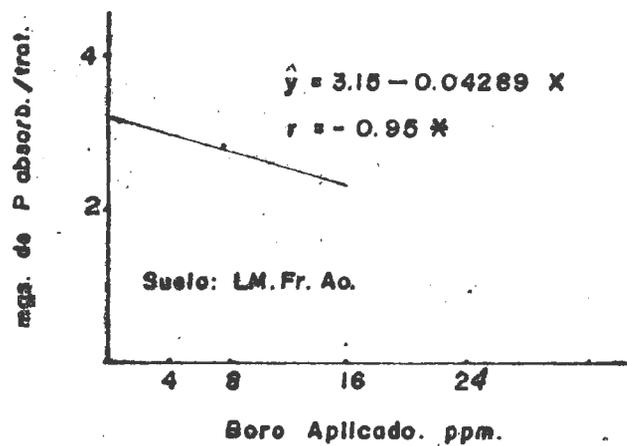


FIG. 33 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y LA ABSORCION DE FOSFORO EN EL CULTIVO DE ALFALFA

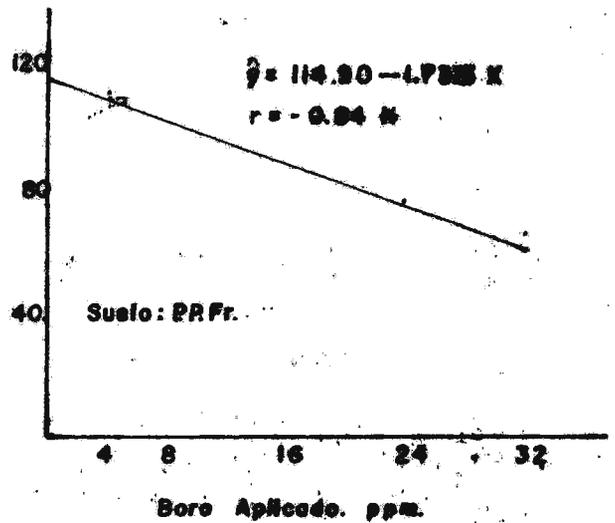
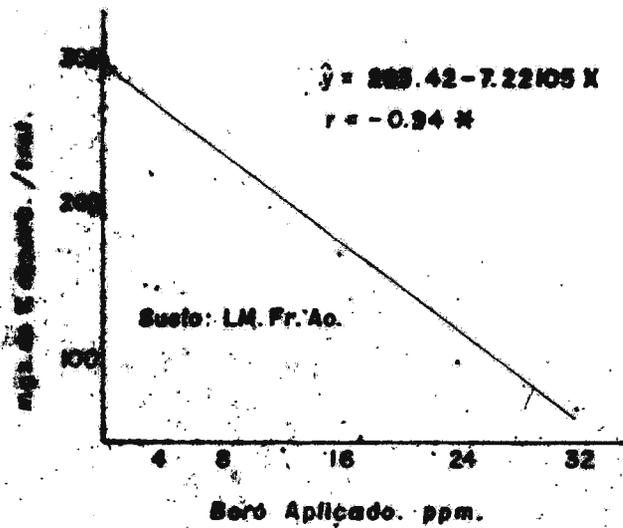


FIG. 34 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y LA ABSORCION DE POTASIO EN EL CULTIVO DE MAIZ

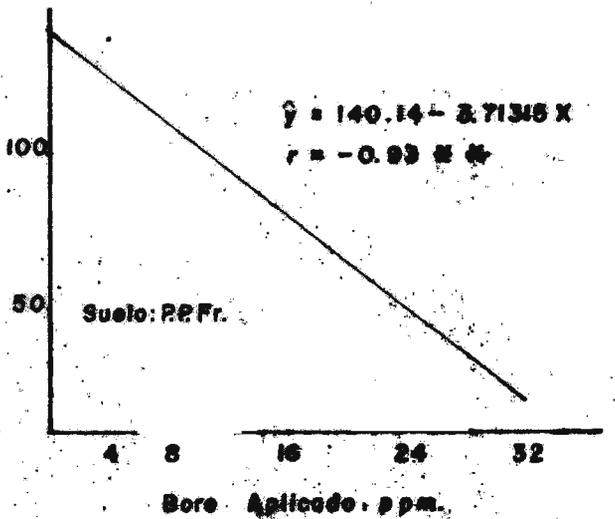
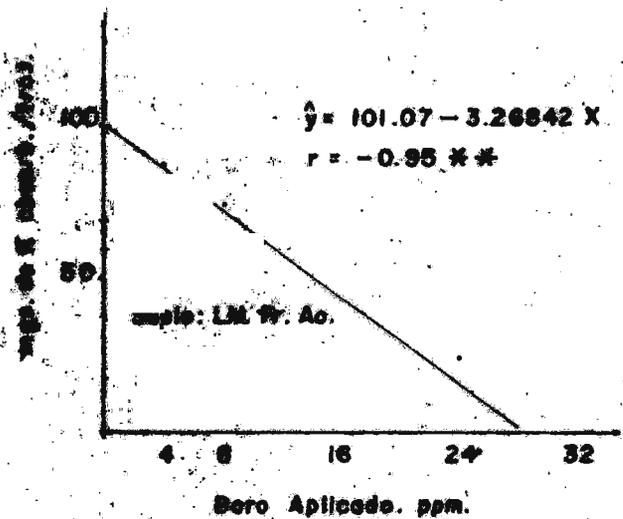


FIG. 35 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y LA ABSORCION DE POTASIO EN EL CULTIVO DE TRIGO

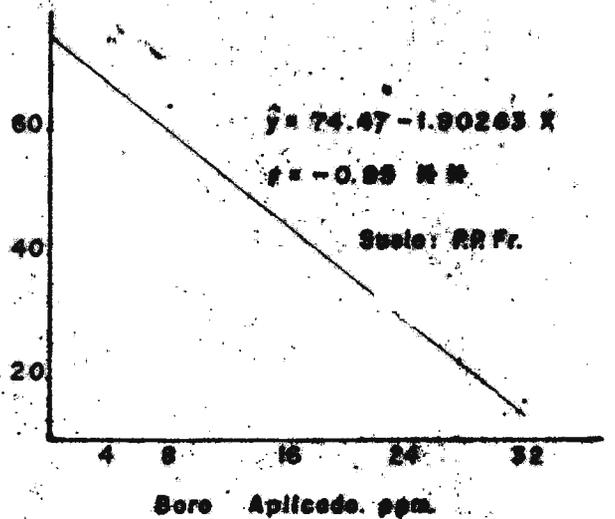
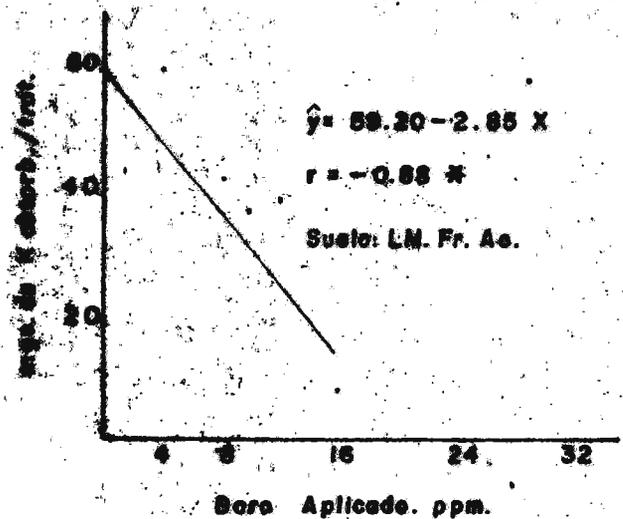


FIG. 36 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y LA ABSORCION DE POTASIO EN EL CULTIVO DE ALFALFA

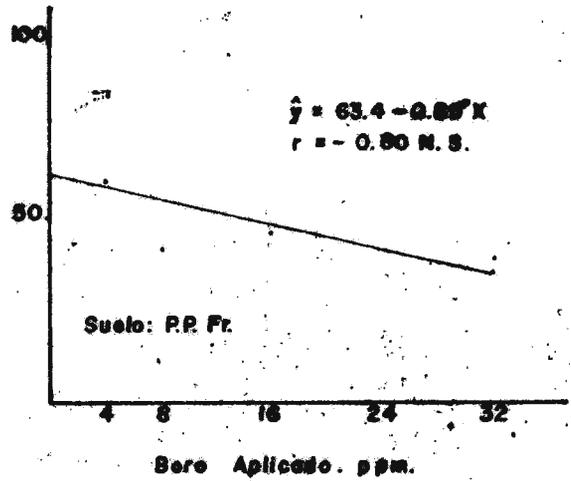
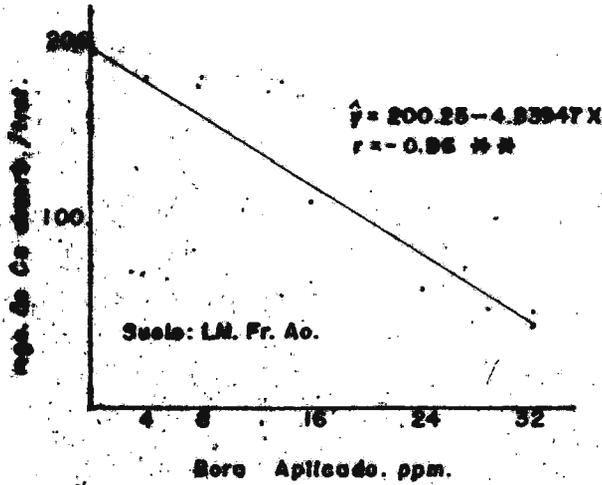


FIG. 37 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y EL CALCIO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE MAIZ

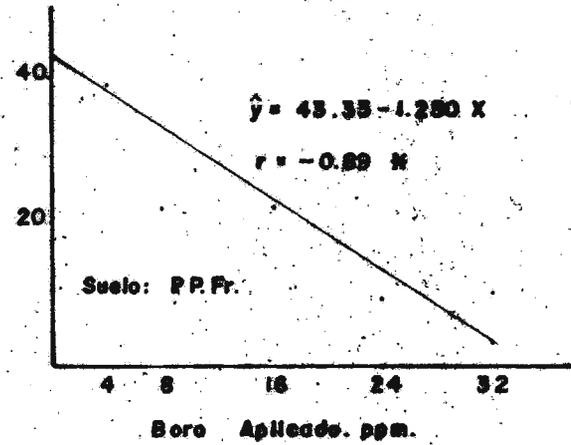
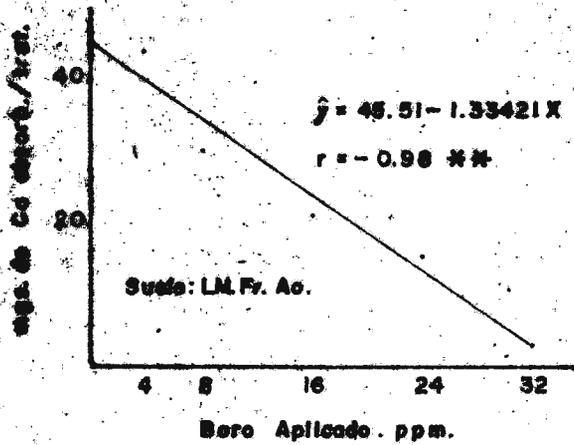


FIG. 38 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y EL CALCIO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE MAIZ

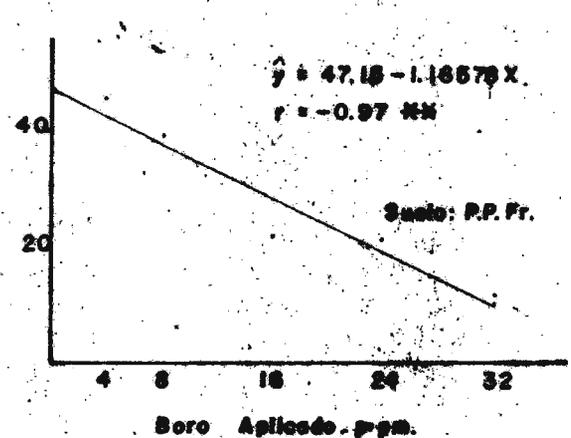
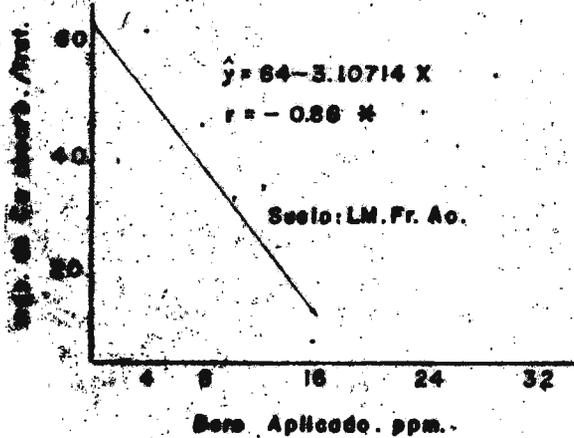


FIG. 39 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y EL CALCIO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE ALFALFA

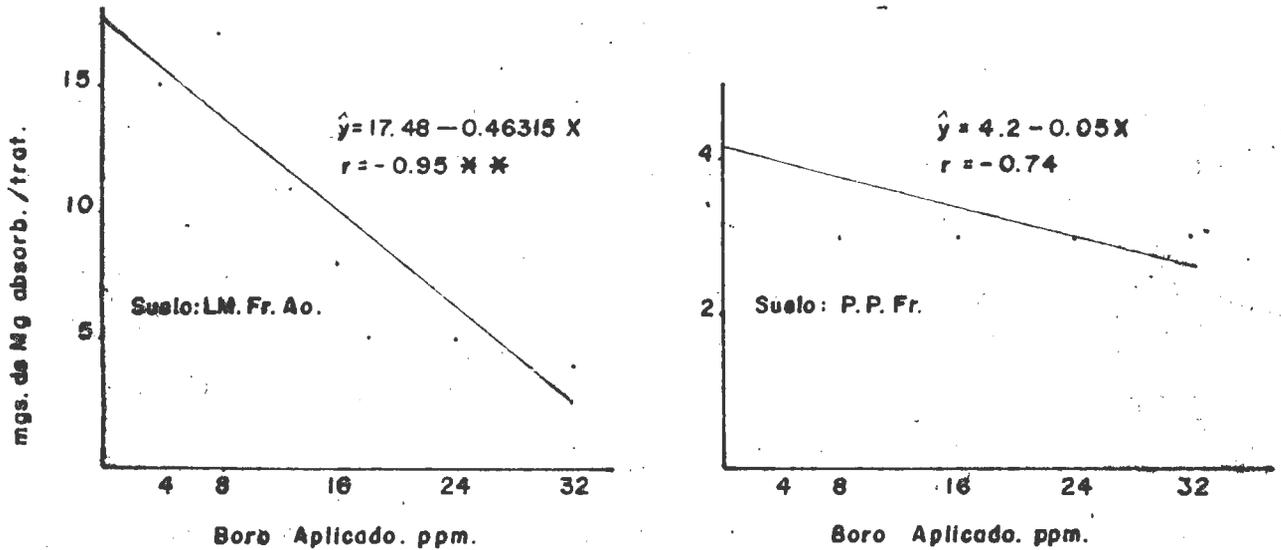


FIG. 40 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y EL MAGNESIO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE MAIZ.

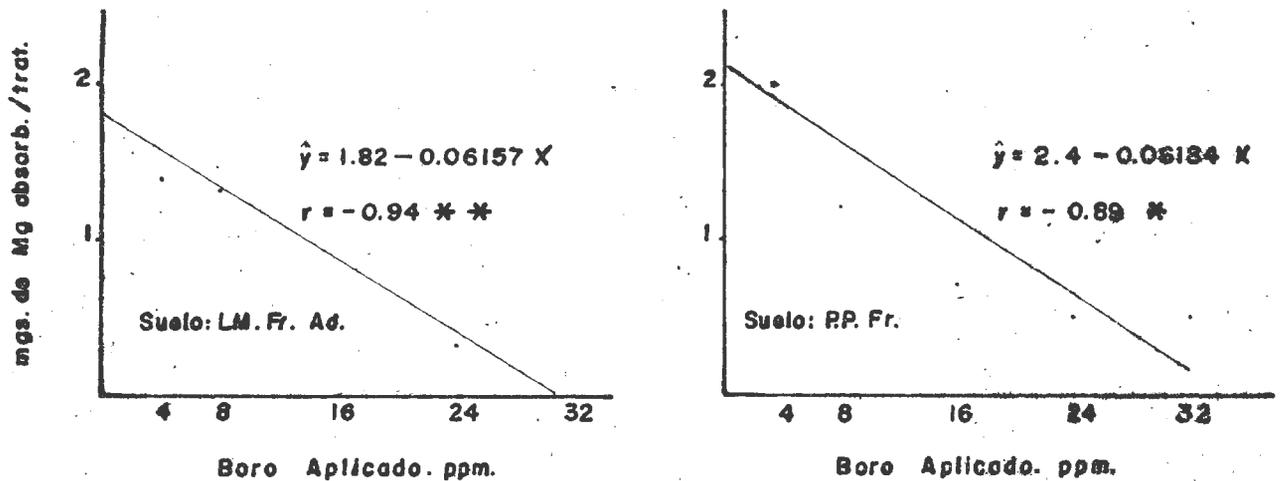


FIG. 41 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y EL MAGNESIO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE TRIGO

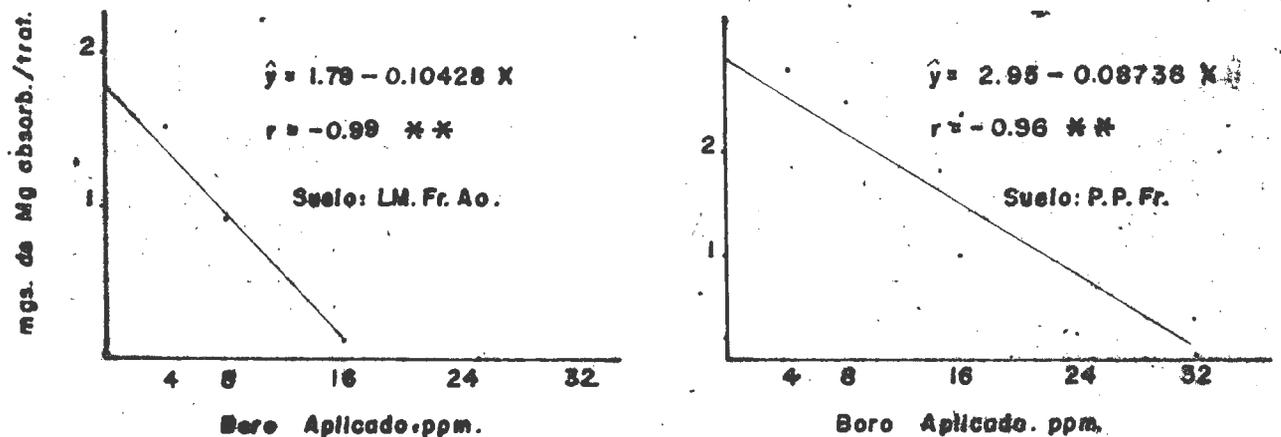


FIG. 42 REGRESION Y CORRELACION ENTRE EL NIVEL DE BORO APLICADO Y EL MAGNESIO ABSORBIDO POR EL CULTIVO DE ALFALFA