



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**Investigación de las Características
de Adsorción del Elemento Boro
en los Suelos del Distrito de Riego
No. 03 (Tula, Hidalgo)**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

José Francisco España Ramos

México, D. F.

Marzo, 1977



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

QUINIO



REC

ECHA

ABO

LAS

138

Tesis 1977

ADMINISTRACION DE QUINIO

JURADO ASIGNADO

Presidente :	Prof. Othón Canales Valverde.
Vocal :	Prof. Alicia Benítez de Altamirano.
Secretario :	Prof. Ricardo Albarrán Luna.
1er. Suplente :	Prof. Martha Rodríguez Pérez.
2do. Suplente :	Prof. Carlos Romo Medrano.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA :

CENTRO DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO PARA EL
CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA. DE LA S. R. H.

SUSTENTANTE :

José Francisco España Ramos.

ASESOR DEL TEMA :

I.Q.M. Ricardo Albarrán Luna

A MI MADRE

Inés Leonor

Por su cariño, esfuerzo
y dedicación.

A MIS ABUELOS

Fco. Javier Ramos Almada
e
Isabel Bejarano de R.

Por su bondad, confianza
y ayuda.

A MI TIO

Lic. Fco. Javier Ramos Bejarano

Por su ayuda y magnífico
ejemplo, a quien le debo en
gran parte la felicidad de
atravesar por estos momentos.

A MIS TIOS

Martha
Rosa María
y
Ramón

A MIS HERMANOS

.Lucila
Jorge
Francisco Javier
y
Carlos.

Hago constar mi sincero agradecimiento al :

I.Q.M. Ricardo Albarrán Luna

por la valiosa colaboración que me brindó
para la realización del presente trabajo.

I N D I C E

	Págs.
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	4
3. OBJETIVOS	11
4. GENERALIDADES SOBRE EL AREA DE ESTUDIO	12
5. GENERALIDADES SOBRE EL ELEMENTO BORO	20
5.1. Química del boro	20
5.2. Concentraciones de boro en aguas, suelos y cultivos en el distrito de riego No. 03	24
5.2.1. Concentración de boro en agua	24
5.2.2. Concentración de boro en suelo	27
5.2.3. Concentración de boro en cultivos	28
5.3. Métodos de análisis del boro en aguas y suelo	29
5.3.1. Método de análisis de boro en aguas	29
5.3.2. Método de análisis de boro en suelos	32
6. METODOLOGIA	34
6.1. Cinética en recipientes con agitación. Adsorción	34
6.1.1. Diseño del experimento	34
6.1.2. Metodología del experimento	36

	Págs.
6.2. Modelo en columnas. Desorción	44
6.2.1. Diseño del experimento	44
6.2.2. Metodología del experimento	46
7. RESULTADOS Y DISCUSION	50
7.1. Cálculo del % de error en la determinación de boro	50
7.2. Cinética inicial de la fijación de boro en los suelos	50
7.3. Representación del fenómeno de adsorción de boro en suelos mediante la ecuación de Langmuir	50
7.4. Características generales para los sitios de muestreo 3 , 4 , 5 , 6 , 7 y 8	62
7.5. Lixiviación del boro en los suelos en relación con la textura de éstos y diferentes láminas de agua	64
8. CONCLUSIONES	84
9. BIBLIOGRAFIA	86

CAPITULO 1

INTRODUCCION.

México es un país sediento, el agua el más escaso de todos sus recursos y el más irregular en su distribución, es un gran factor limitante en la producción de alimentos.

Ernest Gruening, dramatiza esta situación al escribir : " Es casi imposible que el habitante de un país o un lugar en donde el agua es abundante y en donde su existencia se considera tan segura como la del aire que respiramos y la luz del sol que nos alumbra, perciba siquiera, la tremenda significación de la falta de agua en México".¹

Para agravar aún más la situación, el 40 % de la superficie del país es improductiva, debido a la diversidad de las alturas, junto con los efectos de la pendiente y la irregularidad de la precipitación. El resto, se ha dividido en tres grandes categorías : tierras agrícolas, tierras forestales, y praderas." La buena tierra agrícola, o la falta de ella, ha sido un factor vital en el progreso o la decadencia tanto de naciones como de civilizaciones enteras".²

El hecho, de que muy escasa superficie del área de México pueda ser clasificada como de terrenos planos, viene a constituir la raíz misma de sus problemas agrícolas.

¹ Ernest H. Gruening, México and its Heritage.

² Tom Gill, La Crisis de la Tierra en México.

Whetten, escribió : " La cantidad de tierras agrícolas en México está definitivamente limitada por la naturaleza montañosa de gran parte del territorio, por la falta de una lluvia adecuada, por el aislamiento geográfico, y por la falta de control del paludismo en algunas de las regiones costeras en donde si se registra una precipitación conveniente".³

Teniendo en cuenta estos factores, es necesario recurrir a aguas de desecho doméstico e industrial para satisfacer las demandas agrícolas, -- por lo que se requiere un amplio conocimiento de las mismas, ya que se plantea la interrogante de que éstas aguas sean aptas para el riego.

Dado que las concentraciones de boro en las aguas destinadas para la irrigación en el distrito de riego número 03 son relativamente altas ⁴ como para alcanzar límites de toxicidad por la acumulación de este elemento en suelos de textura gruesa, se propuso llevar a cabo un estudio sobre las características de adsorción de boro en suelos del distrito, profundizando sobre la dinámica del fenómeno a través de un estudio adsorptivo de boro utilizando dos métodos : cinética en recipientes con agitación y modelo en columnas.

³ Whetten, Rural México.

⁴ Conclusiones obtenidas en el estudio reutilización del agua en la agricultura, realizado en 1975 por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

En nuestro país, desde hace algunos años, se ha tratado de hacer conciencia en los aspectos de contaminación, escasez de agua, degradación de la calidad del suelo, tanto a nivel de opinión pública como gubernamental, - puesto que es necesario unir esfuerzos para evitar males futuros.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES.

Langmuir describe la adsorción de gases en superficies catalíticas - con la siguiente expresión :

$$r_a = Kp(1 - \theta)$$

Donde :

r = velocidad de adsorción.

K = constante de adsorción.

p = presión del gas.

$(1-\theta)$ = Fracción cubierta por las moléculas adsorbidas.

Por otro lado :

$$r_d = K' \theta$$

Donde :

r_d = velocidad de desorción.

K' = constante de desorción.

θ = fracción no cubierta.

En el equilibrio, $r_a = r_d$

$$\therefore \theta = \frac{Kp}{1 + Kp}$$

Expresión denominada isoterma de Langmuir, donde K es la constante de adsorción en equilibrio.

En 1949, Krugt H.R. en su trabajo "Ciencia de los Coloides", opina que la ecuación de Langmuir describe bajo ciertas condiciones la relación de equilibrio entre el boro soluble y el que se ha fijado al suelo.

En 1952, Thomas, Hiester y Vermeulen, desarrollaron ecuaciones para describir la adsorción y desorción durante el uso de soluciones a través de columnas, donde el equilibrio de adsorción puede ser expresado por medio de la ecuación de adsorción de Langmuir.

Posteriormente, Eaton encontró que existe un equilibrio entre el boro disuelto y el boro no disuelto en los suelos y notó que al aplicar agua de una misma concentración a suelos de textura gruesa y fina, perjudicaba más rápidamente a los de textura gruesa.

En el año de 1953, la Universidad Nacional Autónoma de México, por conducto de la Facultad de Ciencias Químicas, determinó en líquidos y en algunos otros productos la concentración de boro, los resultados se incluyen en el cuadro II - 1.

CUADRO II - 1.

CONCENTRACIONES DE BORO EN LIQUIDOS.

Líquido	Boro (mg/l).
Agua potable	1.75
Jugo de naranja	2.50
Agua mineral	5.00
Vino tinto	10.00
Agua de mar	13.75

CONCENTRACIONES DE BORO EN PRODUCTOS.

Producto	Boro (mg de B/Kg de mat. seca)
Chile	--
Harina de trigo	1.25
Trigo	1.25
Cebolla	12.50
Papa	6.00
Frijol negro	2.50
Azúcar	2.50
Betabel	25.00
Zanahoria	62.50

Producto	Boro (mg de B/Kg de mat. seca).
Manzana	50.00
Arroz	10.00
Avena	10.00
Zorgo	15.00
Maíz - 123	18.00
Frijol soya	25.00
Maíz blanco	25.00
Maíz - 125	37.50

En los años 1964 a 1968, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, realizó un estudio sobre la caracterización de las aguas de riego del D.R. No. 03. Las concentraciones de boro en las aguas de riego, se indican en el cuadro II - 2.

En 1968, la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, realizó una investigación sobre el efecto del boro en la agricultura, obteniendo las concentraciones de boro en dos estaciones, la hidrométrica de la Mora y la estación de Lagunillas, los resultados se muestran en el cuadro II - 3.

CUADRO II - 2

CONCENTRACIONES DE BORO EN LAS AGUAS DEL
DISTRITO DE RIEGO 03.

Estación	Año	Concentración (mg/l).
Tunel de Tequixquiac	1964	1.76
	1965	2.10
	1966	1.54
	1968	1.79
Canal Dendho (Km 4 + 780)	1966	1.21
	1967	1.16
	1968	1.25
Puente Amaya	1964	2.33
	1965	1.98
	1966	1.32
	1967	1.74
	1968	1.75
Canal Principal Sur (Km 5 + 600)	1964	1.95
	1965	1.74
	1966	1.25

CUADRO II - 3

CONCENTRACIONES DE BORO EN LA ESTACION LA MORA
DEL DISTRITO DE RIEGO 03.

Fecha	Hora	Boro mg/l.
Noviembre 6 /1968	11	2.06
	12	2.22
	13	2.43
	14	1.53
	15	1.25
	16	1.80
	17	1.92
	18	1.16
	19	1.30
	20	1.55
	21	1.95
	22	1.33
	23	1.50
24	1.83	
Noviembre 7 /1968	1	1.67
	2	1.86
	3	2.03
	4	1.32
	5	1.14
	6	1.41
	7	1.36
	8	1.95
	9	2.26
	10	1.91

CONCENTRACIONES DE BORO EN LA ESTACION LAGUNILLAS
DEL DISTRITO DE RIEGO 03.

Fecha	Hora	Boro mg/l
Noviembre 7/1968	8	1.31
	9	1.52
	10	1.47
	11	1.44
	12	1.02
	13	1.15
	14	1.19
	15	0.90
	16	0.95
	17	1.01
	18	1.55
	19	1.07
	20	0.88
	21	1.02
22	1.16	
23	0.88	
24	1.40	
Noviembre 8/1968	1	1.82
	2	0.90
	3	1.13
	4	1.07
	5	1.19
	6	0.90
	7	1.10

CAPITULO 3

OBJETIVOS.

- 3.1. Establecer si la adsorción del boro en los suelos utilizados, se ajusta a la isoterma de Langmuir.
- 3.2. Correlacionar los fenómenos de fijación de boro en sue los regados con aguas conteniendo boro disuelto en función de la textura de los suelos del distrito de riego 03.
- 3.3. Determinar la lámina de agua necesaria para remover el boro de los estratos en que los cultivos se desarrollan, en tal forma que no se presenten condiciones tóxicas.
- 3.4. Correlacionar el fenómeno de remoción de boro del sue lo con la profundidad del estrato sujeto al proceso de la vado.

CAPITULO 4

GENERALIDADES SOBRE EL AREA DE ESTUDIO.

LOCALIZACION.

El distrito de riego 03 está situado en la parte suroeste del estado de Hidalgo. Los datos geográficos medios son :

Lat. 20° 15 N ; Long. 99° 13 O ; Alt. 1895 MSNM.

Los municipios que se encuentran en la zona de riego, así como el número de hectáreas con las que cuentan son las siguientes :

Estado de Hidalgo : Actopan, 3 575 ; Atitalaquia, 234 ; Atotonilco de Tula, --
1 201 ; Chiconautla, 62 ; El Arenal, 29 ; Ixmiquilpan, 56 ;
Mixquiahuala - Progreso, 9 204 ; Santiago Anaya, 799 ; -
San Salvador, 4 569 ; Tasquillo, 3 037 ; Tepatepec de --
Fco. I. Madero, 5 720 ; Tepetitlán, 678 ; Tetepango, 620
Tesontepec de Aldama, 5 287 ; Tepeji, 674 ; Tlahuelilpan
- Tlaxcoapan, 4 130 ; Tula, 4 497.

Estado de México : Apaxco, 3 373 ; Tequixquiac, 1 162.

HIDROLOGIA.

El distrito de riego número 03, se ha desarrollado mediante el aprovechamiento de las aguas de los ríos Tula y Salado.

El río Tula, se forma con la confluencia de los ríos Tepeji y el Salto, sus principales tributarios son los ríos Tlautla y Rosas, hasta llegar al vaso de la presa Endho, donde desvía su curso hasta el este, recibiendo la descarga del río Salado, para continuar su recorrido hasta unirse con el río San Juan del Río y constituir el río Moctezuma, tributario del Pánuco que finalmente descarga en el Golfo de México.

El río Salado, recibe las aportaciones de los túneles de Tequixquiac, que por el gran canal del desagüe de la ciudad de México, recibiendo actualmente, 800 millones de metros cúbicos anuales.

En el plano IV - 1, se muestra lo descrito anteriormente.

En el cuadro IV - 1, se observan los aspectos hidrológicos fundamentales del distrito de riego número 03.

HIDROMETRIA.

Capacidad de los canales principales :

Canal de Fuerza : 13.0 m³/seg.

Canal Dendhó : 17.0 m³/seg.

Canal Endhó : 10.0 m³/seg.

Canal Requena : 10.0 m³/seg.

Capacidad del drén principal : 15.0 m³/seg.

CUADRO IV - 1.

ASPECTOS HIDROLOGICOS DEL DISTRITO DE RIEGO No.03.

Tipo de almacenamiento	Area regable	Capacidad total.	Millones de M		Volumen anual utilizado.	Corriente	Vol. en M Gasto M/Seg.		
			Volumen muerto.	Capacidad util.			Max.	Med.	Min.
Presa Taxhimay		42.8	0.0	42.8		Río San Luis	42.8	37.9	20.9
Presa Requena	48907	52.5	0.0	52.5	217.1	Río Tepeji	52.5	38.1	15.0
Presa Endhó		182.9	44.4	138.5		Río Tula	137.6	120.7	79.4
						Río Salado	52.0	29.4	17.8

ALTITUD Y CLIMA.

La altitud de las tierras agrícolas del distrito, varía de 1975 a 2045 - metros sobre el nivel del mar.

El clima dominante de acuerdo con la clasificación de Thornthwite es templado frío, semiseco.

La precipitación media anual es de ^{453.1}474.8 mm y ocurre principalmente durante los meses de mayo a septiembre.

La temperatura presenta fuertes variaciones durante el año, siendo -- la media anual de 19.0°C ; registrándose una máxima de ^{24.1}39.4 en los meses de mayo y una mínima de ^{16.5}-6.7°C en los meses de enero.

La evaporación media diaria (24 horas) es de 5.252 mm.

Y anual de 1355.75 mm

Las heladas se presentan de noviembre a marzo ; las más intensas en diciembre y enero. ^{Feb}De noviembre a diciembre se registran también los -- vientos procedentes del norte, extremadamente fríos y algo fuertes.

El viento dominante en el distrito es del N y NE.

COMUNICACIONES.

El distrito de riego está comunicado con el resto del país por diferentes vías :

El ferrocarril México - Laredo lo cruza de sur a noroeste, tocando las estaciones de Vito, Teocalco y Carrasco.

El ferrocarril México - Cd. Juárez lo cruza de sur a noroeste, tocando las estaciones de El Salto, Jasso, Tolteca y Tula.

El ferrocarril local Pachuca - Tula.

Todos estos puntos corresponden a estaciones de embarque dentro del territorio del distrito.

El principal eje vial del distrito, que viene a ser realmente su columna vertebral, lo constituye la carretera Actopan - Tepeji del Río, que está comunicada en su extremo NEE a la carretera México - Laredo y en su extremo SW a la supercarretera México - Querétaro.

Como carretera complementaria está la de Progreso a el Tepé, que comunica con la población de Ixmiquilpan sobre la de Laredo.

El sistema de vialidad del distrito se estructura en una red muy completa de caminos de primer orden, además de los caminos de terracería que lo cruzan en todas direcciones y que son transitables durante todo el año.

PRODUCCION.

Los principales cultivos que se tienen a la fecha son : alfalfa, maíz, -

trigo, frijol, avena y jitomate y en menor escala ; cebada, chiles y varios.

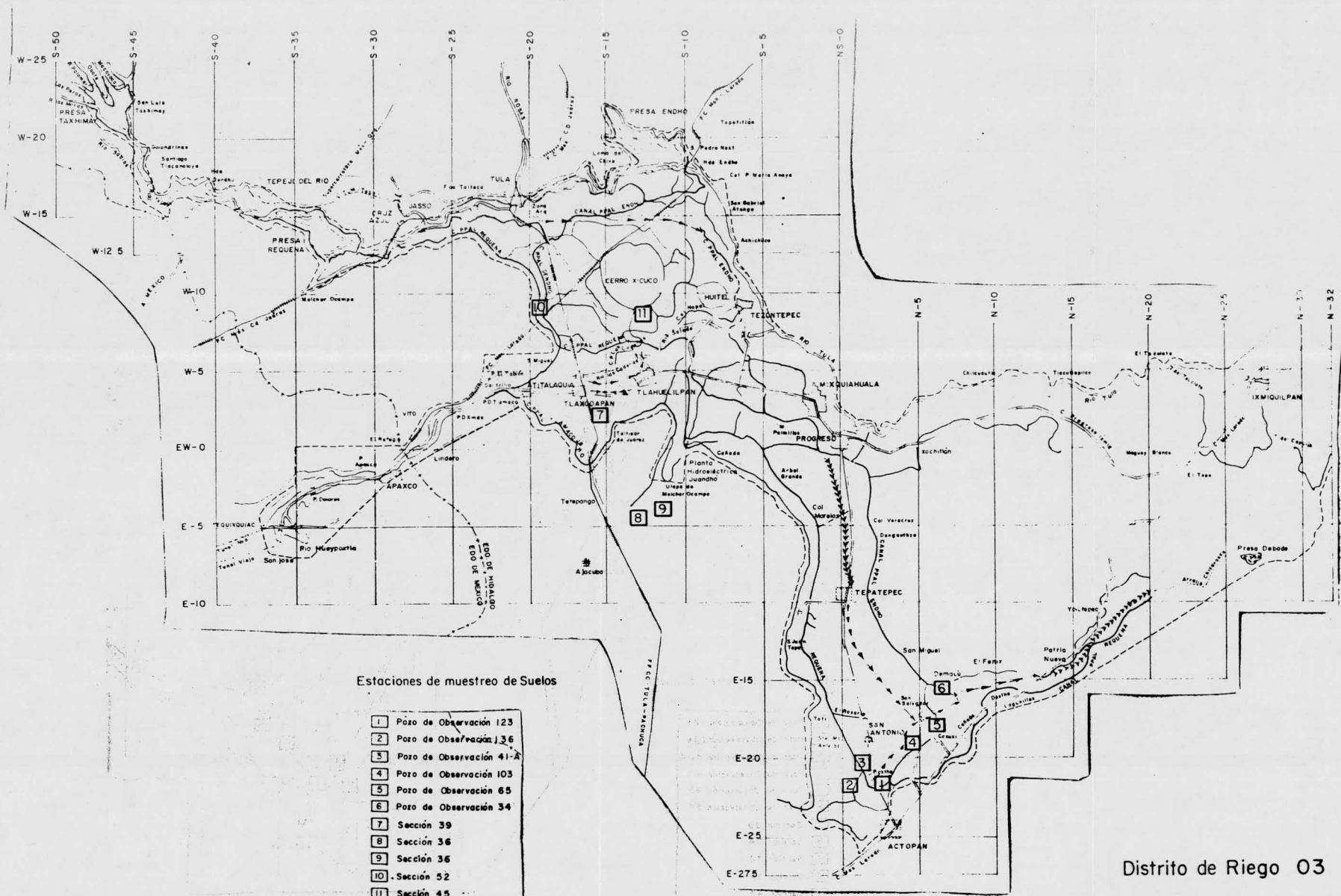
Adicionar lo de prod. pecuaria,

En el cuadro IV - 2 se presentan cifras de las cosechas de tres ciclos agrícolas.

MERCADO.

Los mercados con que cuenta la región son principalmente para llenar las necesidades locales , la capital del estado y el Distrito Federal.

PLANO IV - 1



Estaciones de muestreo de Suelos

- 1 Pozo de Observación 123
- 2 Pozo de Observación 36
- 3 Pozo de Observación 41-A
- 4 Pozo de Observación 103
- 5 Pozo de Observación 65
- 6 Pozo de Observación 34
- 7 Sección 39
- 8 Sección 36
- 9 Sección 36
- 10 Sección 52
- 11 Sección 45

Distrito de Riego 03

CUADRO IV -2.

CIFRAS DE LAS COSECHAS DE TRES CICLOS AGRICOLAS.

Ver cuadros del Boletín actualizado

Ciclos	Total de hectáreas cosechadas.	Valor Total de la cosecha.
1957 - 58	28 201	\$ 64 599 000
1962 - 63	41 350	\$ 162 623 000
1974 - 75	51 644	\$ 501 923 725

CAPITULO 5

GENERALIDADES SOBRE EL ELEMENTO BORO.

5.1. QUIMICA DEL BORO.

CONTENIDO Y FORMAS DEL BORO EN LOS SUELOS.

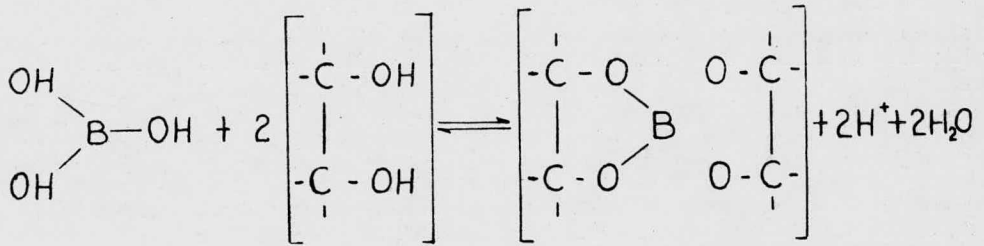
El boro presente en los suelos proviene de rocas ígneas y sedimentos marinos. Se han encontrado valores en algunas rocas ígneas ácidas hasta de 60 ppm. de boro y en las rocas básicas alrededor de 10 ppm/Kg. En el suelo se encuentra en cantidades pequeñas, menores que el 0.01 %, y puede ser de naturaleza orgánica e inorgánica ; el contenido de este elemento en los suelos, depende de varios factores, tales como el material parental, el clima y la materia orgánica.

El boro inorgánico se encuentra disuelto en la solución del suelo como ácido bórico (0.1 a 0.01 ppm. B) en forma de boratos, sorbido al complejo coloidal del suelo ; a veces se le encuentra formando el centro de tetraedros de algunas micas.

Entre las posibles reacciones que pueden llevarse a cabo entre el boro, en la solución del suelo y sus coloides se encuentran : la adsorción como ión borato, o como ácido bórico molecular, formación de complejos orgánicos, precipitación como boratos de Al y Si.

El boro orgánico se encuentra en forma de ésteres del ácido bórico -

con componentes oxhidrúlicos (entre otros polisacáridos) que se originan en los procesos de transformación de la materia orgánica :

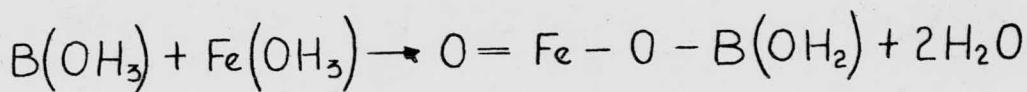


Este boro orgánico no es disponible para las plantas ; para ello sería necesario su mineralización, aunque este proceso es poco conocido.

LA ADSORCION DEL BORO Y OTROS PROCESOS QUIMICOS.

La adsorción del ión borato presente en la solución del suelo lleva a la saturación de las cargas electropositivas que presentan los coloides del suelo. La materia orgánica, hidróxidos y arcillas son sustancias anfóteras que bajo condiciones de acidez se comportan como electropositivas y dan lugar a la adsorción de aniones de fosfato, sulfato, borato y molibdato.

La adsorción del ácido bórico al complejo coloidal puede seguir el siguiente esquema al reaccionar con hidróxidos de fierro :



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 a la marcada afinidad que tienen por el boro los hidróxidos de fierro y aluminio.

Algunos autores aseguran que el boro produce reacciones de sustitución en los complejos de aluminio - silicatos, formando precipitados y que estos son mayores al aumentar el pH y el contenido de ión calcio en los suelos ; también ocurre lo mismo cuando se produce disminución de la humedad. Estos autores basan su hipótesis en la valencia común que presentan tanto el boro como el aluminio, su colocación en la misma columna de la tabla periódica y la formación de óxidos estables (X_2O_3) por parte de ambos elementos. Manifestaron que la mayor estabilidad de un aluminio - silicato comparado con un complejo del mismo tipo en el que el boro reemplaza alguno de los átomos de aluminio, se prueba en parte por la diferencia en el radio iónico ($\text{Al}^{+++} = 0.50 \text{ \AA}$; $\text{B}^{+++} = 0.20 \text{ \AA}$).

Otras veces se ha relacionado al proceso de fijación de boro con la -

materia orgánica del suelo, ya que se ha encontrado que ésta retiene una gran cantidad del elemento y que cuando el humus está saturado con iones H conserva casi el doble de boro que uno no saturado con calcio ; sin embargo la materia orgánica, por otro lado, es una fuente importante de boro en los suelos, puesto que lo libera conforme se descompone.

MECANISMOS DE FIJACION DEL ELEMENTO BORO.

Los compuestos de boro no presentan las mismas características de movilidad que otras sales que afectan los terrenos agrícolas debido en parte a que se acumulan o fijan en el suelo por diferentes mecanismos (intercambio químico de iones, adsorción molecular, fijación microbiana) requiriéndose láminas de lavado mucho mayores para remover mediante el proceso de lixiviación, el exceso de boro soluble hasta concentraciones no tóxicas para los cultivos.

El fenómeno de intercambio químico de iones está íntimamente ligado con la actividad química del ión para desplazar a otros iones menos activos, en este caso el boro, basándose en su electronegatividad teórica, puede desplazar a otros elementos como son : potasio, calcio, sodio, magnesio, aluminio, y silicio, componentes del suelo.

En el fenómeno de adsorción molecular, la fijación del boro en el suelo es debida principalmente a la entrada del elemento en el enrejado cris-

talino de los minerales arcillosos y las deducciones han tomado en cuenta el pequeño radio atómico del elemento ($0.23 - 0.35 \text{ \AA}$) y la gran superficie de adsorción que presentan las arcillas, pues su tamaño de partícula es menor que 0.002 mm misma textura que predomina en el distrito de riego principalmente en las áreas afectadas por el boro.

Algunos autores, relacionan la escasez del boro en los suelos, con formas en las que se puede el boro encontrar no aprovechables por las plantas. Señalaron que tales formas en las que el boro no era aprovechable se debía probablemente a que la materia orgánica del suelo fijaba al elemento cuando era activada, microbiológicamente por un exceso de calcio. Fenómeno denominado fijación microbiana.

5.2. CONCENTRACIONES DE BORO EN AGUAS, SUELOS Y CULTIVOS EN EL DISTRITO DE RIEGO No.03.

5.2.1. CONCENTRACION DE BORO EN AGUA.

Las concentraciones de boro existentes en las aguas del distrito de riego, se muestran en el cuadro V - 1, en este cuadro se observa el promedio obtenido en los años 1963 - 1973, así como la aportación de boro a los suelos del distrito.

CUADRO V - 1

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE BORO EN LAS AGUAS DEL DISTRITO DE RIEGO No. 03

	Prom (mg/l)	Aportaciones (Kg/Ha. año)
Aguas Negras	1.69	23
Aguas Mezcladas	0.42	5.67
Aguas Blancas	1.35	18.24

En el cuadro V - 2, se muestra la clasificación del agua de riego según el contenido de boro. Según este cuadro, las aguas negras del distrito son inadecuadas para cultivos sensibles, permisibles para cultivos semitolerantes y buenas para cultivos tolerantes ; las aguas mezcladas son inadecuadas para cultivos sensibles, buenas para cultivos semitolerantes y buenas para cultivos tolerantes ; las aguas blancas son buenas para cultivos sensibles y excelentes para cultivos semitolerantes y tolerantes.

CUADRO V - 2

CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGUN EL CONTENIDO DE BORO.

Clase de Agua de Riego	B O R O (mg/ l)		
	Sensible	Semitolerante	Tolerante
Excelente	0.33	0.67	1.00
Buena	0.33 - 0.67	0.67 - 1.33	1.00 - 2.00
Permisible	0.67 - 1.00	1.33 - 2.00	2.00 - 3.00
Dudosa	1.00 - 1.25	2.00 - 2.50	3.00 - 3.75
Inadecuada	1.25	2.50	3.75

Uso agrícola de las aguas negras, Pub. 9/70 de la Comisión hidrológica de la cuenca del valle de México, S. R. H.

5.2.2. CONCENTRACION DE BORO EN SUELO.

Las concentraciones de boro en suelos, en función del tipo de aguas -- con que se riegan estos, se observan en el cuadro V - 3.

CUADRO V - 3.

CONCENTRACIONES DE BORO EN LOS SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO

No. 03.

Tipos de Aguas de Riego	B O R O (mg/ Kg)		
	Estrato 0 - 30	Estrato 30 - 60	Estrato 60 -90
Negra	0.523	0.490	0.190
Mezclada	0.756	0.766	0.426
Blanca en Estío y mezclada en lluvias	0.517	0.302	0.303
Blanca	0.290	0.290	0.120

Promedios obtenidos del estudio reutilización del agua en la agricultura, 1974, S. R. H.

5.2.3. CONCENTRACIONES DE BORO EN CULTIVOS.

Se obtuvieron datos de concentraciones de boro en alfalfa y jitomate, - los cuales se muestran en el cuadro V - 4.

CUADRO V - 4.

CONCENTRACIONES DE BORO EN CULTIVOS DEL DISTRITO DE RIEGO

No. 03.

Cultivo	Boro (mg/ l)
Alfalfa	23.8
Jitomate	10.5

Promedios obtenidos del estudio reutilización del agua en la agricultura, 1974, S. R. H.

5.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL BORO EN AGUAS Y SUELO.

5.3.1. MÉTODO DE ANÁLISIS DE BORO EN AGUAS.

BORO, COLORIMÉTRICAMENTE, USANDO CARMIN.

EQUIPO

Un espectrofotómetro con pares de cubetas cuadradas, tubos para centrífuga, matraces, vasos, pipetas y buretas (de vidrio sin boro). El equipo de vidrio (libre de boro), de porcelana, de platino, o de cuarzo fundido debe ser satisfactorio. Debe evitarse el uso de vidrio a base de silicatos de boro. Los tamaños convenientes son : tubos de centrífuga de 15 ml, matraces de 125 ml, vasos de 100 ml, pipetas de 2 ml, buretas automáticas de 10 ml.

REACTIVOS

- A. Hidróxido de sodio 0.1 N libre de boro.
- B. Acido clorhídrico concentrado.
- C. Acido clorhídrico diluido (5 + 95).
- D. Acido sulfúrico concentrado.
- E. Solución de Carmin. Solución al 0.05 por ciento por peso de Carmin en ácido sulfúrico concentrado (0.920 g/1). Se agita hasta disolver completamente.

F. Solución tipo de ácido bórico. Solución base. -
Se disuelve 0.5716 g de H₃BO₃ recristalizado -
en agua destilada y se diluye a 1 litro, un mi-
lilitro de esta solución contiene 0.100 mg de -
boro.

CURVA TIPO

Se diluyen partes de la solución indicada en el --
punto F para obtener patrones desde 0 hasta 10 -
mg/ l de boro. Se tratan 2 ml de cada solución -
como se indica en el procedimiento y se obtiene -
la lectura de transmisión. Como referencia se -
debe usar agua destilada llevando la lectura a --
100 de transmisión.

PROCEDIMIENTO

Se toman 2 ml de la muestra, los cuales no deben
contener más de 0.2 mg de boro y se ponen en un
matraz Erlenmeyer. Se agregan 2 gotas de reac-
tivo B. Se agregan 10 ml del reactivo D., se mez-
cla y se enfría. Se agregan 10 ml del reactivo E.,
se mezcla y se deja en reposo 45 minutos para de-
sarrollo de color. Se determina la transmisión a -
585 m contra la referencia de 2 ml de agua usada -

durante todo el proceso para extractos coloreados, se sigue el procedimiento indicado para bajo contenido de boro, excepto que hay que incinerar después de evaporar la muestra a sequedad.

CALCULOS

Se lee la concentración de boro en la curva de calibración. Cuando la concentración de boro da un valor de transmisión fuera de la parte recomendada (20 a 95 %), la muestra se diluye o se concentra para satisfacer esta condición.

Concentración excesiva de boro.

Se diluye la muestra con agua destilada a un volumen conocido, se mezcla y se toman los 2 ml como se ha indicado.

Concentración muy baja.

Se toma una muestra y se coloca en una cápsula, se hace alcalina con la solución A y se le agrega un ligero exceso (debe agregarse la misma cantidad a todas las muestras, inclusive la de referencia). Se evapora a sequedad en el baño María o en la estufa a 95°C, se enfría y se le agregan 5 ml de solución C y se tritura con un gendarme de hule, se pone la so-

lución con un tubo cónico para centrifuga y se cen
trifuga a 1 000 ó 1 500 rpm se ponen 2 ml de la so
lución clara en un matraz Erlenmeyer y se sigue -
el procedimiento descrito, corrigiendo la lectura -
de la curva patrón para estar de acuerdo con la a -
lícuota tomada.

5.3.2. METODO DE ANALISIS DE BORO EN SUELOS.

EXTRACTO DE SATURACION.

EQUIPO

Recipientes de 250 ml de capacidad ó mayor, tales
como vasos ó botes para humedad, embudos Buech
ner ó Richards, soportes para filtros ó frascos, pa
pel filtro, bomba de vacío, tubos de ensaye para re
cibir el extracto de saturación.

PROCEDIMIENTO

Se prepara la pasta saturada agregando agua desti
lada a la muestra de suelo y agitando con una espá
tula, de vez en cuando la muestra debe consolidar -
se golpeando el recipiente con cuidado sobre la me
sa de trabajo ; al saturarse la pasta, brilla por la -
reflexión de luz, fluye ligeramente si se inclina el -

recipiente y la pasta se desliza fácilmente de la espátula, excepto en el caso de los suelos con alto contenido de arcilla. Después de mezclarse se debe dejar reposar la muestra durante una hora y comprobar el criterio de saturación.

La pasta saturada se coloca en uno de los embudos con papel filtro y se aplica vacío, el extracto se recibe en un tubo de ensaye, no debe usarse vidrio Pyrex ; la extracción al vacío debe determinarse cuando empieza a pasar aire por el filtro.

La determinación de la concentración de boro en el extracto de saturación se efectúa colorimétricamente, usando Carmín, método ya explicado.

CAPITULO 6

METODOLOGIA.

6.1. CINETICA EN RECIPIENTES CON AGITACION. - ADSORCION.

6.1.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

La ecuación de Langmuir es aplicable bajo ciertas condiciones y límites de concentraciones para describir la relación de equilibrio entre el boro soluble y el que se ha fijado al suelo.⁴ El cálculo e interpretación de sus parámetros indican la relación de boro soluble y fijo presente en el suelo, - así como su efecto sobre los cultivos.

Dicha expresión es :

$$q_B = \frac{K Q C_B}{1 + K C_B} \quad \text{--- I}$$

Donde :

q_B = Boro adsorbido por el suelo. $\left[\frac{mg}{Kg} \right]$
 C_B = Concentración de boro en la solución. $\left[\frac{mg}{l} \right]$
 Q = Capacidad adsortiva total. $\left[\frac{mg}{Kg} \right]$
 K = Constante de equilibrio de la adsorción de boro que es función de la energía de ligadura. $\left[\frac{l}{mg} \right]$

⁴ Krugt H. R. Ciencia de los coloides.

El funcionamiento del modelo implica el cálculo experimental de :

$$Q_B \text{ y } C_B.$$

Expresando esta ecuación en su forma lineal :

$$\frac{C_B}{Q_B} = \frac{1}{KQ} + \frac{C_B}{Q} \text{ --- II}$$

Donde :

Q = Inverso de la pendiente de la recta que se obtiene al graficar diferentes pares de valores de C_B y Q_B .

K = Pendiente dividida por la ordenada al origen.

Para resolver estas operaciones se preparó un programa para el sistema Hewlett Packard 9810, que opera en el Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Calidad del Agua, de la S. R. H.

El programa utiliza como datos de entrada la cantidad de boro añadido y soluble medidos experimentalmente ; corre las regresiones lineales simples para C_B , $\frac{C_B}{Q_B}$; obtiene el valor del coeficiente de correlación ; reporta Q y K .

Si se tiene que C_B° y Q_B° son las cantidades de boro soluble y fijo --- iniciales respectivamente, al alcanzar las condiciones de equilibrio, se tiene:

$$C_B = C_B^\circ + WY \text{ --- III}$$

$$Q_B = Q_B^\circ - Y \text{ --- IV}$$

Donde :

W = Relación entre el peso del material sólido y la cantidad de agua ; expresada en Kg / l.

Y = Cantidad de boro desorbido al entrar en contacto el suelo y la solución ; expresada en mg / Kg.

Sustituyendo las ecuaciones III y IV en la ecuación I, se tiene :

$$q_B^o - Y = \frac{KQ (C_B^o + WY)}{1 + K (C_B^o + WY)}$$

Esta ecuación indica que fracción de boro permanece adsorbida después de alcanzado el equilibrio, para cualquier contenido de humedad ; cuando K y Q son determinados en un contenido de humedad fijo.

6.1.2. METODOLOGIA DEL EXPERIMENTO.

SELECCION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.

Las estaciones de muestreo de suelos, se seleccionaron en pozos de observación dentro del área afectada por boro, considerando texturas diferentes² con objeto de correlacionar ésta con el proceso de fijación de boro en los suelos.

² Información interna del distrito de riego No. 03.

En el cuadro VI - 1 se presenta la relación de los sitios de muestreo, mismos que se encuentran localizados en el plano IV - 1.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS DEL SUELO.

El tamaño de muestra fue variable entre 25 y 200 g utilizándose exclusivamente vasos de polietileno durante el transporte. Se trabajaron muestras naturales cuarteadas, así como lavadas con agua destilada caliente, hasta eliminar prácticamente todo el boro presente y reducir la conductividad eléctrica del extracto de saturación a 0.1 - 0.3 mmhos/cm a 25°C.

CUADRO VI - 1

RELACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO.

Muestra de Suelo No.	Textura
1	Migajón arcilloso
2	Migajón arcilloso
3	Migajón arcilloso
4	Migajón arcilloso
5	Arcilloso
6	Arcilloso
7	Migajón arcilloso
8	Migajón arcillo - arenoso

CARACTERIZACION DE LOS SUELOS.

A las muestras de suelo, obtenidas de las estaciones de muestreo seleccionadas, les fueron practicadas los siguientes análisis :

Textura, con el hidrómetro de Bouyoucos ; pH, en la pasta de suelo saturado ; Ca , por titulación con etilén - diamino - tetraacetato ; materia orgánica, por el método de digestión húmeda de Walkley y Black, modificado -- por Walkley ; boro, colorimétricamente, utilizando Carmín.

En todas las determinaciones, se siguieron las especificaciones del manual suelos salinos y sódicos, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

PREPARACION DE LAS SOLUCIONES.

Al inicio del experimento se emplearon soluciones en base a ácido bórico previamente pesado, y con objeto de tener una mayor precisión y exactitud, se utilizaron soluciones patrones disueltas en agua destilada. Los volúmenes de solución variaron entre 25 y 300 ml determinándose -- que entre 25 y 50 ml es lo adecuado a fin de evitar pérdidas durante la agitación de la muestra. Se analizó el ámbito de concentraciones de boro en la solución para determinar las limitaciones de los métodos analíticos y las condiciones que establece la ecuación de Langmuir.

En el cuadro VI - 2 se muestran los ámbitos de concentración empleados en la preparación de las soluciones para cada muestra.

PREPARACION DE LAS SUSPENSIONES SUELO - AGUA.

Una vez preparadas las muestras del suelo y las soluciones, se forman las suspensiones suelo - agua, en recipientes de plástico en proporciones 1 : 1. En las corridas iniciales el factor de proporción W fue siempre menor que la unidad, lo que ocasionaba frecuentes pérdidas del líquido en la agitación.

CUADRO VI - 2

CONCENTRACION DE BORO EN LAS SOLUCIONES.

Sitio No.	Concentración de Boro en la solución (mg/ l).						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	25	20	75	-	-	-	-
2	4	12	24	36	72	120	-
3	10	15	20	25	-	-	-
4	10	15	20	25	30	35	40
5	10	20	30	40	-	-	-
6	5	10	15	20	25	30	35
7	1	3	5	7	10	15	-
8	1	3	5	7	10	15	-

METODOLOGIA DE ANALISIS DE LAS MUESTRAS.

La metodología de análisis de las muestras consistió en centrifugar durante 15 minutos el sobrenadante de las corridas del experimento, y tomar una alícuota de 10 ml para determinar el contenido de boro, estas determinaciones, así como la determinación del contenido de boro en suelos se efectuaron mediante las técnicas analíticas mencionadas en el Capítulo 5.

Con objeto de obtener una referencia sobre la confiabilidad de los resultados obtenidos en la determinación de la concentración de boro en las muestras, se llevó a cabo una corrida de prueba para determinar la precisión y exactitud de los métodos analíticos empleados. Se aforaron a un (1) litro 50 ml de solución patrón de boro (0.1 mg de boro / ml), de la cual se tomaron 7 alícuotas de 100 ml, cada una con una concentración calculada de 5 mg / l, determinándose su contenido de boro.

OPERACION DEL MODELO EXPERIMENTAL.

Las suspensiones suelo - agua contenidas en recipientes de plástico se sometieron a agitación en agitadores magnéticos con cápsulas recubiertas de teflón durante períodos de tiempos variables desde 5 horas continuas hasta 120 horas con agitaciones en períodos de 15 minutos tres (3) veces al día.

En las pruebas continuas, se tomó una muestra pipeteando el sobrenadante de la suspensión, a intervalos de tiempo determinados, después de un tiempo de sedimentación de aproximadamente 15 minutos, analizando posteriormente la muestra, en su contenido de boro.

En las corridas subsecuentes, transcurrido un tiempo de 96 horas⁵, se tomaron aproximadamente 15 ml del sobrenadante de cada recipiente, centrifugándose y obteniéndose 10 ml de la solución limpia, la cual se sometió a pruebas analíticas para determinar su concentración de boro. Estas operaciones se repitieron, tratando de llegar a un punto de equilibrio ; en el experimento se determinó que el punto de equilibrio era aquel en el cual los resultados de dos análisis consecutivos fueran prácticamente los mismos.

⁵ Este tiempo fué seleccionado en base a las pruebas efectuadas en períodos variables.

6.2. MODELO EN COLUMNAS. - DESORCION.

6.2.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

El experimento se llevó a cabo mediante un diseño en bloque completamente azarizado⁴ con una observación por unidad experimental.

Las observaciones pueden representarse mediante el siguiente modelo estadístico lineal.

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \xi_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, b \\ j = 1, \dots, t \end{array}$$

Donde :

Y_{ij} = Observación efectuada en el i ésimo bloque y j taésimo tratamiento.

μ = Efecto medio verdadero.

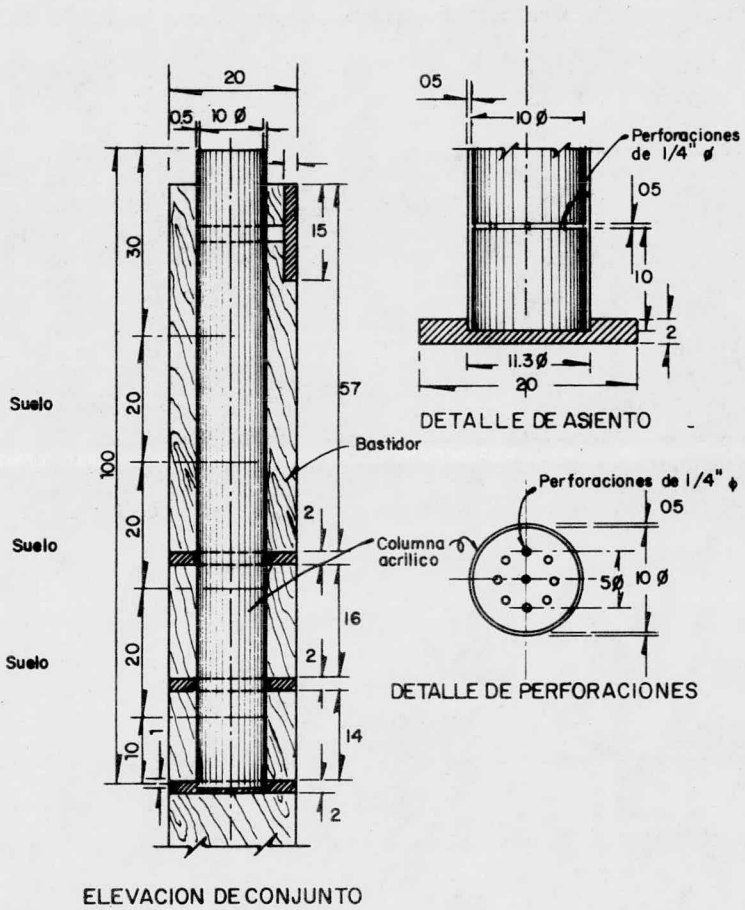
β_i = Efecto verdadero del i ésimo bloque.

τ_j = Efecto verdadero del j taésimo tratamiento.

ξ_{ij} = Efecto verdadero de la unidad experimental en el i ésimo bloque y j taésimo tratamiento.

⁴ El hecho que se le atribuyan características al azar a los factores que intervienen en un proceso, da lugar a la creación del verbo azarizar.

FIGURA VI - 1.



COLUMNA MODELO DE DESORCION DE BORO

En el cuadro VI - 3 se observa la representación simbólica de los datos.

La selección del diseño se hizo en base a la necesidad de reducir el posible error experimental involucrado al no haber empacado uniformemente todas las columnas de suelo. Se hicieron tres (3) repeticiones. Los resultados experimentales se procesaron mediante análisis de variancia, en las cuales el nivel de significancia seleccionado fue del 1 %. Posteriormente se recurrió a la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, para establecer diferencias significativas entre tratamientos, así como en bloques.

6.2.2. METODOLOGIA DEL EXPERIMENTO.

SELECCION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.

Se seleccionaron tres (3) estaciones de muestreo, localizadas en el plano IV - 1 ; estos suelos presentan texturas diferentes, y se encuentran en zonas contaminadas por boro. La relación de los sitios de muestreo se muestra en el cuadro VI - 4.

Varios autores la consideran la más adecuada.

CUADRO VI - 3

REPRESENTACION SIMBOLICA DE LOS DATOS.

Bloque "Estrato"	Tratamiento			Total	Media
	"lamina de agua" 1..... j..... t				
l	Y_{ll}	Y_{lj}	Y_{lt}	B_l	\bar{Y}_l
.					
.					
.					
.					
i	Y_{il}	Y_{ij}	Y_{it}	B_i	\bar{Y}_i
.					
.					
.					
.					
b	Y_{bl}	Y_{bj}	Y_{bt}	B_b	\bar{Y}_b
Total	T_l	T_j	T_t		
Media	$Y_{.l}$	$Y_{.j}$	$Y_{.t}$	T	$\bar{Y}_{..}$

CUADRO VI - 4

RELACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO.

Muestra de Suelo No.	Textura
9	Arcilloso
10	Migajón arcilloso
11	Migajón arcillo - arenoso

La metodología del muestreo, consistió en hacer un hoyo cuadrado con dimensiones de 1.00 m de lado y 0.6 m de profundidad, con el fin de obtener muestras de diferentes estratos (0 - 20 , 20 - 40 y 40 - 60 cm de profundidad), obteniéndose aproximadamente 45 Kg de muestra por estrato, las que eran colocadas en cajas de cartón.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS DEL SUELO.

Las muestras se secaron a la temperatura ambiente, disgregando los grumos con un mazo de madera. Una vez seca la muestra, se tamizó en una malla de claro libre cuadrado de 0.5 cm por lado ; el tamizado, se recibió en una tina grande, para que permitiera una adecuada homogenización.

OPERACION DEL MODELO EXPERIMENTAL.

Una vez homogenizada la muestra, se procedió a empacar con el suelo, las columnas de acrílico de 1.00 m de altura, 10 cm de diámetro y un dren en la parte inferior, como se muestra en la figura VI - 1.

La altura señalada, permite manejar 60 cm de suelo, que corresponde a la máxima penetración de raíz de los cultivos del distrito y 40 cm para manejar diferentes láminas de agua.

Estando empacadas las columnas, se les agregó agua hasta obtener la saturación, después de lo cual, a cada una, se les aplicó diferente lámina de agua (15 , 30 , 45 y 60 cm respectivamente) proveniente de la presa Requena en incrementos de 2.5 cm hasta alcanzar la altura de lámina deseada.

Después de que drenó el agua aplicada de cada una de las columnas, se procedió a desempacar las mismas, desprendiendo el suelo de las orillas de las columnas con ayuda de una varilla y sacando cuidadosamente cada uno de los estratos con ayuda de una espátula ; posteriormente, estos estratos fueron secados a temperatura ambiente, después de lo cual, fueron tamizados y analizados.

CAPITULO 7

RESULTADOS Y DISCUSION.

7.1. CALCULO DEL % DE ERROR EN LA DETERMINACION DE BORO.

El cuadro VII - 1 muestra la precisión y exactitud, de las técnicas analíticas empleadas en la determinación de boro.

7.2. CINETICA INICIAL DE LA FIJACION DE BORO EN LOS SUELOS.

De acuerdo con lo establecido en la metodología, se determinó el contenido de boro soluble en el sobrenadante de la suspensión. El boro adsorbido o fijo es la diferencia entre el boro añadido y el boro soluble. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros VII - 2 y VII - 3.

Las curvas de la cinética inicial de la fijación de boro en suelos, figuras VII - 1 y VII - 2 , inducen a pensar que al poner en contacto soluciones de cualquier concentración dentro de los ámbitos estudiados de boro en agua, con suelo seco, todo el boro es fijado inicialmente quedando únicamente adsorbido entre el 10 y el 30 % después de 5 horas.

7.3. REPRESENTACION DEL FENOMENO DE ADSORCION DE BORO EN SUELOS MEDIANTE LA ECUACION DE LANGMUIR.

En los cuadros VII - 4 , VII - 5 y VII - 6 se muestran los resultados obtenidos de boro soluble y boro fijo, como quedó establecido en la metodo-

logía, para los sitios de muestreo 3 , 4 , 5 , 6 , 7 y 8, además se muestra la relación : $\frac{C_b}{q_b}$

En la figura VII - 3 se muestran las gráficas de C_b , $\frac{C_b}{q_b}$ para los sitios de muestreo 3 , 4 , 5 , 6 , 7 y 8.

En el cuadro VII - 7, se observan los valores experimentales de las constantes Q y K de la ecuación de Langmuir, así como los valores del coeficiente de correlación entre C_b y $\frac{C_b}{q_b}$ para los sitios de muestreo 3 , 4 , 5 , 6 , 7 y 8.

Cuando se ajustan a una recta los valores de boro soluble (C_b) y los de la relación boro soluble / boro adsorbido ($\frac{C_b}{q_b}$) los coeficientes de correlación son de una magnitud de 0.9787 por lo que puede considerarse que los datos experimentales se asemejan a una función isotérmica, que -- puede tomarse como la de Langmuir.

CUADRO VII - 1

CALCULO EN EL PORCENTAJE DE ERROR EN LA DETERMINACION DE BORO.

Muestra No.	Volúmen de NaOH (0.0342 N) usados (ml)	Concentración de boro (mg/l)	Precisión S (mg/l)	Varianza S	Exactitud %
a	1.460	5.22			
b	1.495	5.35			
c	1.530	5.48	0.1151	0.0133	8.40
d	1.540	5.51			
e	1.550	5.55			
f	1.500	5.37			
g	1.530	5.48			
Media	1.515	5.4229			

NOTAS : 1) La precisión es medida por la desviación tipo : $S = \frac{(\bar{X} - X_i)^2}{n-1}$

2) La exactitud se determinó, empleando la siguiente fórmula :

$$\% \text{ exactitud} = \frac{\text{concentración calculada} - \text{concentración experimental}}{\text{concentración calculada}} \times 100$$

CUADRO VII - 2

CINETICA INICIAL DE LA FIJACION DE BORO EN SUELOS

SITIO 1.

Tiempo (min)	Muestra I		Muestra II		Muestra III	
	Boro Añadido 25 mg/l	Boro Añadido 25 mg/l	Boro Añadido 50 mg/l	Boro Añadido 50 mg/l	Boro Añadido 75 mg/l	Boro Añadido 75 mg/l
	Soluble (mg/l)	Fijo (mg/Kg)	Soluble (mg/l)	Fijo (mg/Kg)	Soluble (mg/l)	Fijo (mg/Kg)
10	8.7	49.4	34.6	38.5	58.6	34.9
25	9.4	47.3	42.2	19.5	44.8	64.3
60	11.4	41.2	42.2	19.5	52.7	47.4
120	11.7	40.3	46.1	9.7	64.4	22.5
180	11.0	42.4	63.8	---	61.7	28.3
240	19.8	15.8	44.2	19.5	44.8	64.3
300	23.9	3.3	52.1	---	62.1	27.4

- NOTAS :
- a) Contenido inicial de Boro en suelos = 0.23 mg/Kg.
 - b) Proporción de suelo - agua en Kg/l.
 - Muestra I, W = 0.33 Kg/l.
 - Muestra II, W = 0.40 Kg/l.
 - Muestra III, W = 0.47 Kg/l.

CUADRO VII - 3

CINETICA INICIAL DE LA FIJACION DE BORO EN SUELOS

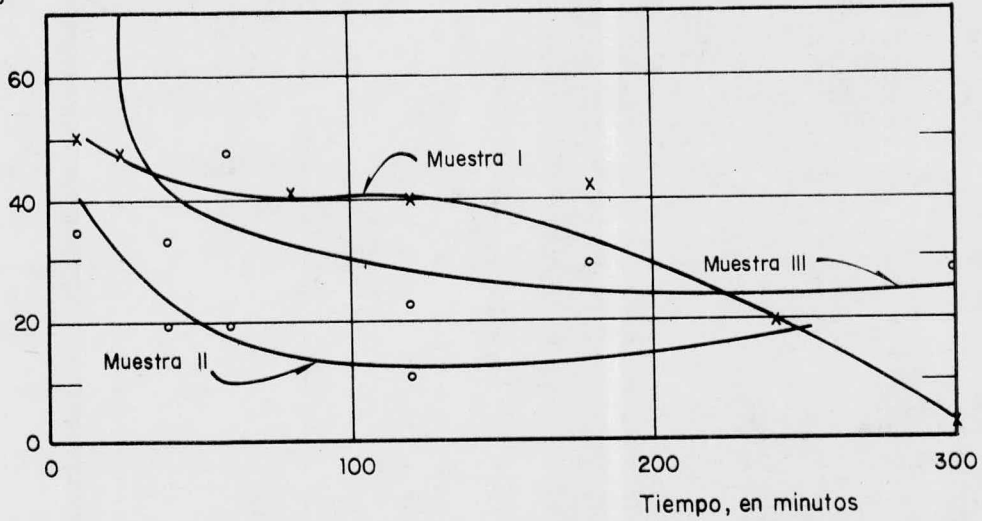
SITIO 2

tiempo (min)	Muestra I			Muestra II			Muestra III			Muestra IV			Muestra V			Muestra VI		
	B añadido : 4 mg/l			B añadido : 12 mg/l			B añadido : 24 mg/l			B añadido : 36 mg/l			B añadido : 72 mg/l			B añadido : 120 mg/l		
	Boro Soluble C _B	Boro Fijo q _B	C _B /q _B	Boro Soluble C _B	Boro Fijo q _B	C _B /q _B	Boro Soluble C _B	Boro Fijo q _B	C _B /q _B	Boro Soluble C _B	Boro Fijo q _B	C _B /q _B	Boro Soluble C _B	Boro Fijo q _B	C _B /q _B	Boro Soluble C _B	Boro Fijo q _B	C _B /q _B
(mg/l)	(mg/Kg)	(Kg/l)	(mg/l)	(mg/Kg)	(Kg/l)	(mg/l)	(mg/Kg)	(Kg/l)	(mg/l)	(mg/Kg)	(Kg/l)	(mg/l)	(mg/Kg)	(Kg/l)	(mg/l)	(mg/Kg)	(Kg/l)	
0	4.0	0	-	12.0	0	-	24	0	-	36	0	-	72	0	-	120	0	-
60	0.4	10.9	0.04	5.7	19.1	0.30	21.1	8.8	2.40	25.7	31.2	0.82	50.4	65.5	0.77	97.2	69.1	1.40
180	4.0	-	-	8.4	10.9	0.77	11.9	36.7	0.32	23.8	37.0	0.64	53.2	57.0	0.93	98.1	66.4	1.48
240	1.6	7.2	0.22	5.9	18.5	0.32	14.0	30.3	0.46	25.2	32.7	0.77	56.7	46.4	1.22	60.7	179.7	0.34
300	2.4	4.8	0.49	7.5	13.6	0.55	10.8	40.0	0.27	26.9	27.6	0.97	59.7	37.3	1.60	99.7	61.5	1.62
360	2.8	3.6	0.78	13.4	-	-	12.7	34.2	0.37	29.0	21.2	1.37	72.4	-	-	117.5	7.6	15.46

Notas : a) Contenido inicial de Boro en suelos = 0,1 mg/Kg.
 b) Proporción de suelo - agua W = 0,33 Kg/l constante.

FIGURA VII - 1

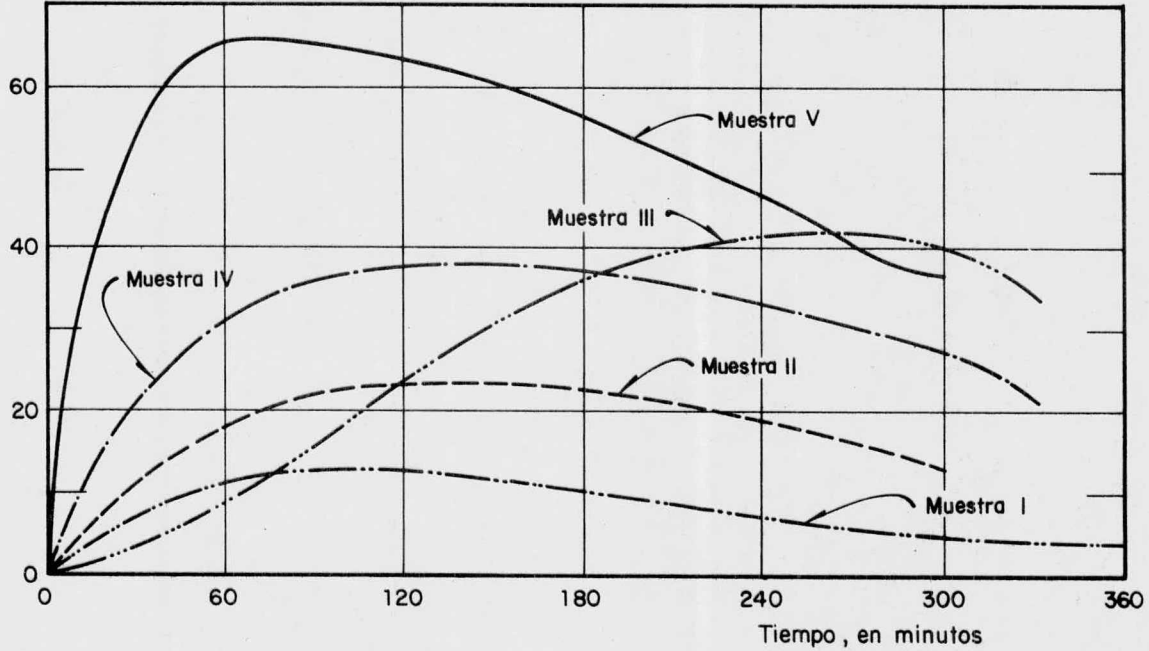
Boro absorbido (q_B),
en mg/kg



CINETICA INICIAL DE LA FIJACION DE BORO EN SUELOS SITIO 1

FIGURA VII - 2

Boro absorbido (q_B)
en mg / kg



CINETICA INICIAL DE LA FIJACION DE BORO EN SUELOS SITIO 2

CUADRO VII - 4

RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS SITIOS DE MUESTREO 3 Y 4.

Muestra No.	Sitio 3						Sitio 4					
	Boro Añadido C_B^o (mg/l)	Boro Soluble C_B (mg/l)	Diferencia AC_B (mg/l)	Factor de Conversión W (Kg/l)	Boro Fijado q_B (mg/Kg)	C_B/q_B (Kg/l)	Boro Añadido C_B^o (mg/l)	Boro Soluble C_B (mg/l)	Diferencia AC_B (mg/l)	Factor de Conversión W (Kg/l)	Boro Fijado q_B (mg/Kg)	C_B/q_B (Kg/l)
I	10	5.02	4.98	0.5	9.96	0.50	10	7.50	2.50	0.125	20.0	0.37
II	15	8.03	6.97	0.5	13.94	0.57	15	11.37	3.63	0.125	29.0	0.39
III	20	12.55	7.45	0.5	14.90	0.84	20	15.50	4.50	0.125	36.0	0.43
IV	25	16.56	8.44	0.5	16.88	0.98	25	19.50	5.50	0.125	44.0	0.44
V	-	-	-	-	-	-	30	23.77	6.23	0.125	49.9	0.47
VI	-	-	-	-	-	-	35	28.62	6.38	0.125	51.0	0.56
VII	-	-	-	-	-	-	40	32.73	7.27	0.125	58.2	0.56

CUADRO VII - 5

RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS SITIOS DE MUESTREO 5 Y 6.

Muestra No.	Sitio 5						Sitio 6					
	Boro Añadido C_B^o (mg/l)	Boro Soluble C_B (mg/l)	Diferen- cia AC_B (mg/l)	Factor de Conver- sión W (Kg/l)	Boro Fijado q_B (mg/Kg)	C_B/q_B (Kg/l)	Boro Añadido C_B^o (mg/l)	Boro Soluble C_B (mg/l)	Diferen- cia AC_B (mg/l)	Factor de Conver- sión W (Kg/l)	Boro Fijado q_B (mg/Kg)	C_B/q_B (Kg/l)
I	10	2.50	7.50	1.0	7.50	0.33	5	2.29	2.71	0.5	5.42	0.42
II	20	6.50	13.50	1.0	13.50	0.47	10	5.28	4.72	0.5	9.44	0.56
III	30	10.76	19.24	1.0	19.24	0.56	15	8.28	6.72	0.5	13.44	0.62
IV	40	16.67	23.33	1.0	23.33	0.71	20	11.78	8.22	0.5	16.44	0.72
V	-	-	-	-	-	-	25	15.30	9.70	0.5	19.40	0.79
VI	-	-	-	-	-	-	30	18.53	11.47	0.5	22.94	0.80
VII	-	-	-	-	-	-	35	22.99	12.01	0.5	24.02	0.96

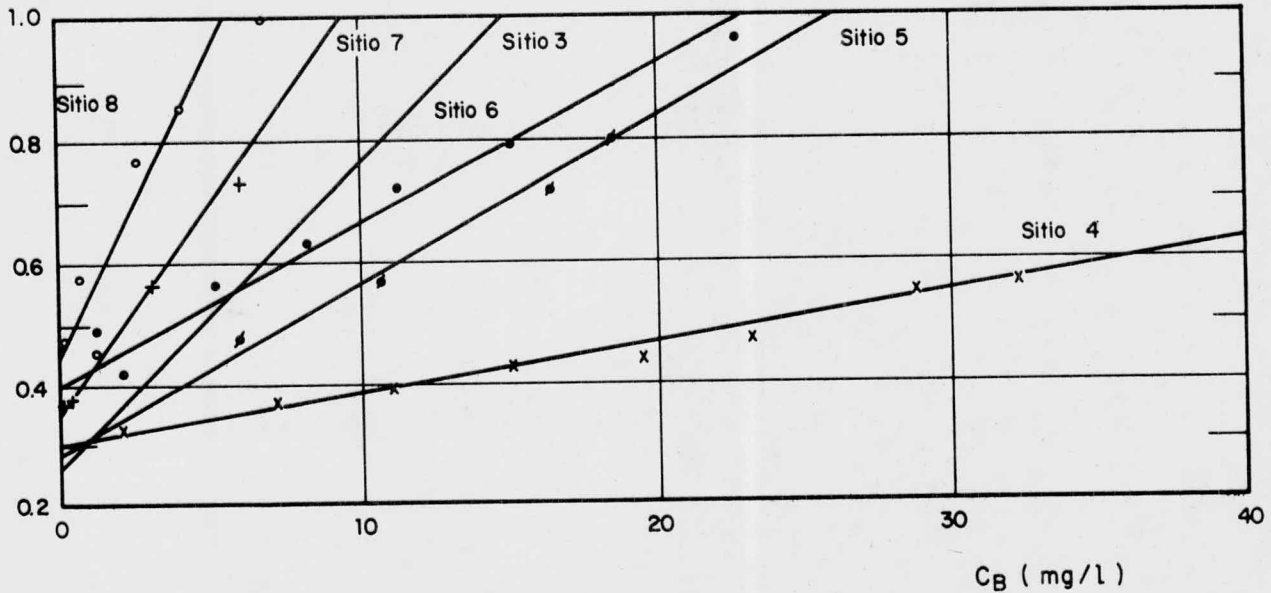
CUADRO VII - 6

RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS SITIOS DE MUESTREO 7 Y 8.

Muestra No.	Sitio 7						Sitio 8					
	Boro Añadido C_B^o (mg/l)	Boro Soluble C_B (mg/l)	Diferencia AC_B (mg/l)	Factor de Conversión W (Kg/l)	Boro Fijado q_B (mg/Kg)	C_B/q_B (Kg/l)	Boro Añadido C_B^o (mg/l)	Boro Soluble C_B (mg/l)	Diferencia AC_B (mg/l)	Factor de Conversión W (Kg/l)	Boro Fijado q_B (mg/Kg)	C_B/q_B (Kg/l)
I	1.0	0.28	0.72	1.0	0.72	0.38	1.0	0.32	0.68	1.0	0.68	0.47
II	3.0	0.83	2.17	1.0	2.17	0.38	3.0	1.10	1.90	1.0	1.90	0.58
III	5.0	1.66	3.34	1.0	3.34	0.50	5.0	1.51	3.49	1.0	3.49	0.43
IV	7.0	-	-	1.0	-	-	7.0	3.01	3.99	1.0	3.99	0.76
V	10.0	3.62	6.38	1.0	6.38	0.57	10.0	4.59	5.41	1.0	5.41	0.85
VI	15.0	6.37	9.63	1.0	8.63	0.73	15.0	7.57	7.43	1.0	7.43	1.02

FIGURA VII - 3

C_B/q_B (kg/l)



DETERMINACION GRAFICA DE LAS CONSTANTES Q Y K DE LA ECUACION DE LANGMUIR

CUADRO VII - 7

Sitio No.	Pendiente m.	Ordenada al origen.	Q (mg/Kg)	K (l/mg)	Coefficiente de correlación
3	0.0440	0.2577	22.7272	0.1700	0.9898
4	0.0080	0.2998	124.0690	0.0268	0.9741
5	0.0261	0.2791	38.2116	0.0937	0.9955
6	0.0236	0.4098	42.2060	0.0578	0.9828
7	0.0581	0.3636	17.2050	0.1598	0.9845
8	0.0809	0.4407	12.3480	0.1837	0.9452

7.4. CARACTERISTICAS GENERALES PARA LOS SITIOS DE MUESTREO

3 , 4 , 5 , 6 , 7 y 8.

El cuadro VII - 8 muestra el pH , Ca , % M.O. (potencial hidrógeno, calcio y % de materia orgánica respectivamente) contenido en los suelos.

Como puede observarse el pH de los suelos es alcalino.

Los contenidos de calcio son suficientemente elevados para lograr condiciones alcalinas que favorezcan la fijación del boro en los suelos, sin embargo no fue posible evaluar los efectos reales de esta condición, ya que al agitar el suelo con agua, los meta-silicatos cumplen funciones amortiguadoras disminuyendo los pH alcalinos reportados en el cuadro VII - 8.

Los contenidos de materia orgánica en los suelos están bastante ligados con el proceso de fijación de boro. Se presentan mayores valores de Q a menor contenido de materia orgánica, por lo que es deseable que en los periodos de calor se incremente el riego con aguas negras, ya que las condiciones de temperatura son favorables para el ataque bacteriano sobre la materia orgánica, que se desdobra en dióxidos, que a complejan eventualmente al boro en condiciones neutras. En condiciones alcalinas esta materia forma complejos dihidróxidos que aumentan la capacidad de retención de boro.

CUADRO VII - 8

CARACTERISTICAS GENERALES POR SITIO DE MUESTREO.

Sitio No.	Textura	Q (mg/Kg)	K (l/mg)	pH	Ca (mg/Kg)	%MO	Relación Agua - Suelo W (Kg/l)
4	Mig. Arc.	166.67	0.019	7.76	3 675	1.40	0.125
3	Mig. Arc.	55.56	0.040	7.95	3 833	1.70	0.500
5	Arc.	125.00	0.023	7.96	6 940	1.81	1.000
6	Arc.	65.50	0.040	7.96	6 940	1.80	0.500
7	Mig. Arc.	83.33	0.032	7.71	5 714	1.68	1.000
8	Mig. Arc.	26.32	0.086			1.70	1.000

7.5. LIXIVIACION DEL BORO EN LOS SUELOS EN RELACION CON LA TEXTURA DE ESTOS Y DIFERENTES LAMINAS DE AGUA.

En el cuadro VII - 9 se muestran las concentraciones iniciales de boro encontradas en los extractos de saturación de los suelos con que se experimentó.

En el cuadro VII - 10 se muestran las concentraciones promedio de boro en el punto de saturación. Como se puede observar, comparando este cuadro con el cuadro VII - 9, las concentraciones de boro se reducen considerablemente, esto se debe a que el boro presente en el suelo pasa al estado soluble al formarse la suspensión suelo - agua.

Las concentraciones promedio de boro en los suelos estudiados después de haber aplicado las láminas de agua de 15 , 30 , 45 y 60 cm se presentan en los cuadros VII - 11 , VII - 13 , y VII - 15. Después de efectuado el análisis estadístico, se observó lo siguiente :

CUADRO VII - 9

CONCENTRACIONES INICIALES DE BORO.

(mg / Kg).

Textura	Estrato (cm).		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Migajón - arcilloso	1.21	1.66	1.54
Migajón arcillo - arenoso	1.60	0.94	0.92
Arcilloso	2.05	2.05	1.3

CUADRO VII - 10

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE BORO EN EL PUNTO DE SATURACION.

(mg / Kg)

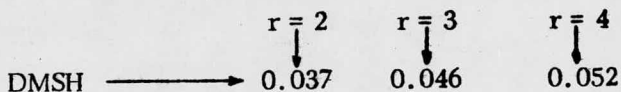
Textura	Estrato (cm).		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Migajón arcilloso	0.40	0.53	0.45
Migajón arcillo - arenoso	0.29	0.25	0.25
Arcilloso	0.77	0.77	0.43

SUELO DE TEXTURA MIGAJON - ARCILLOSO.

Del análisis de varianza, cuadro VII - 12, se observa que existen diferencias significativas en las concentraciones de boro en los suelos al aplicar las diferentes láminas de agua.

Al aplicar la prueba del recorrido múltiple de Tukey, se obtubieron los siguientes resultados :

Lámina (cm)		45	60	15	30
Media		0.126	0.160	0.200	0.230
45	0.126	---	0.034	0.074	0.104
60	0.160		---	0.040	0.070
15	0.200			---	0.030
30	0.230				---



45	45	60	15	30
			†	†
60				†
15				
30				

† Existen diferencias significativas.

No se presentaron diferencias significativas en la remoción de boro - entre las láminas de agua de 15 y 30 cm así como tampoco entre las de 45 y 60 cm. Únicamente se aprecian diferencias significativas entre la lámina de agua de 45 cm y las dos pequeñas, así como entre las láminas de agua de 60 y 30 cm.

En las figuras VII - 4 y VII - 5 se presentan en forma gráfica los resultados obtenidos.

CUADRO VII - II

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE BORO.

SUELO DE TEXTURA MIGAJON - ARCILLOSO.

(mg / Kg)

Estrato (cm)	15	Lámina (cm.)		60	Total	Media
		30	45			
0 - 20	0.19	0.13	0.06	0.10	0.48	0.120
20 - 40	0.22	0.23	0.17	0.13	0.75	0.187
40 - 60	0.28	0.24	0.15	0.25	0.92	0.230
Total	0.69	0.60	0.38	0.48		
Media	0.230	0.200	0.126	0.160	2.15	0.179

CUADRO VII - 12

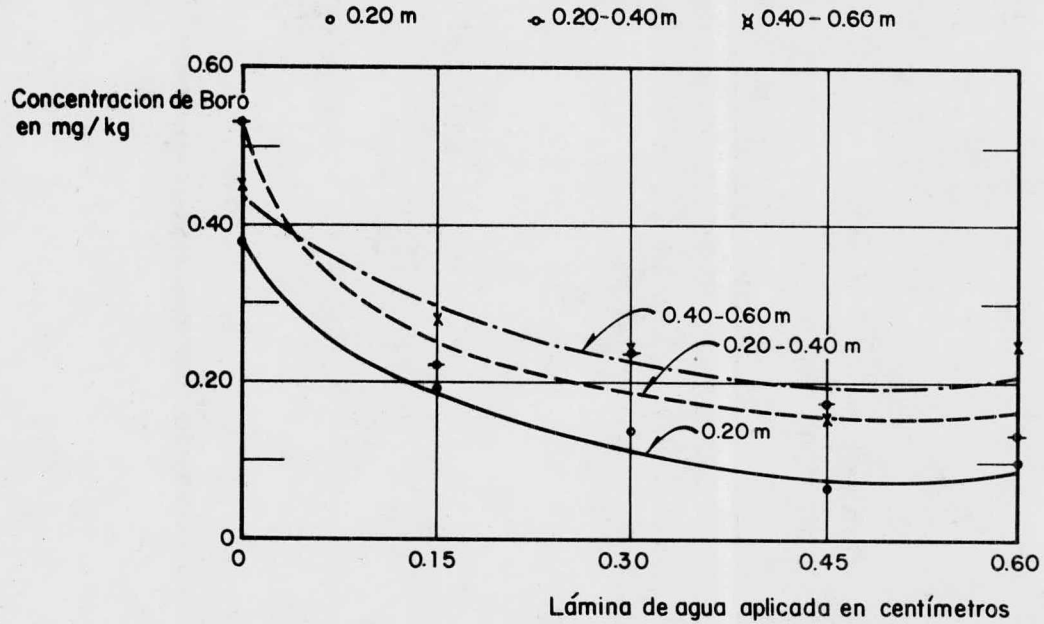
ANALISIS DE VARIANCIA PARA LOS DATOS DEL CUADRO VII - II.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Relación F
Media	1	0.3852	0.3852	-----
Bloques	2	0.024625	0.0123125	-----
Tratamientos	3	0.018433	0.0061444	5.72317
Error Experimental	6	0.0064417	0.0010736	-----
Total	12	-----	-----	-----

$F_{0.95} (3, 6) = 4.76$

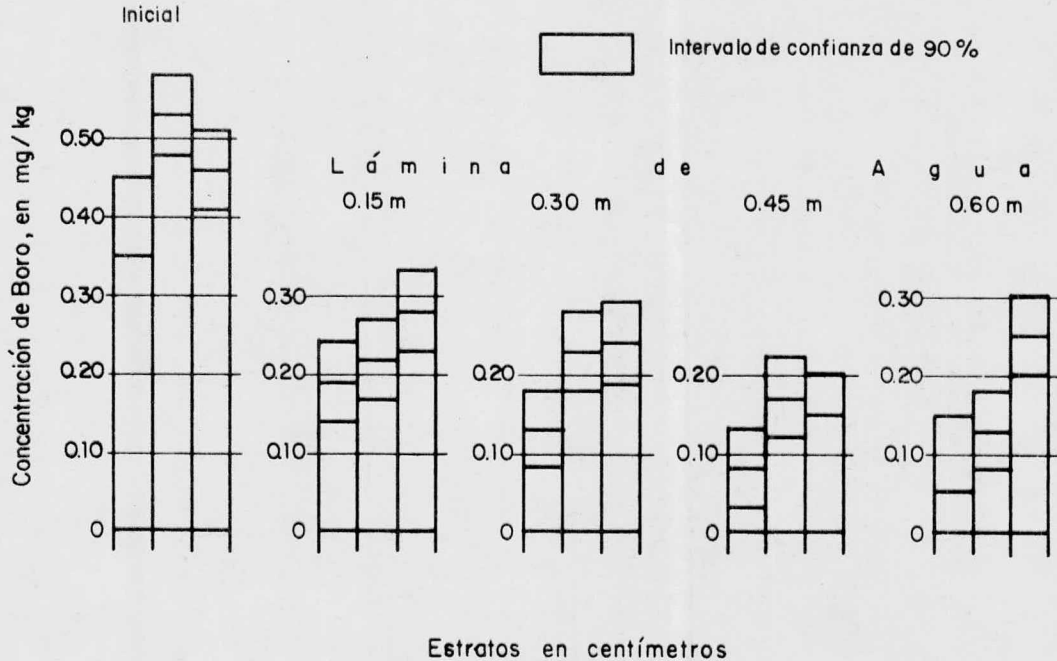
Si existen diferencias significativas entre los tratamientos.

FIGURA VII - 4



COMPORTAMIENTO DEL SUELO MIGAJON - ARCILLOSO

FIGURA VII - 5



CONCENTRACION DE BORO EN CADA UNO DE LOS ESTRATOS DEL SUELO MIGAJON-ARCILLOSO

SUELO DE TEXTURA MIGAJON - ARCILLO - ARENOSO.

Del análisis de varianza, cuadro VII - 14, se observa que no existen - diferencias significativas en la concentración de boro en los suelos entre las diferentes láminas de agua aplicadas.

En las figuras VII - 6 y VII - 7 se muestran gráficamente los resultados obtenidos.

CUADRO VII - 13

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE BORO.

SUELO DE TEXTURA MIGAJON ARCILLOSO - ARENOSO.

(mg / Kg).

Estrato (cm)	15	Lámina (cm.)		60	Total	Media
		30	45			
0 - 20	0.28	0.17	0.16	0.18	0.79	0.197
20 - 40	0.26	0.25	0.30	0.33	1.14	0.285
40 - 60	0.33	0.26	0.34	0.30	1.23	0.307
Total	0.87	0.68	0.80	0.81	3.16	0.263
Media	0.29	0.226	0.266	0.27		

CUADRO VII - 14

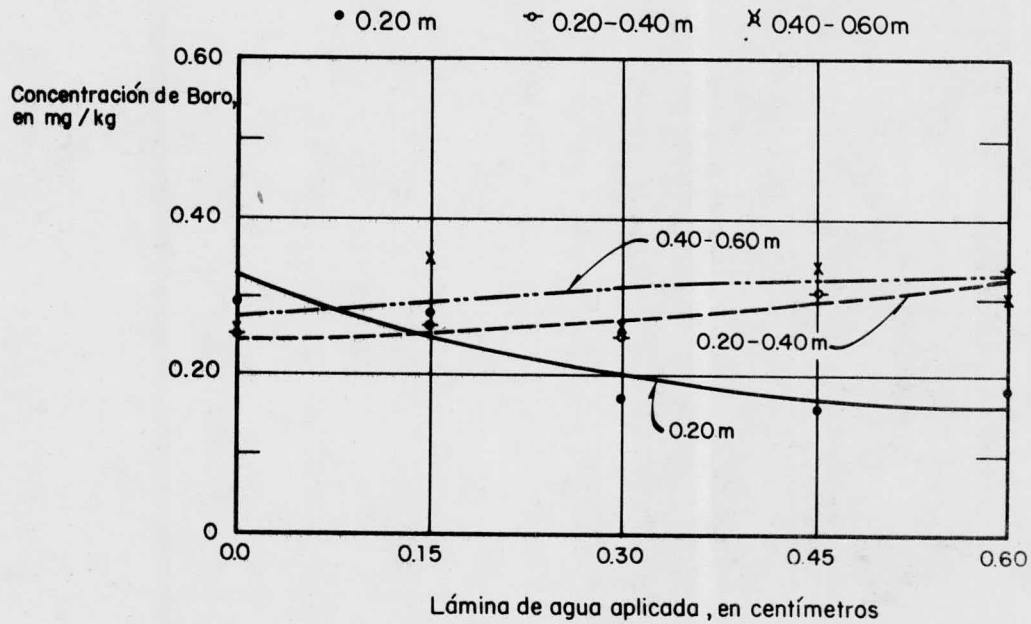
ANALISIS DE VARIANCIA PARA LOS DATOS DEL CUADRO VII - 13.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Media	Relación F
Media	1	0.832133	0.832133	-----
Bloques	2	0.027017	0.0135	-----
Tratamiento	3	0.0063336	0.0021112	1.16
Error Experimental	6	0.0109164	0.0018194	-----
Total	12	-----	-----	-----

$F_{0.95} (3, 6) = 4.76$

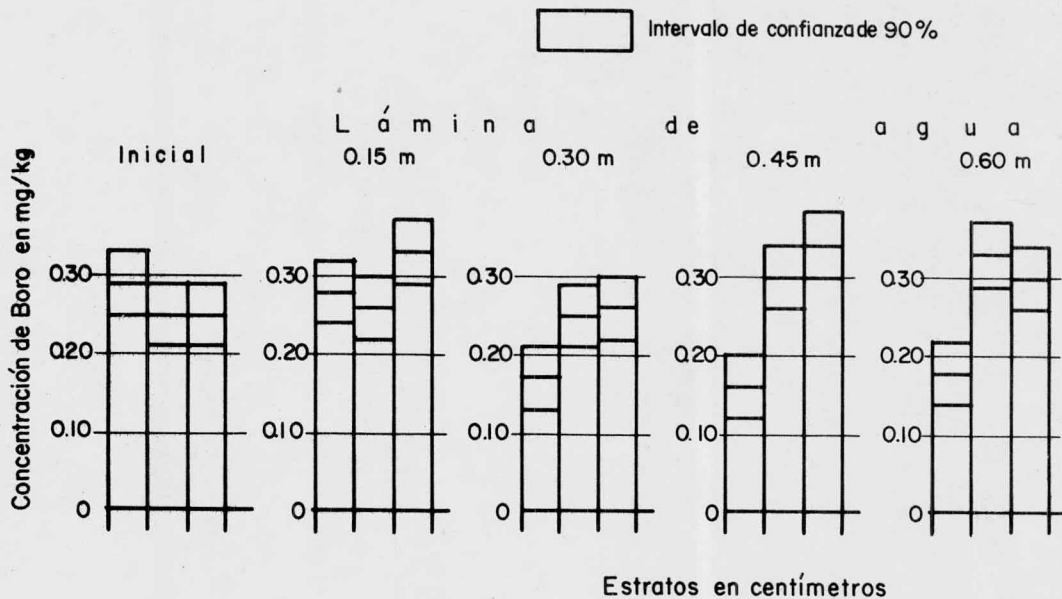
No existen diferencias significativas entre los tratamientos.

FIGURA VII - 6



COMPORTAMIENTO DEL SUELO MIGAJON ARCILLO - ARENOSO

FIGURA VII - 7



CONCENTRACION DE BORO EN CADA UNO DE LOS ESTRATOS DEL SUELO MIGAJON
ARCILLO - ARENOSO

SUELO DE TEXTURA ARCILLOSO.

Del análisis de varianza, cuadro VII - 16 se observa que no existen diferencias significativas en las concentraciones de boro en los suelos entre las diferentes láminas de agua aplicadas.

En las figuras VII - 8 y VII - 9 se muestran gráficamente los resultados obtenidos.

CUADRO VII - 15

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE BORO.

SUELO DE TEXTURA ARCILLOSO.

(mg / Kg)

Estrato (cm)	15	Lámina (cm.)		60	Total	Media
		30	45			
0 - 20	0.47	0.27	0.21	0.28	1.23	0.3075
20 - 40	0.42	0.57	0.49	0.46	1.94	0.485
40 - 60	0.46	0.51	0.61	0.36	1.94	0.485
Total	1.35	1.35	1.31	1.10	5.11	0.4258
Media	0.45	0.45	0.436	0.366		



CUADRO VII - 16

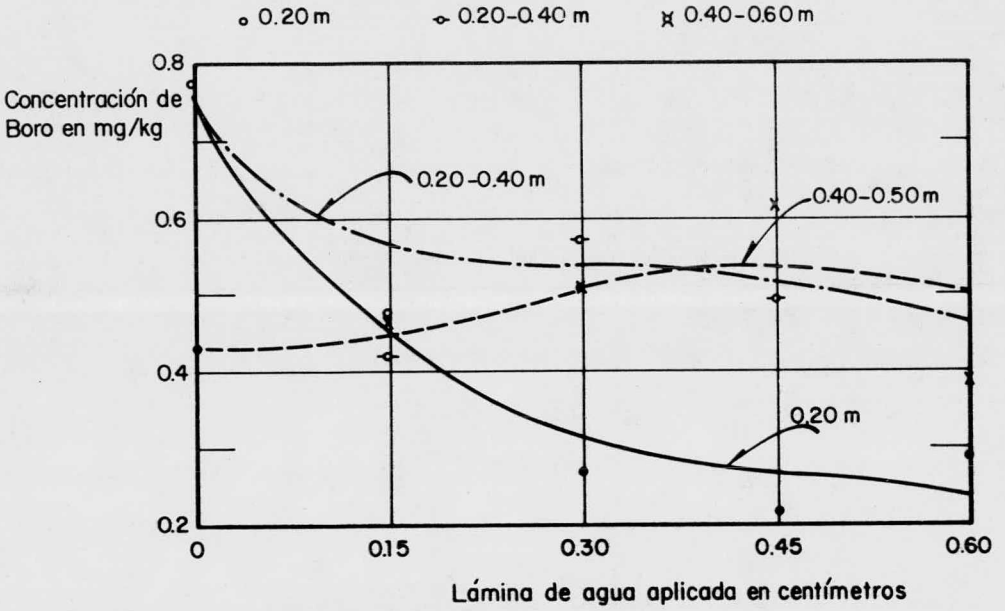
ANALISIS DE VARIANCA PARA LOS DATOS DEL CUADRO VII - 15.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Relación F
Media	1	2.176	2.176	-----
Bloques	2	0.089	0.0445	-----
Tratamiento	3	0.014	0.0046	0.43
Error Experimental	6	0.0637	0.01061	-----
Total	12	-----	-----	-----

$F_{0.95}(3,6) = 4.76$

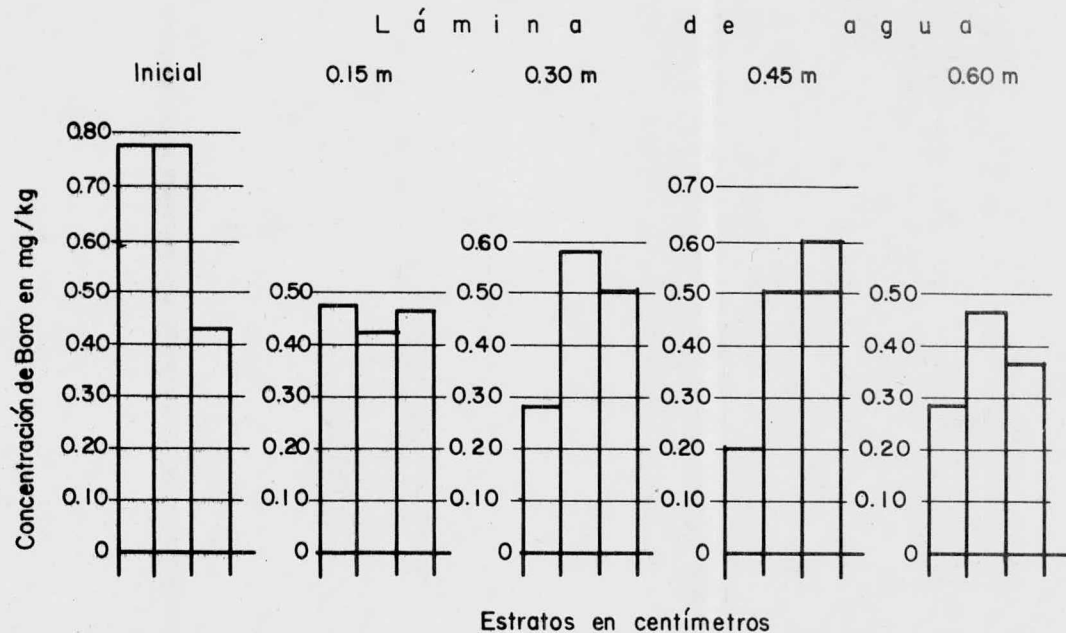
No existen diferencias significativas entre los tratamientos.

FIGURA VII - 8



COMPORTAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO

FIGURA VII - 9



CONCENTRACION DE BORO EN CADA UNO DE LOS ESTRATOS DEL SUELO ARCILLOSO

De acuerdo a las concentraciones iniciales de boro encontradas en los extractos de saturación de los suelos, estas pueden considerarse como peligrosas para cultivos sensibles, ya que aún cuando no hay una reglamentación para concentraciones de boro en suelos, se sabe, que suelos con concentraciones de boro menores de 0.7 mg/l, en el extracto de saturación no se consideran perjudiciales para cultivos sensibles, con concentraciones de 0.7 a 1.5 mg/l, el suelo se considera contaminado para este tipo de cultivo.

Todas las láminas aplicadas a los diferentes suelos con los cuales se experimentó redujeron la concentración de boro a niveles no perjudiciales para cultivos sensibles.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES.

- 8.1. El fenómeno de adsorción de boro en suelos es factible de ser estudiado por medio de la isoterma de Langmuir, siempre y cuando el ámbito de concentraciones de boro en las soluciones añadidas se encuentre entre 0.5 y 35 mg/l.
- 8.2. Todo el boro es fijado inicialmente, al poner en contacto soluciones -- con cualquier concentración de boro dentro de los ámbitos estudiados -- con suelo seco, quedando adsorbido después de 5 horas, entre el 10 y -- el 30 %. Esto es explicable dados los altos valores de Q (capacidad adsortiva total) y los bajos valores de K (función de la energía de ligadura).
- Dadas estas condiciones, los suelos del distrito de riego número 03 pueden ser regadas con aguas que contengan altas concentraciones de boro siempre y cuando la textura del terreno no sea demasiado fina.
- 8.3. Con láminas de riego de 15 cm ó mayores, se puede disminuir la concentración de boro en los suelos, a niveles no tóxicos para cultivos sensibles.

En suelos de textura migajón - arcilloso la lámina de agua de riego de 45 cm produce una mayor remoción de boro en los suelos que láminas menores que ésta. No es significativa la diferencia en la remoción de

boro en los suelos entre láminas de agua de 45 y 60 cm por lo que resulta inútil este incremento.

En suelos de textura migajón arcillo - arenoso y textura arcilloso no se apreciaron diferencias significativas en la remoción de boro en los suelos entre láminas de agua de 15 cm y láminas de agua -- mayores, por lo que resulta inútil cualquier incremento.

- 8.4. La capacidad de remoción de boro del suelo de las láminas de agua depende de la profundidad del estrato sujeto al proceso de lavado. - La dificultad de remover boro es mayor en los estratos 20 - 40 y 40 - 60 cm que el estrato superior, lo cual se explica considerando que el gradiente de la concentración de boro entre el agua y el suelo se reduce a mayor profundidad, al incrementarse la concentración de boro del agua, que previamente adsorbió boro de estratos superiores.

CAPITULO 9

BIBLIOGRAFIA.

- 9.1. Cochran W.G. and G.M.Cox.,
Diseños Experimentales,
Edición Trillas,
México,
(1973).
- 9.2. Gill , T.,
La Crisis de la Tierra en México,
The Charles Lathrop pack forestry foundation 1214,
Sixteenth, N.W. Washington D.C.,
(1951).
- 9.3. Gruening, E.H.,
México and its Heritage,
New York , Appleton - Century,
(1940).
- 9.4. Hausenbuiller , R.L.,
Soil Science , Principles and Practice,
University Washington,

- 9.5. Krugt , H.R.,
Ciencia de los Coloides,
(1949).

- 9.6. Natrella , M.G.,
Experimental Statistics,
National Burean of Standars Handbook 91,
(1966).

- 9.7. Ostle , B.,
Estadística Aplicada,
Editorial Limusa - Wiley , S.A.,
México,
(1970).

- 9.8. Personal del Laboratorio de Salinidad de los
Estados Unidos de América,
Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos
y Sódicos,
Editorial Limusa , Sexta Edición,
(1973).

- 9.9. Parqs , R.Q.,
The fixation of added Boron by durkitik fine,
Sandy Toam.,
Soil Sci 57 - 405 - 415,
(1944).
- 9.10. Rible , J.M. and L.E. Davis,
Ion exchange in soil columns,
Soil Sci 79 - 41 - 47,
(1955).
- 9.11. Secretaría de Recursos Hidráulicos,
Tercer Seminario Latinoamericano de Irrigaci
Distrito de Riego de Tula , Hidalgo,
(1964).
- 9.12. Smith , J.M.,
Chemical Engineering Kinetics,
International Students Edition,
(1970).

- 9.13. Standard Methods,
For the examination of water and wastewater,
13a. Edition,
(1971).
- 9.14. Tanji , K.K.,
A computer analysis on the leaching of Boron
from stratified soil columns.,
Soil Sci 110 45 51,
(1971).
- 9.15. Vermeulen , T. and N.K. Hiester,
Ion - exchange and adsorption columns kinetic
with uniform partial pre saturation.,
J. Chem Phys 22 - 96 - 101,
(1954).
- 9.16. Whetten , N.L.,
Rural México,
Chicago , University of Chicago,
(1948).

- 9.17. Wilcox , L.V.,
Clasification and use of Irrigation water,
United States Salinity Laboratory,
(1965).