

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**CARACTERIZACION DEL ESTADO NUTRICIONAL DE ALGUNOS  
SUELOS DE LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE NUEVO LEON,  
MEDIANTE LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN  
CONDICIONES DE INVERNADERO.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA**

**PRESENTA**

**JOSE EMILIO TIJERINA RIOS**

**MARIN, N. L.**

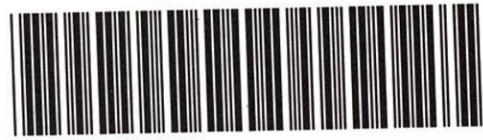
**JULIO DE 1988**

T

S639

T5

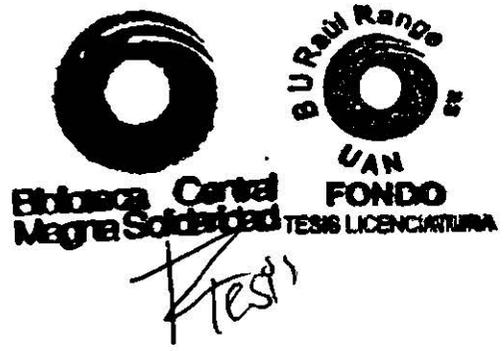
C.1



1080063802

T  
5639  
T5

040.631  
FA 3  
1988  
C.5



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



CARACTERIZACION DEL ESTADO NUTRICIONAL DE ALGUNOS  
SUELOS DE LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE NUEVO LEON,  
MEDIANTE LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN  
CONDICIONES DE INVERNADERO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

JOSE EMILIO TIJERINA RIOS

MARIN, N. L.

JULIO DE 1988

07894

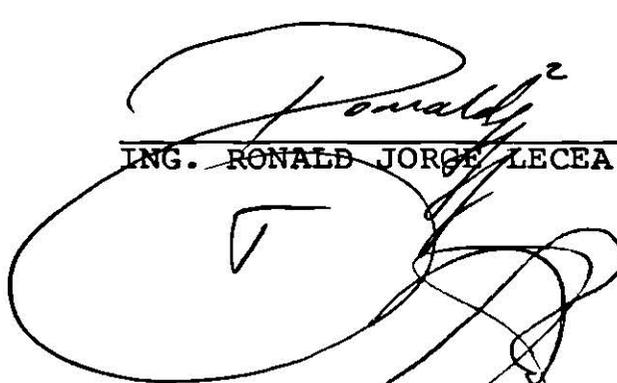
CARACTERIZACION DEL ESTADO NUTRICIONAL, DE ALGUNOS  
SUELOS DE LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE NUEVO LEON,  
MEDIANTE LA TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE EN  
CONDICIONES DE INVERNADERO.

TESIS REALIZADA DENTRO DEL PROYECTO DE FERTILIZACION  
ORGANICA E INORGANICA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PAR-  
CIAL PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO AGRO-  
NOMO FITOTECNISTA QUE PRESENTA:

JOSE EMILIO TIJERINA RIOS

COMISION REVISORA

ASESOR PRINCIPAL



ING. RONALD JORGE LECEA JUAREZ

ASESOR AUXILIAR

ING. FRANCISCO RODRIGUEZ ESQUIVEL

ASESOR AUXILIAR



ING. CECILIO ESCARENO RODRIGUEZ

CON GRATITUD Y AMOR A MIS PADRES

EMILIO TIJERINA LOPEZ

EUMELIA R. DE TIJERINA

Como un testimonio de eterno agradecimiento por el apoyo moral con el cual he logrado terminar mi carrera profesional, que es la mejor de mis herencias.

A MI ESPOSA.

BRENDA E. OLVERA DE TIJERINA

Por su apoyo, estímulo y paciencia que en todo momento me brindó

A MIS HERMANOS.

ELSA MARCELINA

LUIS CARLOS

MARIO HUMBERTO

PORFIRIO ALEJANDRO

A MIS MAESTROS.

Por su valiosa enseñanza.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS.

# INDICE

	Página
I.- INTRODUCCION .....	1
II.- REVISION DE LITERATURA .....	3
1.- Importancia de los elementos en el suelo .....	3
2.- Esencialidad de los elementos.....	5
3.- Funciones de los elementos esencia- les .....	7
3.1.- El papel de los elementos en el crecimiento del vegetal...	7
4.- Deficiencia de los elementos nutri- tivos.....	22
5.- Equilibrio e interacción de los ele- mentos.....	25
5.1.- Equilibrio entre los nutrien- tes.....	25
5.2.- Interacción entre los nutrien- tes.....	26
6.- Factores que afectan la disponibili- dad de los elementos en el suelo...	37
6.1.- pH del suelo.....	37
6.2.- Materia Orgánica .....	39
6.3.- Alcalinidad del suelo.....	40
7.- Técnica del elemento faltante .....	41
III.- MATERIALES Y METODOS .....	46
IV.- RESULTADOS Y DISCUSION.....	63

V.- CONCLUSIONES.....	75
VI.- RECOMENDACIONES.....	80
VII.- RESUMEN .....	81
VIII.- BIBLIOGRAFIA .....	83
IX.- APENDICE.....	87

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro		Página
1	Relación de las interacciones entre los <u>ele</u> mentos nutritivos.....	28
2	Clasificación de los diferentes grados de fertilidad según el laboratorio de suelos de la F.A.U.A.N.L.....	47
3	Agrupación de las localidades dentro de la zona norte del estado de Nuevo León.....	49
4	Concentraciones utilizadas en los estudios de "sorción" para los elementos a probar...	51
5	Cantidades de solución C y concentraciones del azufre para la preparación de los trata mientos de "sorción" .....	52
6	Niveles a probar para cada elemento en ppm.	55
7	Niveles a probar de cada elemento puro en ppm. ....	56
8	Tratamiento a probar en gr/3 lt. del com- puesto.....	57
9	Preparación de las soluciones por los estu- dios de "sorción" .....	88
10	Resultados obtenidos en los análisis preli- minares.....	89
11	Capacidad de fijación relativa (%) en los suelos bajo estudio.....	89

Cuadro		Página
12	Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable altura de planta de la localidad Sta. Ma. la Floreña, sin considerar el arreglo factorial.....	90
13	Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable rendimiento de materia seca en la localidad Sta. Ma. la Floreña, sin considerar el arreglo factorial.....	90
14	Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta de la localidad Sta. Ma. la Floreña .....	91
15	Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial para la variable rendimiento de materia seca de la localidad Sta. Ma. la Floreña.....	92
16	Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable altura de planta de la localidad Francisco Villa, sin considerar el arreglo factorial.....	93
17	Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable rendimiento de materia seca de la localidad Francisco Villa, sin considerar el arreglo factorial.....	93
18	Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin	

	considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta de la localidad Francisco Villa.....	94
19	Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable rendimiento de materia seca de la localidad de Francisco Villa. ....	95
20	Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable altura de planta de la localidad San Fernando, sin considerar el arreglo factorial.....	96
21	Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable rendimiento de materia seca de la localidad San Fernando, sin considerar el arreglo factorial.....	96
22	Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable diámetro de tallo de la localidad San Fernando, sin considerar el arreglo factorial.....	96
23	Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta de la localidad San Fernando.....	97
24	Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos, sin considerar el arreglo factorial, para la variable	

	riable rendimiento de materia seca de la <u>l</u> ocalidad San Fernando.....	98
25	Resultado de la prueba de Tukey de la <u>com</u> paración de los tratamientos, sin considerar el arreglo factorial, para la variable <u>d</u> íametro de tallo de la localidad San Fernando.	99
26	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento nitrógeno en la <u>va</u> riable altura de planta.....	100
27	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable altura de planta.....	100
28	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento nitrógeno en la <u>va</u> riable rendimiento de materia seca.....	101
29	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable <u>rendimien</u> to de materia seca.....	101
30	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento nitrógeno en la <u>va</u> riable <u>d</u> íametro de tallo.....	102
31	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable <u>d</u> íametro de tallo.....	102

Cuadro		Página
32	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento fósforo en la variable altura de planta.....	103
33	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable altura de planta.....	103
34	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento fósforo en la variable rendimiento de materia seca.....	104
35	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable rendimiento de materia seca.....	104
36	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento fósforo en la variable diámetro de tallo.....	105
37	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable diámetro de tallo.....	105
38	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento manganeso en la variable altura de planta.....	106
39	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-	

Cuadro		Página
	elemento manganeso en la variable altura de planta.....	106
40	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento manganeso en la <u>va</u> riable rendimiento de materia seca.....	107
41	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable <u>rendimien</u> to de materia seca.....	107
42	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento manganeso en la <u>va</u> riable diámetro de tallo.....	108
43	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable diámetro de tallo.....	108
44	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento zinc en la varia- ble altura de planta.....	109
45	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- -elemento zinc en la variable altura de planta.....	109
46	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento zinc en la varia- ble rendimiento de materia seca.....	110

Cuadro		Página
47	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento zinc en la variable rendimiento de materia seca.....	110
48	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento zinc en la varia- ble diámetro de tallo.....	111
49	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento zinc en la variable diámetro de ta- llo.....	111
50	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento cobre en la varia- ble altura de planta.....	112
51	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento cobre en la variable altura de planta.....	112
52	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento cobre en la varia- ble rendimiento de materia seca.....	113
53	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento cobre en la variable rendimiento de materia seca.....	113
54	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento cobre en la varia-	

Cuadro		Página
	ble diámetro de tallo.....	114
55	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento cobre en la variable diámetro de tallos.....	114
56	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento azufre en la varia <u>a</u> ble altura de planta.....	115
57	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento azufre en la variable altura de planta.....	115
58	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento en la variable <u>ren</u> dimiento de materia seca.....	116
59	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento azufre en la variedad rendimiento de materia seca.....	116
60	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> teracción suelo-elemento azufre en la varia <u>a</u> ble diámetro de tallo.....	117
61	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> paración de medias de la interacción suelo- elemento azufre en la variable diámetro de tallos.....	117

Cuadro		Página
62	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> <u>teracción</u> suelo-elemento fierro en la varia <u>a</u> <u>ble</u> altura de planta.....	118
63	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> <u>paración</u> de medias de la interacción suelo- elemento fierro en la variable altura de planta.....	118
64	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> <u>teracción</u> suelo-elemento en la variable <u>ren</u> <u>dimiento</u> de materia seca.....	119
65	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> <u>paración</u> de medias de la interacción suelo- elemento fierro en la variable rendimiento de materia seca.....	119
66	Resultado del análisis de varianza de la <u>in</u> <u>teracción</u> suelo-elemento fierro en la varia <u>a</u> <u>ble</u> diámetro de tallo.....	120
67	Resultado de la prueba de Tukey para la <u>com</u> <u>paración</u> de medias de la interacción suelo- elemento fierro en la variable diámetro de tallo.....	120
<b>Figura</b>		
1	Ubicación de las localidades seleccionadas en la zona norte del estado de Nuevo León..	50
2	Croquis del experimento para los suelos de estudio en la zona norte del estado de Nue- vo León.....	60

## INTRODUCCION

Las plantas presentan síntomas peculiares que están asociados con deficiencias particulares de nutrimentos, de tal manera que dichos síntomas, junto con pruebas de tejidos rápidas se pueden usar para diagnosticar los problemas de crecimiento de las plantas, pero para cuando se presentan en los cultivos estos síntomas, el rendimiento potencial pudo haberse reducido en forma considerable, además de que las pruebas de tejidos no proporcionan información acerca de la cantidad de fertilizante que se debe aplicar. Es por esto que los análisis de suelos proporcionan la base más estable para evaluar las necesidades de fertilizantes para la mayoría de los cultivos.

En el estado de Nuevo León, el cual se caracteriza por poseer una gran diversidad de tipos de suelos, se presenta la problemática de establecer un programa preciso para la aplicación racional y sistemática de fertilización cuyo objetivo principal sea el de elevar los bajos rendimientos que se tienen en la producción de cultivos básicos.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo primordial, el de obtener una caracterización del estado nutricional de algunos suelos del estado de Nuevo León, basándose en el análisis químico y el uso del invernadero para evaluar la fertilidad de dichos suelos y mejorarla. Además, la necesidad de obtener nuevas metodologías que hagan expresarse al máximo los potenciales genéticos.

Para lo cual se utilizó la técnica del elemento faltante, que tiene la ventaja de ser rápida, eficiente, efectiva en la evaluación de los problemas de fertilidad del suelo, además se puede trabajar con ella en el invernadero ya que el volumen de suelo es pequeño, por lo que se pueden considerar varios tipos de suelo a la vez. Otra ventaja es que se ajusta a suelos pobres donde las deficiencias son comunes.

En el uso de esta técnica se debe reconocer que el crecimiento bajo condiciones de invernadero no es comparable con el crecimiento bajo condiciones de campo, pero puede ser correlacionado con el crecimiento en el campo, cuando otro factor que no sea el estado de fertilidad del suelo sea más limitante que la misma fertilidad.

#### OBJETIVOS:

- Obtener una caracterización del estado nutricional de algunos suelos del estado de Nuevo León.
- Hacer de la técnica del elemento faltante, una práctica más común en los análisis de fertilidad de suelo.
- Proporcionar base a otros estudios referente a la corrección de los problemas de fertilidad del suelo, como factor limitante para la obtención de buenas cosechas.

## REVISION DE LITERATURA

El clima y el suelo son dos factores estrechamente relacionados con la productividad agrícola, constituyendo la fertilización un importante recurso para actuar sobre esta. Por consiguiente, un suelo de baja fertilidad también puede producir buenas cosechas, siempre y cuando se aplica una acertada fertilización, junto con otras prácticas agrícolas (labranzas, riegos, etc).

### 1. IMPORTANCIA DE LOS ELEMENTOS EN EL SUELO

Si el suelo no es productivo, y se requiere experimentar un sistema de mejoramiento, para poder obtener los objetivos fijados es necesario determinar la causa de su esterilidad, la cual necesariamente dependerá de algunos defectos en la constitución del suelo, que a su vez pueden ser descubiertos por análisis químicos. (23).

Por eso la fertilización es considerada un importante recurso que se utiliza para actuar sobre la productividad de un suelo (21). Esta última se define como la capacidad de un suelo para producir una planta determinada o secuencia de plantas bajo un sistema dado de manejo, así, para que un suelo sea productivo por necesidad debe ser fértil, sin embargo cuando se tiene baja fertilidad también se puede producir buenas cosechas cuando se aplica una acertada fertilización, aunado con otras prácticas agrícolas (17).

Es sabido que el suelo es un cuerpo independiente, dinámico y de tal naturaleza que adquiere propiedades de acuerdo con las fuerzas físicas, químicas o biológicas que actúan sobre él. (23). Y si se desea que un suelo produzca buenos cultivos, este deberá de tener, entre otras cosas, un abastecimiento adecuado de todos los nutrientes esenciales que las plantas toman del suelo. No solo se requiere que los elementos nutritivos estén presentes en forma tal que las plantas puedan utilizarlos, sino que también debe haber un balance aproximado entre ellos, de acuerdo a las cantidades que las plantas necesiten. (5).

Prácticamente, la totalidad de los nutrientes tomados del suelo por la planta, son tomados en estado mineral, dichos minerales se absorben en forma de aniones y de cationes. (13). Por lo menos dieciseis elementos son considerados necesarios para el desarrollo de las plantas verdes: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl).

Se dice que un exceso o una deficiencia de casi cualquiera de los nutrientes retrasará la madurez, por ejemplo, una deficiencia de nitrógeno es evidente por una pérdida gradual de clorofila, y por un crecimiento lento y un desarrollo reducido; por otro lado una abundancia de nitrógeno provoca un crecimiento rápido con un mayor desarrollo de las partes vegetativas aéreas, pero esta tendrá lugar solo si se tiene cantidades ade

cuadas de fósforo, potasio y otros elementos esenciales en forma aprovechable. (17)

Otro ejemplo más es en el caso de el boro, si el suelo contiene en abundancia este elemento, cantidades tóxicas son absorbidas por las plantas, restringiéndose su desarrollo. En resumen la necesidad por un balance razonable en las cantidades de nutrientes disponibles en el suelo es vital. (13)

## 2.- ESENCIALIDAD DE LOS ELEMENTOS.

Las sales minerales en solución en el agua del suelo constituyen el alimento necesario para la planta, las cuales proceden bien de la mineralización de las reservas orgánicas del suelo, o bien de su aporte al suelo en forma de abonos o fertilizantes. (13 ). A los elementos que las plantas necesitan se les conocen como esenciales. Hasta 1800, el hombre no sabía cuales elementos absorbidos del suelo eran indispensables, por lo que fue necesario que se descubrieran los elementos químicos y las técnicas para su determinación y poder establecer las diferencias entre estos y los llamados útiles. (17)

Así que se siguen los siguientes criterios para establecer cuando un elemento es esencial, y no un elemento útil:

- .- Un elemento es esencial si la planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia de este.
- .- Si la enfermedad desarrollada por la ausencia de ese elemento unicamente es corregida por la adición de el.

.- Y si se comprueba que gran cantidad de especies de plantas es indispensable para el crecimiento.

En las plantas se han encontrado más de cuarenta elementos, algunos de estos son necesarios para algunas plantas, sin embargo no cumplen con los criterios anteriores, pero si son capaces de sustituir a elementos esenciales (por ejemplo en la remolacha azucarera, en donde el sodio puede sustituir al potasio); en este grupo se encuentran el cobalto, sodio, iodo y vanadio. (26)

Los dieciseis elementos esenciales nombrados anteriormente se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, dicha clasificación se basa en las cantidades que son encontradas normalmente en las plantas y no implica una importancia relativa como se pudiera pensar.

Los micronutrientes son fierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro y cloro.

Cada uno de los elementos esenciales juega un papel importante en la nutrición vegetal; se tiene que:

El nitrógeno, fósforo y azufre son componentes básicos de las proteínas y del ácido nucleico, sustancias fundamentales de los tejidos vegetales. ( 6 ). El zinc, cobre y molibdeno, tienen un papel de catalizadores en la síntesis de ciertas sustancias orgánicas. Otros tienen papeles múltiples, como el potasio, calcio y magnesio, que entre otras funciones, mantienen

en la planta el equilibrio cationes/aniones. (13)

El contenido mineral de las plantas esta afectado por factores externos, su composición porcentual en los cultivos varía considerablemente, y esto deberá recordarse cuando se consultan tablas de datos sobre composición para formular los programas de fertilización.

### 3.- FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES

Los elementos afectan el crecimiento del vegetal en una o más de las formas siguientes:

- .- Componentes básicos de las sustancias fundamentales de los tejidos vegetales.
- .- Catalizadores en las síntesis de ciertas sustancias orgánicas.
- .- Reguladores de la presión osmótica.
- .- Reguladores del pH en la planta.
- .- Intervienen en el uso de otros elementos por la planta.
- .- Efectúan los procesos de óxido-reducción en la planta. (9)

En el siguiente punto se describe el papel de los elementos esenciales en el crecimiento de la planta.

#### 3.1. El papel de los elementos en el crecimiento del vegetal.

- Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, son considerados macroelementos o elementos "plásticos", extraídos del aire en forma de anhídrido carbónico o bien del agua del suelo.

Intervienen en la síntesis de compuestos orgánicos que en forma de savia elaborada, se distribuyen por toda la planta para la formación de tejidos vegetales. (15)

- Nitrógeno, proviene de la atmósfera o de los tejidos muertos. En ambos casos es transformado por las bacterias del suelo en amonio y nitrato, elementos que son absorbidos por las raíces de las plantas. (9)

Indiferentemente de la forma del nitrógeno absorbido por las plantas, este es transformado en el interior de éstas a las formas de  $-N=$ ,  $-NH-$ , o  $NH_2$ . (26)

Ese nitrógeno reducido, al principio le sirve para constituir su aparato vegetativo, en el cual los prótidos ocupan gran lugar, después el nitrógeno participa en la elaboración de materias nitrogenadas orgánicas (proteínas, aminoazucars, aminoácidos, polipeptidos y algunos compuestos misceláneos. (2)

Además el nitrógeno forma parte de la clorofila, por lo que se considera al nitrógeno un elemento esencial en la nutrición de los vegetales, lo que obliga a fertilizar el suelo con abonos nitrogenados. (12)

#### Fósforo.

Es obtenido del suelo, y se presenta bajo distintas formas en el suelo:

- .- En suelos calcareos en fosfatos unidos a carbonatos de calcio.

- .- En suelos tropicales en forma de fosfatos de fierro y aluminio.
- .- En la mayoría de los suelos se le encuentra asociado al humus.
- .- Y también en estado soluble en las soluciones del suelo.

( 11)

Las plantas absorben el fósforo en forma de ión ortofosfato  $H_2PO_4^-$  pequeñas cantidades del ión secundarios ortofosfato, y también como pirofosfato y metafosfatos. (26)

El fósforo se concentra principalmente en las partes jóvenes de la planta y en las flores y la semilla. Es necesario para la mayor parte de los procesos químicos, tales como la fotosíntesis, la síntesis y la hidrólisis de carbohidratos, así como en la transferencia de energía en la planta. Se presenta en mayor proporción en el núcleo de la célula y esta presenta en el citoplasma, donde esta envuelto en la organización de las células y la transferencia de las características hereditarias. (23)

Como el nitrógeno, el fósforo es un factor de crecimiento, favorece el desarrollo radicular, activa el desarrollo inicial, y tiende a acortar el ciclo vegetativo, aumenta la resistencia de la planta al frío y es un elemento regulador de la vegetación. (13)

## Potasio

El contenido de potasio en los suelos es por regla general mucho mayor que el de nitrógeno y fósforo; puede existir hasta en cantidades de 2.5%.

Se encuentra en el suelo en las siguientes formas:

- .- Incorporado a las moléculas de los silicatos cristalizados de las rocas volcánicas.
- .- En estado de sales solubles, como cloruro potásico, sulfato potásico, nitrato potásico y sulfato potásico magnésico.

(11)

No forma parte integral de los componentes de la planta, más bien su función es catalítica, sin embargo se ha demostrado que es imprescindible para:

- .- El metabolismo de hidratos de carbono y transformación del almidón.
- .- El metabolismo del nitrógeno y síntesis de proteínas.
- .- El control y regulación de las actividades de varios elementos esenciales.
- .- La activación de varias enzimas.
- .- La promoción del crecimiento de los tejidos meristemáticos.
- .- Los ajustes de la apertura de los estomas. (26)

Se dice que regula el grado de respiración, la transpiración, es el único elemento que permanece en forma iónica en la planta, por su carácter radiactivo desprende electrones, cuan-

do recibe la luz solar, los cuales son imprescindibles para la fotosíntesis. Por ello la escasez de potasio detiene la asimilación de carbono. (12)

## Calcio

Se presenta en el suelo en las siguientes formas:

- .- Como constituyente de un buen número de rocas y materiales primarios (amorita, basalto, etc.).
- .- Como carbonato o bien como sulfatos.
- .- En la solución del suelo como bicarbonatos y nitratos de calcio.

Es absorbido bajo la forma de ión  $\text{Ca}^{+2}$ , se le encuentra en mayor abundancia en las hojas de las plantas y en la savia de las células bajo forma iónica. (26)

Entre sus funciones esta la de intervenir en la síntesis del pectato de calcio, ayudando así a la formación de la lámina media de las células. (9)

Es necesario para el desarrollo de los meristemos y para el desarrollo y funcionamiento adecuado de los ápices de las raíces. (18)

Su presencia en el jugo celular es esencial para el desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la maduración del grano. (13)

La concentración de iones de calcio modifica la cantidad absorbida por las plantas de potasio, magnesio, sodio y otros cationes, así se tiene que al aumentar la concentración de calcio en el suelo, baja la absorción de magnesio y en menor grado la de potasio, además de que el calcio regula la acidez o alcalinidad del suelo, condición de suma importancia para la aprovechabilidad del fósforo por la planta.

Y finalmente el calcio es indispensable a los microorganismos del suelo, especialmente para las bacterias nitrificantes. (11)

### Magnesio

El contenido en el suelo de magnesio es de 0.36% pero puede llegar hasta 1.0%. Por regla general los suelos con texturas finas contienen mayores cantidades de él. Su fuente principal son los minerales primarios (dolomita, silicatos y olvina) y la solución del suelo, en ésta principalmente se encuentra como bicarbonato y nitrato.

En la planta, el magnesio tiene una función fisiológica importante, participa en la constitución de la clorofila (2.7%), va asociado a la absorción y a las migraciones del fósforo al cual acompaña en la formación de la fitina. (11)

La absorción del magnesio por las plantas depende de la cantidad presente, del grado de saturación del magnesio, de la naturaleza de otros iones cambiables, y del tipo de barro. (26)

Los suelos de textura gruesa de las regiones húmedas son aquellos en los que la deficiencia de magnesio se manifiesta por regla general. Sin embargo, lo que cuenta para el agricultor es el magnesio cambiabile o asimilable (2-10% de la existencia total). Se sabe que en los suelos demasiado ácidos o demasiados ricos en potasa, la absorción de magnesio asimilable puede realizarse con dificultad. (13)

### Azufre

El contenido de azufre total en el suelo es muy variable: de 0.1 a 0.8 por 1000 (bajo en suelos arenosos, elevado en suelos ricos en materia orgánica). (13)

El azufre es un elemento no metálico, y en el suelo se presenta como:

- .- formas reducidas de azufre contenidas en combinación orgánica.
- .- en forma de sulfatos.
- .- como azufre elemental y sulfuros. (26)

El azufre es un constituyente de algunas hormonas de las plantas, de tipo-glucosidos y del glutati6n, se presenta en los aminoácidos azufrados, cistina, cisteína y metionina, los cuales son considerados aminoácidos esenciales, y forman las proteínas. (6)

El azufre favorece el desarrollo de n6dulos y la subse-

cuenta fijación del nitrógeno por legumbres; y también se asocia con la formación de clorofila ya que se presenta el color amarillo por deficiencia de este elemento en la planta. (26)

## Hierro

El contenido total en el suelo oscila desde un valor tan bajo como de 200 ppm. hasta más del 10%. (26)

Se encuentra en el suelo en forma de óxidos hidratados ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ); de carbonatos o de sulfuros, se sabe que su abundancia se debe a la litosfera. (13)

Una de las funciones del hierro es la de catalizador en la producción de clorofila. Actúa formando el complejo hierro-porfirina, el cual actúa como transporte de oxígeno, de electrones y descompone al peróxido de hidrógeno.

El hierro interviene en la constitución de numerosas enzimas de oxidación (flavoproteinasas, peroxidasas, catalasas, etc.). Se le encuentra particularmente en los órganos de la planta donde los cambios y la actividad fisiológica son intensos (embriones, yemas, hojas jóvenes y flores). (11)

Es muy probable que el potasio sirva de vehículo para el transporte del hierro a las partes de la planta donde se requiere. Cuando la cantidad de hierro extraída por la planta es mayor que la de potasio, o cuando falta este, el exceso de hie

ro se precipita en los tallos. (14)

### Boro

Existe ampliamente en la naturaleza, tanto en los suelos ya formados como en las rocas, y a veces el agua de riego contiene grandes cantidades de él.

El contenido medio de este elemento en el suelo es insoluble, pues proviene de la turmalina. Los suelos derivados de pizarras, en primer lugar, y en segundo de los aluviones, son los más ricos en boro, pero la mayor parte de él se encuentra insoluble en los sedimentos no consolidados. (13)

El boro es absorbido en una o más de sus formas iónicas, tales como :  $B_4O_7^{=}$ ,  $H_2BO_3^{=}$  , o  $BO_3$ . (26)

El boro interviene en el metabolismo del calcio y de los glúsidos en la planta, en la formación de las membranas celulares y la absorción del agua. (11)

También se le atribuye un papel semejante al del potasio en lo que se refiere al crecimiento vegetal, además de que su falta afecta un mal desarrollo de los tejidos meristemáticos y los nódulos de las raíces de las leguminosas. (6)

Coke y Whittington (1968), consideran que el boro interviene en el metabolismo de las auxinas. (16)

## Manganeso

Se encuentra en el suelo en forma de bióxido de manganeso o de óxido hidratado, los suelos podsólicos de color gris-café son originalmente ricos en este elemento.

En los suelos típicamente calizos, se presentan deficiencias de manganeso, principalmente si el nivel freático es alto. (18).

El principal factor que gobierna las deficiencias de manganeso en el suelo, es el pH. Cuando más ácido sea el suelo, mayor es la cantidad de manganeso que contiene; tanto, que llega a ser tóxico en suelos ácidos.

Este elemento es absorbido por las plantas en forma de ión manganeso,  $Mn^{+2}$  y en combinación molecular con ciertos complejos orgánicos tales como el EDTA. (26)

Se dice que el manganeso activa a las enzimas prolidasa y glutamil transferasa, las cuales están relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos. (16)

Es necesario en la reducción de los nitratos en la planta (fase preliminar de la síntesis de los proteínas) ya que es indispensable para el funcionamiento normal de las enzimas que regulan los fenómenos de oxidación y reducción. (10)

Además ejerce una acción catalítica sobre las bacterias

fijadoras del nitrógeno atmosférico (Bacillus radicola, Clostridium pasterianus y Azotobacter sp.) (13)

## Zinc

Se encuentra en los suelos en forma de catión bivalente. Procede de los minerales (silicatos, óxidos, sulfuros, carbonatos). Los valores del zinc en el suelo, varían de 10 a 100 ppm, ó más, pero generalmente los límites comunes son 10 a 300 ppm.

La mayoría de los minerales en los cuales se encuentra el zinc, son fácilmente intemperizables y dicho elemento es absorbido después, probablemente como catión divalente en el complejo de intercambio y en la combinación orgánica. (18)

La función del zinc en las plantas es la de un metal activador de enzimas: enolasa, aldolasa, descarboxilasa, lecitinasa, cisteína de sulfgidrasa, histidina de aminasa, dihidropeptidasa y dipeptidasa glisil-glicinica. (26)

El zinc es constituyente de la enzima anhidrasa carbónica, la cual regula el equilibrio entre el dióxido de carbono, agua y ácido carbónico. También es necesario para la formación de auxinas. las cuales son promotoras del desarrollo de la planta.

Además se asocia con la relación del agua en la planta. Altas presiones osmóticas son resultado de la deficiencia del zinc debido a que se reduce el agua absorbida, lo que es debi-

do a fallas en la pared celular, debido a la falta de las auxinas. (4)

## Cobre

Este elemento existe en grandes cantidades en las rocas igneas, su existencia esta relacionada con el contenido de materia orgánica y la presencia de arena y grava, a mayor proporción de estos, menor es la cantidad de cobre presente.

Es absorbido por las plantas en forma de ión cuprico,  $\text{Cu}^{+2}$  y puede ser absorbido como una sal de un complejo orgánico tal como el EDTA. (26).

El cobre es importante en la utilización de proteínas en el desarrollo de la planta, también interviene en las reacciones de oxidación - reducción en ella. (28)

Es un metal activador de varias enzimas, entre las que estan la tirosinasa, ascorbilasa y butiril coenzima -A de hidrogenasa; enzimas que pertenecen al grupo polifeno-oxidasa, que son las que actuan en los procesos de oxido-reducción de la planta. (22)

Participa en varias funciones vitales como la síntesis de la clorofila y ciertas reacciones productoras de energía, como la respiración y la fotosíntesis. También influye en la permeabilidad de la membrana celular y en el proceso por el cual el nitrógeno en forma de nitrato es reducido a la forma amonica

en las plantas. (32)

#### Molibdeno:

Los suelos fértiles contienen de 0.1 a 0.3 ppm de este elemento, pero suelos arenosos pueden contener solamente 0.005 ppm. Se le encuentra en el suelo en tres formas: sales solubles, combinado con la materia orgánica y como ión. (26)

Su disponibilidad en el suelo está determinada principalmente por el pH. Los suelos ácidos presentan deficiencia de él.

Este elemento es coenzima de la enzima nitrato reductosa, la cual facilita la reducción química de los nitratos en las plantas además es necesario para los microorganismos fijadores de nitrógeno de las leguminosas. (11)

Es indispensable para la síntesis del ácido ascorbico, además de que se cree que su presencia neutraliza el daño que pueden causar el exceso de otros elementos tales como el manganeso, zinc, cobre, boro, níquel y cobalto.

El molibdeno también es componente de las enzimas aldehído oxidasa, xantinoxidasa, nitrogenasa y nitrato reductasa, y al mismo tiempo es considerado como catalizador. (16)

#### Cloro

Está presente en forma constante en las soluciones del

suelo en estado de cloruros; cloruro de sodio, magnesio y de calcio, que pueden proceder del mar o bien de los terrenos salinos de la serie estatigráfica. (11 )

El cloro es absorbido por la planta en forma de ión  $\text{Cl}^-$ , entre las funciones que se le atribuyen, se incluyen las de regulador de la presión osmótica y del equilibrio catiónico. (17 ).

Además activa la hidrólisis del almidón por la enzima amílase, cuando falta se producen quemaduras en la extremidad de las hojas, que se extienden a la periferia del limbo, necrosis y perturbaciones en la fructificación. (13 )

Sodio.

Es absorbido por las plantas en forma de ión  $\text{Na}^+$ , y se presenta en el suelo en las soluciones, en forma de cloruros y sulfatos.

Se dice que el sodio puede sustituir al potasio, caso específico en la remolacha azucarera, donde ejerce acción positiva sobre los rendimientos de esta.

Además esta relacionado con los cambios de presión osmótica en la planta, por lo tanto en la capacidad de absorción de agua por esta. (21 )

## Cobalto

Se requiere para la fijación del nitrógeno en las leguminosas; ya que forma parte de la vitamina B<sub>12</sub> (cianocobalamina), la cual es esencial para dicha fijación por la Rhizobia sp. (21 ).

Se dice que incrementa el crecimiento, la transpiración y la fotosíntesis en el algodón, judías y mostaza, y en las dos últimas aumenta la actividad y contenido de clorofila en las hojas. (26 )

Además se ha encontrado que activa a las enzimas arginasa, lecitinasa, y oxalaceticocarboxilasa. (21 )

## Vanadio

Puede sustituir al molibdeno en la fijación del nitrógeno por Azotobacter croococcum.

Incrementos en el crecimiento de la planta, tales como es párrago, arroz, lechuga, cebada y maíz son atribuídas al vanadio, pero la realidad sobre la relación de este elemento con la nutrición de las plantas es aún desconocida. (26 )

## Sílice

Este elemento se obtiene a partir de los silicatos de las rocas eruptivas, metamórficas y volcánicas.

La esencialidad del silice para el crecimiento de las plantas superiores es una cuestión debatida, sin embargo se dice que incrementa la altura, el número de tallos y la materia verde y seca de las plantas de arroz. (26 )

#### 4.- DEFICIENCIA DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS

Se presenta cuando las concentraciones de uno o varios elementos es baja y suficiente para dificultar la nutrición vegetal, actualmente prevalece el designar como "Enfermedades de carencia" o "Carencias" a las perturbaciones procedentes de la falta en el suelo de los elementos secundarios sobre todo de oligo elementos.

Hay dos tipos de deficiencias.

- .- Absolutas o primarias.- cuando el suelo es demasiado pobre en un elemento para que la planta pueda obtenerlo de el, en cantidades suficientes.
- .- Condicionales o inducidas.- El elemento considerado se encuentra en cantidades suficientes en el suelo, pero es inhibido en su forma asimilable, por condiciones desfavorables del pH o de antagonismo entre iones.

La deficiencia se manifiesta por diversos síntomas

- .- Clorosis, deformaciones, lesiones, necrosis y quemaduras en sistema foliar.
- .- Anomalías de coloración, lesiones o necrosis de los frutos.

.- Crecimiento de brotes en posición anormal.

.- Enanismo.

Por lo general las deficiencias aparecen con frecuencia, cuando se intenta modificar la agricultura de una región de manera significativa.

A continuación se da la relación de los principales síntomas de deficiencia de cada uno de los elementos nutritivos.

ELEMENTO	SINTOMAS GENERALES
Nitrógeno _____	Lentitud del desarrollo de la planta. Madurez anticipada. Caída prematura de las hojas en otoño. Amarillamiento parcial de las hojas.
Fósforo _____	Falta de vigor del vegetal durante el desarrollo. Retraso en floración; por lo tanto altera la fructificación y maduración. Acostamiento tardío de las ramas.
Potasio _____	Sensibilidad anormal a los parásitos y accidentes, por parte de los tejidos vegetales. Irregularidad de la maduración. Disminución de la cosecha. Amarillamiento marginal o manchado.

Nota: Síntomas frecuentes en los órganos adultos.

Calcio	_____	Raquitismo que puede llegar a em <sup>an</sup> ismo. Su deficiencia va aso <sup>ci</sup> ada a los del "complejo de aci <sup>de</sup> z".
Magnesio	_____	Amarillamiento y después pardeamiento con lesiones, generalmente a mitad de la hoja, quemadura periférica del limbo.
Azufre	_____	Achaparrado de las plantas y clo <sup>ro</sup> sis foliares.
Hierro	_____	Clorosis típica que llega a deco <sup>lo</sup> ración total por destrucción de la clorofila de la hoja. Cuando es intensa, también se de <sup>co</sup> loro y aparecen quemaduras en el borde.
Cloro	_____	Clorosis, quemadura de la extremidad o periferia del limbo, necrosis, perturbación de la fructificación.
Boro	_____	Tendencia a la necrosis, pudrición de raíces, necrosis y suberización de los tejidos.
Sodio	_____	Hojas de color oscuro que se mar <sup>ch</sup> itan en estación seca. (11).

## 5.- EQUILIBRIO E INTERACCION DE LOS ELEMENTOS

### 5.1. Equilibrio entre los nutrientes

Cuando se busca obtener altos rendimientos en los cultivos, el suelo deberá de tener entre otras cosas, un abastecimiento adecuado de todos los nutrientes esenciales, no solo se requiere de su presencia en forma tal que las plantas puedan utilizarlos, sino que también debe de haber un balance o equilibrio adecuado entre ellos, según las cantidades que las plantas necesiten. ( 5 )

Lo anterior queda bien definido con las tres leyes fundamentales de la nutrición vegetal, las cuales enuncian:

Primera Ley, según Von-Liebig, en 1862, dice que el suelo no contiene, por lo general, los elementos nutritivos en proporciones exactas que la planta precisa y, por consiguiente, el rendimiento se alinea según el elemento más deficiente.

Segunda Ley, según Mitscherlich, quien la enuncia como "Ley de los rendimientos decrecientes", y dice que cuando se aumentan las aportaciones al suelo de elementos fertilizantes, los excedentes de cosecha obtenidos cada vez son más débiles. Aquí tiene importancia relevante la aportación, ya que cuando se sobre pasa, primero no se nota ningún aumento en el rendimiento, después se presenta un efecto depresivo y por último un efecto tóxico.

Tercera Ley, Según Bertrand, quien la nombra como "La Ley del

óptimo de concentración nutritiva", la cual dice que cada elemento nutritivo ejerce en la alimentación del vegetal un efecto máximo para una concentración óptima, a un lado de la cual hay carencia y más allá toxicidad.

( 11 )

Sin embargo en la práctica, no obstante, el equilibrio de los elementos es difícil de conseguir. El suelo siempre tiene una cualidad desconocida respecto a la posible asimilación estacional de sus constituyentes. Por otro lado es difícil determinar las reacciones que ocurrirán cuando los fertilizantes se pongan en contacto con el suelo. ( 5 )

## 5.2. Interacción entre los nutrientes.

Los elementos nutritivos pueden ejercer, unos sobre otros, acciones que conducen a reducir a aumentar su absorción en la planta, mediante mecanismos físico-químicos, químicos y biológicos.

La interacción puede ser definida como:

- .- Una influencia, una acción mutua o recíproca de un elemento sobre otro, en relación al crecimiento de la planta.
- .- O bien la respuesta diferencial de un elemento en combinación con niveles variables de un segundo elemento aplicado simultaneamente, para producir un efecto positivo o negativo debido a la interacción de ambos. (18)

La interacción puede ser entonces positiva o negativa, será positiva cuando la respuesta favorable del rendimiento de la cosecha a los dos elementos es mayor que la suma de las respuestas para cada uno separadamente. A la interacción positiva, también se le conoce como sinergia. (20 )

La interacción negativa es cuando la respuesta a los dos elementos unidos es menor que la suma de las respuestas para cada uno separadamente. Las interacciones negativas más comunes son:

- .- El antagonismo, que es la oposición entre elementos, con tendencia de uno a tomar el lugar del otro; reduciendo su proporción, en el complejo en las soluciones del suelo o bien en el flujo nutritivo que pasa en el vegetal.
- .- El bloqueo, que es la reducción de la asimilación de otro, no ocupando su lugar, pero si inhibiéndolo o paralizándolo.
- .- Precipitación recíproca, se provoca por reacción química, haciendo que ambos elementos precipiten, y reduciéndose o anulándose por consecuencia su asimilabilidad. ( 11 )

Ver el Cuadro 1 de las relaciones de interacciones entre los elementos nutritivos.

#### Nitrógeno-Zinc.

Con respecto a una aseveración en cuanto a esta interacción no se puede aplicar a todas las plantas ya que se ha encontrado que:

Ozane (1955) observó que la concentración de zinc en las

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Si	Cl	Na	Bo	Mn	Cu	Zn	Mo
N		S	S												S
P	S			B								B		B	
K	S			A	A					A					
Ca		B	A		A					A	B	B	B	B	
Mg		B	A	A						A					
S									A						
Fe		P	S/B	A								A	A	A	
Si															
Cl						A									
Na			A	A	A										
Bo				B											
Mn		B		B			A							A	
Cu				B			A								A
Zn		B		B			A					A			
Mo	S												A		

A- Antagonismo

P- Precipitación mutua

B- Bloqueo

S- Interacción positiva/sinergia

Cuadro 1. Relación de las interacciones entre los elementos nutritivos.

raíces del trébol subterráneo, estaba correlacionada con el porcentaje de nitrógeno proteico; la retención del zinc en el complejo zinc-proteína, causó una severa deficiencia de zinc en las puntas de estas.

Después Boawn et. al. (1960) relacionó el pH con la presencia de sulfato de amonio, nitrato de amonio y nitrato de calcio, para intervenir en la concentración de zinc y su captación por sorgo y papa, observando que el sulfato de amonio aumenta la absorción del zinc, más que los otros compuestos, aumentando cuando se tiene un medio ácido y reduciéndose cuando es alcalino; sin embargo este comportamiento no tuvo efecto significativo en el caso del betabel. ( 18 )

Power et. al. (1966) señala que en suelos de pH = 7.3 y en cultivos de maíz, el sulfato de amonio es más efectivo que otras fuentes, y en 1972 reporta que el pH del suelo cuando se aplica urea aumenta ligeramente de los 6 a 10 días después de la fertilización, debido a que se forma carbonato de amonio en el suelo. ( 27 )

#### Fósforo-Zinc

Con frecuencia ha sido observada deficiencia de zinc en suelos ricos en fosfato. En Florida la deficiencia en zinc en cítricos fue asociada con altos niveles de fósforo en el suelo; sin embargo investigadores, en el estado de Washington, no lograron influenciar el consumo de zinc por alubias con aplica-

ciones grandes de pentóxido de fósforo. (181.2 kg/acre). (26 )

A pesar de que dicha interacción ha sido estudiada en muchos experimentos desde 1936 (Barnete et al; 1936; West, 1938; Viets y Crawford, 1954, 1957; Thorne, 1957; Stuckenholtz et. al. 1966); el mecanismo de dicha interacción es aún desconocido, llegando a concentrarse en los siguientes puntos:

- .- Interacción fósforo-zinc en el suelo.
- .- Velocidad de translocación más lenta del zinc de las raíces a las puntas.
- .- Efecto simple de difusión en la concentración de zinc en las plantas debido al aumento en la concentración de fósforo.
- .- Alteración metabólica dentro de las células de la planta relacionada con un balance entre fósforo y zinc. ( 18 )

Con respecto a lo anterior Boawn y Leggett (1964); Boawn y Brown (1968), señalan que altos niveles de fósforo en el medio de crecimiento de la planta reduce la solubilidad del zinc o interfiere con el movimiento de zinc en la planta por desbalance fisiológico.

Sharma et. al. (1968) y Wornock (1970), reportan que aplicando fósforo se reduce la concentración de zinc en los tejidos pero no en la absorción de la planta, es decir hay inhibición fisiológica en la translocación del zinc de las raíces a la parte aérea.

Keefe et. al. (1972) reporta antagonismo mutuo entre fósforo y el zinc, resumiéndolo en tres procesos generales.

- .- Inmovilización de zinc o fósforo en el suelo.
- .- Precipitación del zinc por el fósforo dentro de la planta o en la superficie de la raíz de ella.
- .- Rompimiento del metabolismo de la planta debido a un desbalance de nutrientes. (27 )

#### Fósforo-Fierro

Se ha demostrado que una alta proporción en el suelo de  $\text{HCO}_3^-$  aumenta la solubilidad del fósforo y produce como resultado un gran consumo de este elemento que interfiere con el metabolismo del fierro en la planta.

Aparentemente, altas concentraciones de fósforo causan una deposición de hierro sobre la superficie de la raíz o justo al lado de la misma. (26 )

Si se hace un poco de historia, Brown et. al. (1959) y Watanabe et. al. (1965), relacionaban el fósforo, con la clorosis ferrica, debido a que dicho elemento restringía la absorción del fierro.

Y Olsen (1972) propone un estudio a nivel molecular y celular para comprender el mecanismo de la clorosis ferrica inducida por el fósforo. (19 )

## Fósforo-Cobre

Esta interacción ha sido estudiada desde 1955, (Brown et. al.) en donde se midió la actividad de la catalasa (enzima oxidativa), usando concentraciones de cobre y fósforo, aplicados juntos o separados, para provocar clorosis. La actividad de dicha enzima disminuyó a medida que se incrementó el fósforo disponible, siendo mayor esta tendencia con las aplicaciones de cobre.

Después Bingham, Martin y Chastain, 1958; Binham y Garber, 1960; Binham, 1963; y Spencer, 1966, aplicando concentraciones altas de fósforo en suelos californianos para cultivos de cítricos descubrieron problemas en el crecimiento de estos, los cuales fueron corregidos con aplicaciones de cobre.

Y Spencer (1966), observó que cuando las aplicaciones de cobre resultaban tóxicas, dicha toxicidad era reducida por adición de fósforo. (18 )

## Fósforo-Molibdeno

Se ha observado que fuertes aplicaciones de fertilizantes fosfáticos aumentan el consumo de molibdeno por las plantas, ya que la conversión del óxido de molibdeno a sales solubles de molibdato es favorecida por una reacción alcalina. ( 26 )

Barshad (1951), sugirió que el fósforo podría estimular la captación de molibdeno debido a la formación de un complejo

(fósforo-molibdeno) el cual es absorbido más fácilmente por la planta.

Stout et. al. (1951) sugiere que el fósforo toma parte en la liberación de molibdeno de las células de la raíz hacia el sistema de translocación; esto fue estudiado en el tomate.

(18 )

#### Potasio-Zinc

Con respecto a esta interacción hay trabajos que demuestran una interacción positiva (sinergia) y una interacción de carácter antagónico.

Por lo que se refiere a la primera, Stukenholts (1966); McGregor et. al. (1974); y Mukhi (1979), señalan que al aumentar las concentraciones de potasio, se incrementan ligeramente las concentraciones de zinc en los brotes de la parte aérea del maíz; así como la inhibición del efecto nocivo del fósforo sobre el zinc, aumentando su absorción.

Del Rivero (1968); Smith y Smith (1977), señalan efecto antagónico del potasio con respecto al zinc, ya que exceso del primero en el suelo puede ocasionar deficiencia del zinc en el cultivo de maíz. ( 27 )

#### Fierro-Zinc

En cuanto a esta interacción se tiene antecedentes desde

1953, por Hewitt, quien encontró que la deficiencia de fierro era inducida preferentemente por zinc que por manganeso, estos resultados fueron similares a los que encontró, Adriano et. al. (1971), quien señala que el fierro y el zinc interactúan antagonicamente, ya que a altos niveles de fierro se acentúa la deficiencia de zinc.

Después Safaya (1976), Halverson y Lindsay (1977) reportan que al aplicar grandes cantidades de zinc al suelo, y ser absorbido por la planta se reduce el flujo de fierro por ella.

Y Kashirad et. al. (1978) reportó que al aplicar fierro en concentraciones de 0 a 20 ppm. bajó el contenido de zinc de 74.3 ppm. a 26.5 ppm. en la parte aérea de la planta. ( 27 )

#### Fierro-Cobre

Un trabajo realizado recientemente por científicos en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha demostrado que la deficiencia en fierro en soya ocurrió a causa de una proporción baja en las plantas de la relación Fe: (Cu + Mn).

Generalmente, en suelos pobremente tamponados, aplicaciones de cobre, manganeso o quizás sales de zinc, en pulverizaciones biológicas y polvos, o en fertilizantes, inducirán una deficiencia en fierro a causa de que la proporción de Fe: (Cu, Mn, Zn) puede convertirse en demasiado estrecha en la planta.

Desde 1940, Chapman, Liebig y Vanselow, Reuther y Smith (1953) confirmaron que altas concentraciones de cobre causaban clorosis de fierro en cítricos.

Más tarde Cheshire, Dekock e Inkson (1967), mostraron que había deficiencia de cobre en suelos de alto contenido de materia orgánica cuando se tenía presente fierro, y el cobre se aplicaba a turba, en los cultivos de avena. Las correcciones en las concentraciones de cobre y fierro causaron incrementos en los rendimientos de dicho cultivo. ( 18 )

#### Fierro-Manganeso

Dicha interacción fue considerada antagónica mutua por Somers y Shive (1942), llegando a concluir que tanto el fierro como el manganeso interaccionan en sus funciones metabólicas, afectando la actividad fisiológica la presencia de uno con respecto al otro. Esto fue relacionado con las plantas cloróticas en suelos ácidos con altos contenidos de manganeso disponible. ( 19 )

Así como el fierro se oxida fácilmente, el manganeso se reduce con la misma facilidad. Puesto que este último oxida al fierro rápidamente, cuando hay un exceso de manganeso en el suelo, puede inmovilizar por completo al fierro, al convertirlo a la forma ferrica, en cuyo estado precipita fácilmente. A la inversa la deficiencia de manganeso puede ser causa de la presencia de fierro ferroso en cantidades excesivas.

Grasmanis y Leeper (1966), redujeron la actividad tóxica del manganeso en hojas de manzana, bajando su concentración de 100 a 35 ppm., utilizando citrato de fierro dentro del árbol o aplicando Fe EDTA al suelo. (18 )

Agarwala (1977), reporta disminución en clorofila en chícharo por exceso de manganeso, esto era corregido por adición de fierro, además el exceso de manganeso ocasionaba disminución en la concentración de proteína soluble en plantas cuando había deficiencia de fierro. ( 19 )

Tanto el fierro como el manganeso son necesarios para la mayoría de las plantas cultivadas, pero la proporción en que debe existir uno con respecto a otro, es lo más importante. Para algunas plantas la relación de fierro a manganeso parece ser de 1.5 a 2.5, en las hojas de maíz se han encontrado relaciones de fierro - manganeso de 1.23 a 2.00 (18 )

#### Manganeso-Zinc

Onki, (1976), encontró que a medida que se aplica manganeso en el suelo en las concentraciones de 0 a 4000 Mg./lt., se presenta disminución en la concentración del zinc en los tallos de sorgo (50 ppm. a 22 ppm), mientras se presentó un aumento en las concentraciones de fierro (78 a 162 ppm), y manganeso (4 a 634 ppm) en los mismos tallos.

También reportó Onki que bajo muy severas condiciones de

deficiencia de manganeso, se provoca la presencia de altas concentraciones de zinc en las hojas, pero si el incremento se efectúa más allá del nivel crítico de manganeso, la concentración del zinc permanece constante, indicando que en el rango de suficiencia de manganeso, la acumulación del zinc en el tejido de la hoja es independiente de la concentración de manganeso. ( 27 )

#### Magnesio-Zinc

Este tipo de interacción no ha sido bien definida, se piensa que es ligeramente antagónico, aunque no se ha comprobado plenamente, pues Seatz (1960) encontró, que cuando se utilizaba carbonato de magnesio como agente alcalinizante, se tenía una deficiencia de zinc, menor que si se utilizaba cualquier otro agente. (18 )

Resultados diversos han mostrado que el zinc es absorbido por los carbonatos de calcio y magnesio, se dice que este último y el zinc tienen casi el mismo radio iónico, es por eso que el zinc es absorbido en las superficies cristalinas de la magnesita en los lugares del retículo ocupado normalmente por los átomos de magnesio. (26 )

## 6. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE LOS ELEMENTOS EN EL SUELO.

### 6.1. pH del Suelo.

El pH del suelo tiene una importancia relevante en la asimilabilidad de los nutrientes y por lo tanto en el crecimiento de las plantas; basándose principalmente en el efecto directo e indirecto que tiene el ión hidrógeno en intervenir en las formas de interacción de los elementos. ( 5 )

El pH llega a influir de tal manera, que existe una clasificación de los suelos en base a él; los suelos ácidos, los cuales contienen mayor cantidad de iones de hidrógeno, y en suelos alcalinos, ricos en iones hidroxilos, pobre en hidrógenos. Los suelos agrícolas generalmente poseen pH's comprendidos en el rango de 4 a 10; el cual es factible para una buena asimilabilidad. ( 17 )

Si se analiza la disponibilidad o solubilidad de los nutrientes con respecto al pH se tiene:

- .- El molibdeno cuando se tiene pH bajo, forma con el fierro compuestos insolubles y queda en forma no disponible; esto es corregido cuando se aumenta el pH.
- .- El potasio es por lo general, más asimilable en suelos alcalinos (pH arriba de 6.0), al igual que el calcio y magnesio.  
( 26 )
- .- El hierro y manganeso disminuye su disponibilidad con altos pH's (arriba de 5.5 a 8.0). En cambio el fósforo y el boro tienden a ser inasimilables en pH's ácidos (abajo de 5.5), y pH's de 7.0 a 8.5
- .- El cobre y el zinc reducen su asimilabilidad tanto en sue-

los muy ácidos y muy alcalinos, el rango adecuado esta entre 5.0 a 7.0. (14)

.- Por lo que respecta al nitrógeno y el azufre tienen un aumento en su asimilabilidad en pH's fuertemente alcalinos. (pH's mayores de 5.0).

## 6.2. Materia Orgánica

En los suelos cultivados, la materia orgánica interviene especialmente en las propiedades físicas así como en las condiciones que rigen la nutrición de los vegetales. A medida que los cambios enzimáticos de la materia orgánica del suelo se producen, los productos simples comienzan a manifestarse libremente. Es especialmente  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

Los productos simples más comunes que resultan de la actividad de los microorganismos del suelo son:

Carbón - bióxido de carbono, carbonatos, ácido carbónico, metano, carbón mineral.

Nitrógeno - amonio, nitritos, óxido nítrico y nitrógeno gaseoso.

Azufre - sulfuro de hidrógeno, sulfitos y sulfatos.

Fósforo - ácido fosfórico.

Otros - agua, oxígeno, hidrógeno, potasio, calcio y magnesio.

Compuestos como el nitrógeno en forma de nitratos, se acumula sólo después que se haya alcanzado la máxima descomposición y los microorganismos han disminuido su número.

Muchos compuestos orgánicos, en especial los de naturaleza nitrogenada llevan azufre, que aparece en formas simples a medida que aumenta la descomposición.

Una gran proporción del fósforo del suelo es aportado en combinaciones orgánicas, por el ataque de microorganismos, los compuestos orgánicos del fósforo se mineralizan y así se cambian a formas inorgánicas. (5)

### 6.3.- Alcalinidad del Suelo

En suelos alcalinos con alto contenido de carbonato cálcico libre, existe una disminución en la actividad del fósforo. Los iones fosfato que entran en contacto con la fase sólida del carbonato cálcico son precipitados en la superficie de estas partículas. La etapa inicial de este proceso de fijación se considera que es un fenómeno de superficie. El depósito subsecuente puede ser del tipo de acción de masa la proporción de esta precipitación depende de la concentración de las sustancias reaccionantes en la solución del suelo. Considerando la naturaleza de la reacción, el producto final puede ser una sal de calcio insoluble, fósforo y quizá  $\text{CO}_3^{=}$  o  $\text{OH}^-$ .

Otro mecanismo que se considera responsable de la fijación del fósforo en los suelos alcalinos, es la retención del fosfato por las arcillas saturadas con calcio.

Otros estudios han mostrado que el zinc es absorbido por varias arcillas minerales y también por carbonato de calcio y

magnesio, por lo cual son observadas deficiencias de zinc en suelos calcáreos y en suelos ácidos con altas adiciones de cal. Se sugiere que la fuerte absorción del zinc en suelos minerales es en parte responsable a la baja solubilidad de este elemento. (26)

Las grandes dificultades experimentadas por las plantas en crecimiento en suelos alcalinos son una deficiente absorción de fierro, manganeso, boro y ocasionalmente otros elementos traza, y fosfatos entre otros, esto no es causado por una incapacidad de absorción de estos nutrientes en la solución del suelo a estos pH, ya que es causado, porqué, estos nutrientes están en forma insoluble y las raíces no pueden observarlas, también se presentan estos efectos perjudiciales en suelos ácidos arenosos, con un alto contenido de materia orgánica y abonados fuertemente con óxidos de calcio. (20)

En suelos calcáreos cuyo pH es mayor de 7.5, la deficiencia corresponde al hierro y al manganeso, siendo la causa un exceso de calcio. (24)

#### 7.- TECNICA DEL ELEMENTO FALTANTE.

La técnica consiste en evaluar el comportamiento de una planta en presencia de dos estados de fertilidad cuando al suelo han sido agregados todos los nutrimentos y cuando se han adicionado tipos de elementos excepto uno. (3)

En vista que en la técnica del elemento faltante se aplican todos los nutrientes menos el elemento en cuestión, este diseño se presenta para trabajar en el invernadero, donde el volumen de suelo utilizado es pequeño y las deficiencias nutricionales suelen aparecer con facilidad. Además se aplica muy bien a suelos pobres en donde las deficiencias y desbalances nutricionales también son comunes. (7)

Esta técnica tiene su fundamento en la "Ley del mínimo", descubierta por Sprengel y propagada por Von Liebig, hace más de un siglo. Esta ley no solo se aplica a los factores que afectan a la fertilidad, sino a todos los factores que intervienen en el crecimiento. Esta ley dice lo siguiente: "Una planta crecerá o producirá sólo hasta que el factor primario mas limitante lo permite" .

El uso de esta técnica, debe reconocerse que el crecimiento bajo condiciones de invernadero no es comparable con el crecimiento bajo condiciones de campo.

Cabe señalar que esta técnica considera únicamente requerimientos biológicos de las plantas, excluyendo factores económicos. ( 3 )

El uso de análisis de suelos como un medio para determinar el estado de fertilidad, en términos de disponibilidad adecuada o excesiva de los varios elementos presentes en el suelo para las plantas, esta basada en la teoría de que existen "ni-

veles críticos", en relación al relación al método analítico utilizado. Cuando el nivel de un elemento medio en el suelo es ta por debajo de este nivel crítico, el crecimiento de la plan ta estará restringido por el grado en que ese elemento se encuentre por debajo de dicho nivel.

El nivel crítico se define, para un nutriente dado y una parte de la planta, como la concentración a la cual la producción declina significativamente.

El nivel crítico se determina mejor a través del uso de soluciones nutritivas que permiten la adición de nutrientes en forma cuantitativa. Una vez que el nivel crítico se ha determi nado, conviene comprobarlo en el campo.

A causa de las características dinámicas del suelo, cuando se le agrega un material o elemento, éste estará sujeto a cambios físicos y biológicos debido al cambio de las reacciones que se llevan a cabo en su seno. Por esta razón es de espe rar que su disponibilidad para la planta varíe debido no solo a los elementos que ya se encontraban presentes. Por facilidad de expresión a este cambio o reactividad de los elementos será llamado en esta metodología "sorción".

Ya que la "sorción. afecta a la disponibilidad de los ele mentos para las plantas, es necesario disponer de medios para determinar la capacidad de sorción de los suelos, para los principales elementos nutritivos.

Estos estudios se llevan a cabo añadiendo al suelo, en una sola solución, distintas cantidades y niveles de nutrimentos. La cantidad de solución agregada debe ser suficiente para saturar completamente la muestra del suelo y dejar un ligero exceso cubriéndola, el recipiente que contiene la muestra se deja destapado hasta que esta se seque. Este sistema permite que los elementos reaccionen con el suelo bajo una condición de humedad hasta la sequedad, lo que reduce, es un corto período de tiempo las reacciones se llevan a cabo cuando esto sucede a nivel de campo.

El estudio de invernadero es, realmente un reconocimiento preliminar del estado de fertilidad del suelo por lo que un mínimo de 3 repeticiones son adecuadas para este fin.

El volumen de suelo requerido por maceta ha sido estudiado en rangos que varían desde 50 ml a 200 ml. Un volumen de 150 ml es adecuado para la prueba del elemento faltante. La población de plantas debe ser suficiente grande como para poner al suelo en un estado de sobrecarga de suministro de los distintos elementos. Un número adecuado para 150 ml de suelo, es de 5 a 6 plantas por vaso

Plantas de sorgo, arroz, trigo, girasol, maíz, rábano, nabo o tomate han sido usadas como plantas indicadoras en esta técnica el sorgo parece ser una de las mejores, siendo sensitiva a la mayoría de las deficiencias, crece rápido, tiene semillas pequeñas y crece bien en un amplio rango de condiciones

climáticas.

Cuando se usa un volumen pequeño de suelo, como 150 ml, en estudios de invernadero normalmente se dificulta el mantener adecuado sistema de irrigación, por lo que se utiliza el riego por capilaridad.

El sorgo generalmente adquiere el máximo crecimiento bajo estas condiciones, a las 4 o 5 semanas dependiendo de la temperatura y horas luz. Las plantas deben ser cosechadas tan pronto como las mejores plantas hayan detenido su crecimiento.

(7)

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el invernadero y el Laboratorio de Suelos de la F.A.U.A.N.L., utilizando para el mismo muestras de suelo de diferentes localidades de la zona norte del estado de Nuevo León, situado geográficamente entre las paralelas  $27^{\circ}50'$  y  $23^{\circ}06'$  de la latitud norte y los meridianos  $980^{\circ}17'$  y  $101^{\circ}07'$  de longitud oeste de Greenwich.

Este estudio es continuación de un trabajo de investigación de la línea de fertilización orgánica e inorgánica del Proyecto Fertilización Estatal, donde se emplea la misma metodología y se utilizaron diferentes suelos.

### 1.- Selección de los puntos a muestrear.

Para fines prácticos el estado de Nuevo León se dividió en tres zonas: zona norte, centro y sur; en las cuales existen diversos grados de fertilidad.

Para seleccionar los puntos a muestrear se utilizó el archivo del Laboratorio de Suelos de la F.A.U.A.N.L.

Los suelos de la zona norte del estado fueron seleccionados de acuerdo a la siguiente clasificación para diferentes grados de fertilidad.

Cuadro 2. Clasificación de los diferentes grados de fertilidad según el laboratorio de suelos de la F.A.U.A.N.L.

Grados de fertilidad	M.O. (%)	Fósforo (ppm)	Potasio (Kg/Ha)
Pobre	0.10 - 1.80	0 - 40	2.0 - 210
Medio	1.80 - 3.00	41 - 80	211.0 - 350
Rico	+ 3.00	81 ó más	+ 350

De cada zona y tipo de suelo se tomaron dos muestras mínimamente, con el fin de asegurar el gradiente de fertilidad . Las muestras se tomaron de tal manera que fueron representativas del área y profundidad a la cual es necesaria la información, en este caso a 30 cm de profundidad.

Se tomó un volumen aproximado de 16 litros de suelo, para cada muestra, pasada a través de un tamíz de 2 mm, para la técnica de diagnóstico. De cada localidad se tomó una submuestra representativa, para los análisis preliminares y estudio de sorción.

Siendo clasificadas las localidades de la zona norte del estado de la siguiente forma:

Grado de fertilidad	Localidades
Pobre	Dulces Nombres, Sta. Ma. La Floreña
Medio	La Reforma, Francisco Villa
Rico	Nuevo Repueblo, San Fernando

## 2.- Análisis preliminares de las muestras de suelo.

Las determinaciones realizadas y la metodología empleada para el análisis preliminar de las muestras del suelo se muestran en el siguiente cuadro.

Determinación	Metodología	
Color	Carta Munsell	(1)
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos	(1)
pH	Papel tornasol	(1)
Materia Orgánica	Walkley - Black	(1)
Nitrógeno	Nitratos	
Fósforo	Olsen con EDTA	(8)
Potasio	Olsen con EDTA	(8)
Fierro	Olsen con EDTA	(8)
Conductividad eléctrica	Puente de Wheatstone	(1)

Una vez efectuados los análisis preliminares de las muestras se procedió a seleccionar las localidades en ésta zona de acuerdo a su grado de fertilidad. Para seleccionar las localidades se buscó que coincidieran para cada grado de fertilidad, en el mayor número de características.

Cuadro 3. Agrupación de las localidades dentro de la zona norte del estado de Nuevo León.

Grado de fertilidad	Localidades
Pobre	Sta. Ma. La Floreña,
Medio	Francisco Villa
Rico	San Fernando

La ubicación geográfica de la zona norte del estado de Nuevo León de las localidades seleccionadas se muestran en la Figura 1.

### 3.- Estudio de "sorción" y selección de tratamientos.

Estos estudios se llevan a cabo añadiendo al suelo, distintas cantidades y niveles de nutrimentos. La cantidad de solución agregada es suficiente para saturar completamente la muestra del suelo. El recipiente que contiene la muestra se deja destapado hasta la sequedad, lo que tarda alrededor de 4 días.

Se preparó una solución B ( Ver Apéndice ), la cual contiene cierta concentración del elemento; se preparó una serie de 5 tratamientos para cada suelo como lo indica el Cuadro 3, por disolución de las cantidades indicadas es de la solución B en 100 ml.

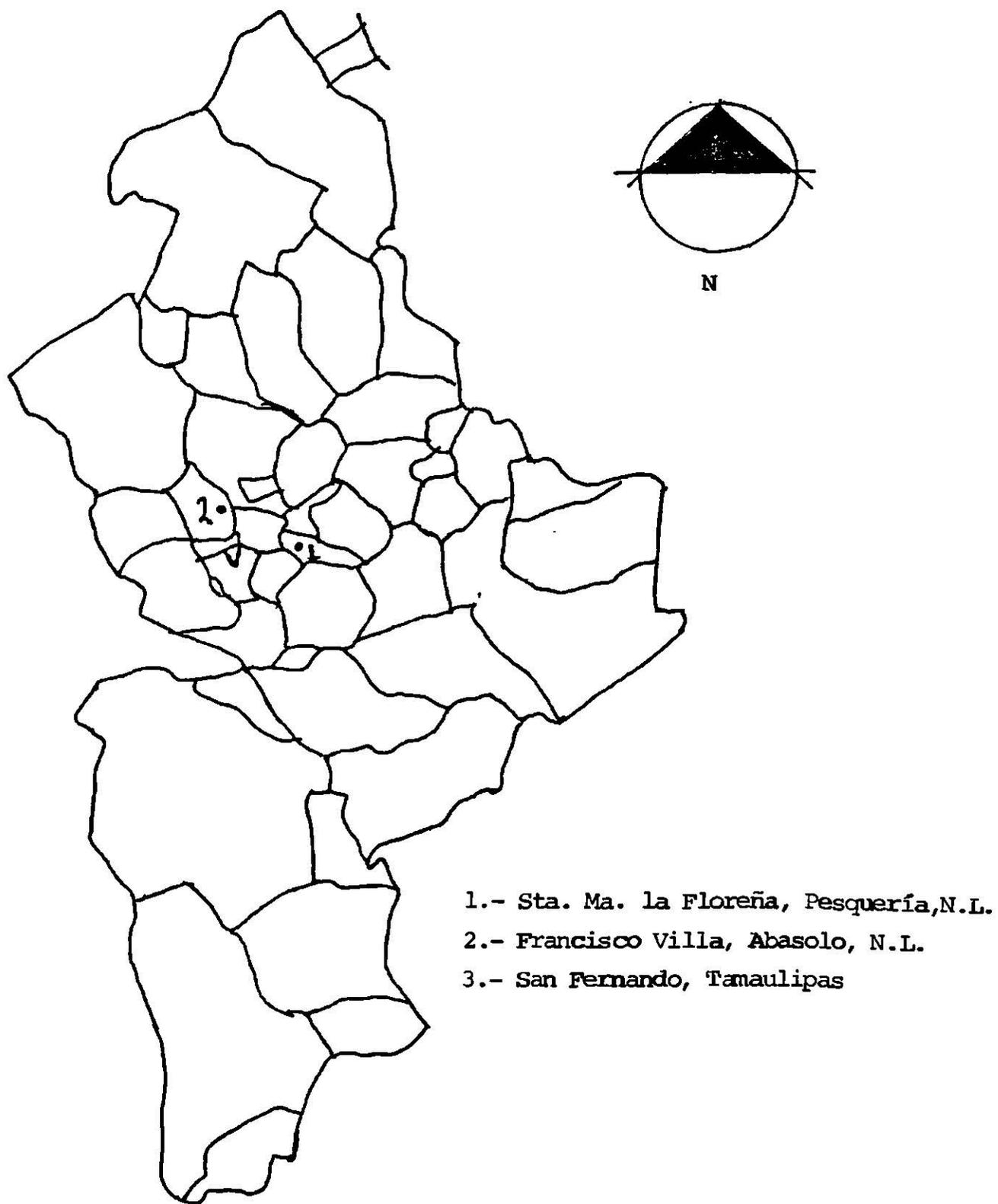


Figura 1. Ubicación de las localidades seleccionadas en la zona norte del estado de Nuevo León.

El estudio se llevó a cabo en frascos de reactivo de 125 ml, depositándose 2.5 g de suelo en cada frasco y se agrega 2.5 ml de cada tratamiento de "sorci3n", hasta completar los 5 tratamientos y adem1s un testigo en agua destilada.

Cuadro 4. Concentraciones utilizadas en los estudios de "sorci3n" para los elementos a probar.

Trata. de "sorci3n"	ml de sol'n B Nº diluidos a 100 ml	Concentraciones de elementos en la sol'n. de tratamientos de "sorci3n"				
		P	Cu	Mn	Zn	K
mg/litro de soluci3n						
1	5	35	2	5	4	4.30
2	10	70	4	10	8	8.60
3	20	140	8	20	16	17.59
4	40	280	16	40	32	25.19
5	80	560	32	80	64	70.38

Tambi3n se prepar3 una serie de 5 tratamientos de "sorci3n" para el azufre de una soluci3n C ( Ver Cuadro 9 del Ap3ndice) por diluci3n a 100 ml. los cuales se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 5. Cantidades de solución C y concentraciones del azufre para la preparación de los tratamientos de "sorci6n".

Trata. de "sorci6n"	ml de sol'n C Nº diluidos a 100 ml	Concentraci6n del elemento de los tratamientos de "sorci6n"	
		S	en mg/litro de soluci6n
1	1	10	
2	2	20	
3	5	20	
4	10	100	
5	20	200	

Despu6s de que las muestras se secaron al aire, se les agreg6 25 ml de la soluci6n extractora modificada de  $\text{NaHCO}_3$ , (Olsen modificado) y carb6n activado para obtener un filtrado cristalino; se agit6 durante diez minutos y se filtr6; del filtrado directo se determin6 Cu, Mn, Zn y K por absorci6n at6mica. El P se determin6 por calorimetría, el azufre mediante la soluci6n extractora  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en soluci6n mas  $\text{BaCl}$ , determinándose por turbidimetría.

Una vez obtenidas las concentraciones extraídas de los tratamientos de "sorci6n" de cada suelo, se construyeron gráficas de "sorci6n" para cada elemento colocando en el eje de las ordenadas la cantidad del elemento extraído y en el eje de la abcisa la cantidad del elemento agregado que es igual a la concentraci6n de las soluciones utilizadas en el trabajo de "sor-

ción". Estas curvas se utilizan para determinar la cantidad del elemento por agregar en el invernadero y además se obtiene la capacidad de fijación relativa (CFR) la cual se determina de la siguiente forma.

$$CFR = (1 - \beta_1) \times 100$$

Donde:

CFR = Capacidad de fijación relativa

$\beta_1$  = Pendiente de la curva de regresión lineal simple de sorción.

Estos resultados se utilizan para la interpretación de los resultados obtenidos en el invernadero. Y para la concentración de los tratamientos.

En este estudio de "sorción" no se incluyen el Fe y N; el fierro por esta técnica es difícil determinar la CFR por las reacciones del óxido-reducción que sufre el elemento al estar en contacto con el suelo, y el nitrógeno debido a que sus formas nítricas y amoniacales son sumamente móviles.

Se probaron cuatro niveles para cada uno de los tratamientos, siendo estos; ausencia, bajo, medio, alto. La cantidad a agregar fue obtenida de la concentración original de los suelos de las curvas de sorción.

Para encontrar la concentración de cada nivel se tomaron como base los niveles críticos propuestos en la metodología de

Díaz - Romeu y Hunter (1978) que son:

P 12 mg de P/litro.  
K 72 mg de K/litro.  
Mn 5 mg de Mn/litro.  
Cu 1 mg de Cu/litro.  
Zn 3 mg de Zn/litro.  
S 12 mg de S/litro.

Para el caso de N y Fe no se presentan niveles críticos específicos, sino las cantidades a probar según el contenido original de estos elementos en el suelo. Tomándose para el Fe el siguiente criterio, si la cantidad extraída de la muestra es menor a 10 mg de Fe/litro de suelo, se deberán agregar 20 mg de Fe/litro de suelo, para el caso del nitrógeno el criterio tomado fué el de que todos los suelos necesitan N además del que tienen, por lo cual este elemento se agrega una proporción de 50 mg de N/litro de suelo.

Para encontrar cada una de las concentraciones (niveles) de los elementos a probar, se consideró el nivel crítico como la concentración media. La concentración baja y alta se obtuvieron al restar y sumar el valor medio del nivel crítico.

Las concentraciones originales del suelo estaban por encima de los niveles propuestos y el objetivo es probar varios niveles de aplicación, se procedió a aumentar los niveles críticos. Para esto el nivel bajo se multiplicó por 3; al nivel medio por 6 y el nivel alto por 9.

Cuadro 6. Niveles a probar para cada elemento en ppm.

Elemento	niveles (ppm.)			
	ausencia	bajo	medio	alto
N	0	25.00	50.00	75.00
P	0	18.00	72.00	162.00
Mn	0	7.50	30.00	67.50
Cu	0	4.50	18.00	40.50
S	0	18.00	72.00	162.00
Fe	0	30.00	120.00	270.00

Una vez definidos los niveles, se determinaron los tratamientos de tal forma que para cada elemento se respetaba la concentración a probar y los demás elementos estuvieron presentes a un nivel medio.

Los tratamientos para cada tipo de suelo requerían de diferente concentración de cada elemento a determinado nivel; la aplicación se hizo para el suelo que requería mayor concentración del elemento en cada nivel en la solución o riego

Además se probaron un tratamiento óptimo y un testigo para cada tipo de suelo. El óptimo se obtuvo siguiendo el criterio de Díaz - Romeu y Hunter, el cual menciona que para formar el tratamiento óptimo es necesario aumentar tres veces el nivel crítico para cada elemento; aplicados en forma conjunta para cada suelo.

Cuadro 7. Niveles a probar de cada elemento puro en ppm.

Elemento	Niveles			
	ausencia	bajo	medio	alto
N	-	25.00	50.00	75.00
P	-	11.75	65.75	155.75
Mn	-	2.50	25.00	62.50
Zn	-	4.50	18.00	40.50
Cu	-	1.50	6.00	13.50
S	-	18.00	72.00	162.00
Fe	-	30.00	120.00	270.00

- No se aplicó el elemento.

Al testigo no se le aplicó ningún tratamiento solamente se mantuvo con agua destilada.

Una vez calculados los niveles de cada elemento puro en ppm, se determinaron los tratamientos a probar en gr/3 lt. del compuesto. (Ver Cuadro 8).

Cuadro. 8 Tratamiento a probar en gr/3 lt. del compuesto.

Nº de Tratam.	N	P	Mn	Zn	Cu	S	Fe
T-1	—	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-2	.0262	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-3	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-4	.0787	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-5	.0524	—	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-6	.0524	.0111	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-7	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-8	.0524	.1476	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-9	.0524	.0618	—	.0259	.0067	.0706	.0743
T-10	.0524	.0518	.00208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-11	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-12	.0524	.0618	.0520	.0259	.0067	.0706	.0743
T-13	.0524	.0618	.0208	—	.0067	.0706	.0743
T-14	.0524	.0618	.0208	.0064	.0067	.0706	.0743
T-15	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-16	.0524	.0618	.0208	.05827	.0067	.0706	.0743
T-17	.0524	.0618	.0208	.0259	—	.0706	.0743
T-18	.0524	.0618	.0208	.0259	.00167	.0706	.0743
T-19	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.0706	.0743
T-20	.0524	.0618	.0208	.0250	.01589	.0706	.0743
T-21	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	—	.0743
T-22	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.01765	.0743
T-23	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.07061	.0743
T-24	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.1588	.0743
T-25	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.07061	—
T-26	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.07061	.01859
T-27	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.07061	.0743
T-28	.0524	.0618	.0208	.0259	.0067	.07061	.16734
T-29	TESTIGO						
T-30	OPTIMO						

— = No se aplicó el elemento.

Las fuentes de los elementos en estudio, fueron de la mayor puerza química, para establecer las diferencias nutricionales por lo que fué necesario trabajar con fertilizantes químicamente puros.

Las fuentes para la preparación de las soluciones nutritivas son las siguientes :

Elemento	Fuente	Concentraciones del elemento (%)
N	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	34.99
P	$\text{H}_3\text{PO}_4$	31.60
Mn	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	27.76
Zn	$\text{ZnCl}_2$	47.97
Cu	$\text{CuCl}$	64.18
Fe	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20.66
S	$\text{H}_2\text{SO}_4$	32.69

4.- Demostración mediante técnicas de invernadero, del rango en que varios elementos limitan el crecimiento vegetativo.

Los tratamientos se probaron en los suelos seleccionados los cuales fueron implantados en vasos de frigolite de un volumen de 200 ml, utilizando 150 ml de suelo.

Se utilizó el riego por capilaridad, usándose un material hecho de tela compactada, insertada en el fondo del vaso apro-

ximadamente 3.5 cm.

Los recipientes para las soluciones eran de plástico, de una profundidad de 15 cm y con suficiente área para colocar sobre ellos 9 vasos. Los vasos eran sostenidos sobre una malla de acero inoxidable, que estaba ensamblada sobre el recipiente que contenía la solución nutritiva. Cada recipiente contenía un elemento y un nivel determinado.

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar, y los tratamientos se generaron a partir de un diseño factorial mixto 3 X 4 X 7, más un óptimo y un testigo; donde 3 es el tipo de suelo; 4 los niveles del elemento y 7 el número de los elementos a probar.

El croquis del experimento se muestra en la Figura N<sup>o</sup> 2

El modelo estadístico utilizado cuando se consideró a testigos y óptimos fué el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + E_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, 30$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es la observación del  $i$ -ésimo tratamiento y  $j$ -ésima repetición.

$M$  = media general

$T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$E_{ij}$  = error de la parcela del  $i$ -ésimo tratamiento y la  $j$ -ésima repetición.

## CONCENTRACION DEL ELEMENTO

	ausencia	baja	media	alta	E L E M E N T O  A  P R O B A R  E N  C A D A  S U E L O  D E  L A	Z O N A  N O R T E  D E L  E S T A D O  D E  N U E V O  L E O N
N	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III		
P	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III		
Mn	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III		
Zn	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III		
Cu	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III		
Fe	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III		
S	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III	P I II III M I II III R I II III		
		P I II III M I II III R I II III		P I II III M I II III R I II III		

P= suelo pobre M= suelo medio R= suelo rico

I, II, III= repeticiones por tipo de suelo.

Figura 2 Croquis del experimento para los suelos de estudio en la zona norte del estado de Nuevo León.

Para el caso de considerar la estructura factorial de los tratamientos (omitiendo testigos y óptimos) el modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = M + S_i + N_j + L_k + (SN)_{ij} + (SL)_{ik} + (NL)_{jk} + (SNL)_{ijk} + E_{ijkl}$$

$S = 1, 2, 3.$  (suelo)

$N = 1, 2, 3, 4.$  (Nivel)

$L = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.$  (Elemento)

Donde:

$M =$  media general

$S_i =$  efecto del  $i$ -ésimo suelo

$N_j =$  efecto del  $j$ -ésimo nivel ,

$L_k =$  efecto del  $k$ -ésimo elemento

$(SN)_{ij} =$  efecto de la interacción del  $i$ -ésimo suelo con  $j$ -ésimo nivel.

$(SL)_{ik} =$  efecto de la interacción del  $i$ -ésimo suelo con  $k$ -ésimo elemento.

$(NL)_{jk} =$  efecto de la interacción del  $j$ -ésimo nivel

$(SNL)_{ijk} =$  Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo suelo con  $j$ -ésimo nivel de  $k$ -ésimo elemento.

$E_{ijkl} =$  error experimental del  $i$ -ésimo suelo,  $j$ -ésimo nivel y  $k$ -ésimo elemento.

El cultivo utilizado fue el sorgo (Sorghum bicolor M.); usando la semilla de la línea LES 99R de la F.A.U.A.N.L., se utilizó esta planta por ser sensitiva a la mayoría de las deficiencias tiene semilla pequeña, y crece rápido y bien en un am

plio rango de condiciones climáticas.

La siembra para el establecimiento de este experimento se realizó, el 26 de febrero de 1986, colocando 10 semillas por vaso. El 8 de marzo se realizó el aclareo del sorgo dejando 5 plantas por vaso. Las charolas se aleatorizaron dentro de la mesa en cada aplicación de los tratamientos.

Las plantas se cosecharon por encima de la superficie del suelo a los 48 días después de la siembra. Se tomaron las siguientes observaciones a la cosecha:

- Altura de planta
- Diámetro de tallo
- Rendimiento de materia seca.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El experimento fue analizado como diseño completamente al azar (sin considerar la estructura factorial), con el objetivo de observar cuales fueron los mejores tratamientos para cada tipo de suelo, además de observar la respuesta a los tratamientos óptimo y testigo. Posteriormente, con un arreglo factorial con el objetivo de observar las interacciones existentes entre los factores elemento - nivel - suelo, si es que se presentaron.

### 1.- Diseño completamente al azar (sin estructura factorial):

En los resultados obtenidos de su ANVA, se encontró diferencia significativa y altamente significativa para los tratamientos en cada variable, por lo que se realizaron comparaciones de medias mediante Tukey con  $\alpha$  0.05.

1.1.- Localidad Santa María La Floreña: en esta localidad considerada como suelo pobre, se encontró diferencia altamente significativa para la variable altura de planta, sin embargo la comparación de medias de Tukey muestra que los tratamientos probados son iguales estadísticamente (Ver Cuadro 12 y 14 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca, se encontró diferencia altamente significativa, siendo los mejores trata-

mientos: fósforo en el nivel bajo con 0.70 grs; óptimo con 0.67 grs y manganeso en el nivel bajo con 0.66 grs, los cuales son estadísticamente iguales y diferentes al nitrógeno en el nivel bajo con 0.33 grs y el testigo con 0.28 grs, siendo los tratamientos de menor rendimiento. (Ver Cuadro 13 y 15 del Apéndice).

En forma general, para la localidad Santa Ma. la Floreña, considerando solo las variables altura de planta y rendimiento de materia seca, que es donde se presentó una diferencia altamente significativa, pero que no existe diferencia entre sus medias, por lo que es probable que no exista una respuesta del suelo a la aplicación de los elementos probados.

Otro factor por el cual no se obtuvo una respuesta notable, es tal vez por efecto del pH, que dado que es alcalino (8), se presentan problemas en la asimilación de microelementos.

1.2 Localidad Francisco Villa: esta localidad corresponde al suelo medio, la variable altura de planta presentó diferencia significativa, los mejores tratamientos fueron: el óptimo con 28.23 cm, fierro en el nivel bajo con 27.90 cm, cobre en el nivel medio con 27.45 cm y manganeso en el nivel alto con 27.35 cm, son estadísticamente iguales con  $\alpha$  0.05 y diferentes al fósforo en el nivel ausencia con 22.38 cm y el testigo con 21.90 cm, que son las medias mas bajas. (Ver Cuadro 16 y 18 del Apéndice).

En el rendimiento de materia seca, resultó altamente significativo, siendo los mejores tratamientos; manganeso en el nivel alto con 0.96 grs, óptimo con 0.92 grs; cobre en el nivel alto con 0.81 grs y fierro en el nivel ausencia con 0.81 grs, son estadísticamente iguales con  $\alpha$  0.05 y diferentes al cobre en el nivel bajo con 0.57 grs; fósforo en el nivel ausencia con 0.55 grs; fierro en el nivel medio con 0.49 grs y el testigo con 0.40 grs que son los tratamientos de menor rendimiento (Ver Cuadro 17 y 19 del Apéndice).

En forma general para la localidad Francisco Villa considerando las variables altura de planta y rendimiento de materia seca, que fueron las variables en que se obtuvieron diferencias altamente significativas, sin embargo con la prueba de medias no se obtuvo diferencia en los tratamientos probados; ésto debido a un efecto adverso del suelo que presentó un pH alcalino (7.9) y alto nivel de carbonatos (22.79%) que pudieron influir negativamente sobre los tratamientos.

1.3 Localidad San Fernando: esta localidad clasificada como suelo rico; para la variable diámetro de tallo resultó diferencia altamente significativa, siendo los mejores tratamientos; zinc en el nivel medio con 0.20 cm; manganeso en su nivel alto con 0.22 cm; nitrógeno en su nivel medio con 0.20 y azufre en su nivel medio con 0.20 cm siendo estadísticamente iguales con  $\alpha$  0.05 y diferentes al fierro en su nivel medio con 0.14 cm; cobre en su nivel medio con 0.13 cm; testigo con 0.13

cm y fósforo en su nivel ausencia con 0.11 cm que fueron las medias mas bajas. (Ver Cuadro 22 y 25 del Apéndice).

En la variable altura de planta se encontró diferencia altamente significativa, siendo los mejores tratamientos, nitrógeno en el nivel alto con 43.09 cm; manganeso en su nivel alto con 42.67 cm; fierro en el nivel alto con 42.55 cm y cobre en el nivel alto con 42.34 cm, siendo estadísticamente iguales con  $\alpha$  0.05 y diferentes al fósforo en el nivel ausencia con 29.29 cm y al testigo con 28.15 cm que fueron las medias de menor altura. (Ver Cuadro 20 y 23 del Apéndice).

En la variable rendimiento de materia seca, se encontró diferencia altamente significativa, los mejores tratamientos fueron: fósforo en el nivel medio con 1.65 grs; manganeso en el nivel alto con 1.61 grs; zinc en el nivel ausencia con 1.48 grs y nitrógeno en el nivel alto con 1.47 grs, siendo estadísticamente iguales con  $\alpha$  0.05 y diferentes al fierro en el nivel medio con 0.87 grs; manganeso en el nivel bajo con 0.79; fósforo en el nivel ausencia con 0.73 grs y el testigo con 0.63 grs, que fueron los tratamientos de mayor rendimiento. (Ver Cuadro 21 y 24 del Apéndice).

En forma general para la localidad San Fernando, considerando la variable diámetro de tallo, que presentó diferencia altamente significativa, pero que aún y cuando en la prueba de medias dió diferencia para con los tratamientos cobre a nivel

medio, testigo y fósforo en ausencia, no puede decirse que los otros tratamientos algunos hayan sobresalido por su propio efecto.

Lo mismo puede decirse para la variable altura de planta en la cual hubo diferencia de media para con el testigo y fósforo en ausencia, así como para la variable materia seca.

Todo lo anterior fué debido tal vez a una falta de respuesta a la aplicación de elementos por ser un suelo fértil y/o a que los coeficientes de fijación relativa fueron altos para los elementos probados en cuestión.

## 2.- Arreglo Factorial

Los tratamientos fueron estudiados dentro de un arreglo factorial mixto 3 X 4 X 7, donde 3 es el tipo de suelo, 4 los niveles de los elementos y 7 los elementos.

2.1.- Suelo: para las variables estudiadas resultó altamente significativa donde el suelo rico (San Fernando) presentó las medias mas altas, después el suelo medio (Francisco Villa) y el suelo pobre (Sta. Ma. La Floreña) presentó las medias mas bajos.

## 2.2 Interacción suelo-elemento

### Elemento Nitrógeno

Para el elemento nitrógeno en la variable altura de planta por localidad, existió diferencia altamente significativa así como diferencia en la prueba de medias, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a San Fernando, presentando un C.V. de 8,87%. No existió interacción entre la localidad-elemento- altura de planta (Ver Cuadro 26 y 27 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca por localidad, existió diferencia altamente significativa, así como una diferencia en la prueba de materia del suelo rico con respecto al suelo medio y al suelo pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad San Fernando, presentando un C.V. de 22.85. No existió interacción entre localidad-elemento-rendimiento de materia seca (Ver Cuadro 28 y 29 del Apéndice).

Para la variable diámetro de tallo por localidad, existió diferencia altamente significativa en los análisis de varianza sin embargo con la prueba de medias no se obtuvo diferencia en las localidades con respecto al elemento nitrógeno. El C.V. fue de 22.58, no existiendo interacción entre localidad-elemento-diámetro de tallo. (Ver Cuadro 30 y 31 del Apéndice).

### Elemento Fósforo

Para el elemento fósforo en la variable altura de planta por localidad, existió diferencia altamente significativa así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto al suelo medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad de San Fernando que presentó un C.V. de 14.12. No existió interacción entre localidad-elemento-altura de planta. (Ver Cuadro 32 y 33 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca por localidad, existió diferencia altamente significativa, así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto a los suelos medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad de San Fernando, la cual presentó un C.V. de 32.92. No existió interacción entre localidad-elemento-rendimiento de materia seca. (Ver Cuadro 34 y 35 del Apéndice).

Para la variable diámetro de tallo por localidad, existió diferencia altamente significativa, así como diferencia en la prueba de medias, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a San Fernando, presentando un C.V. de 24.32. No existió interacción entre localidad-elemento-diámetro de tallo. (Ver Cuadro 36 y 37 del Apéndice).

### Elemento Manganeso

Para el elemento manganeso en la variable altura de plan-

ta por localidad, existió diferencia altamente significativa, así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto a los suelos medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad San Fernando, presentando un C.V. de 11.73. No existió interacción entre localidad-elemento-altura de planta (Ver Cuadro 38 y 39 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca por localidad, existió diferencia altamente significativa, no existiendo diferencia en la prueba de medias para las localidades del suelo rico y medio, pero si para con el suelo pobre, presentando un C.V. de 31.32 . No existió interacción entre localidad-elemento-rendimiento de materia seca. (Ver Cuadro 40 y 41 del (Apéndice)).

Para la variable diámetro de tallo por localidad existió diferencia altamente significativa en los análisis de varianza, sin embargo con la prueba de medias no se obtuvo diferencia en las localidades con respecto al elemento manganeso. No existió interacción entre localidad-elemento-diámetro de tallo. (Ver Cuadro 42 y 43 del Apéndice).

#### Elemento Zinc

Para el elemento zinc en la variable altura de planta por localidad existió diferencia altamente significativa, así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con res-

pecto al suelo medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad San Fernando, presentando un C.V. de 10.31. No existió interacción entre lo calidad-elemento-altura de planta. (Ver Cuadro 44 y 45 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca por localidad, existió diferencia altamente significativa así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto al suelo medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad de San Fernando, presentando un C.V. de 25.23. No existió interacción entre localidad-elemento-altura de planta. (Ver Cuadro 46 y 47 del Apéndice).

Para la variable diámetro de tallo por localidad, existió diferencia significativa en los análisis de varianza, sin embargo en la prueba de medias no se obtuvo diferencia en las localidades con respecto al elemento zinc. No existió interacción entre localidad-elemento-diámetro de tallo. (Ver Cuadro 48 y 49 del Apéndice).

#### Elemento cobre

Para el elemento cobre en la variable altura de planta por localidad, existió diferencia altamente significativa así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto al suelo medio y al suelo pobre, obteniéndose la me-

por respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad de San Fernando , presentando un C.V. de 12.80 . No existió interacción entre localidad-elemento-altura de planta. (Ver Cuadro 50 y 51 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca por localidad, existió diferencia altamente significativa así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto al suelo medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad de San Fernando, presentando un C.V. de 17.45 . No hubo interacción entre localidad-elemento-rendimiento de materia seca. (Ver Cuadro 52 y 53 del Apéndice).

Para la variable diámetro de tallo por localidad, existió diferencia altamente significativa en los análisis de varianza, sin embargo con la prueba de medias no se obtuvo diferencia en las localidades. No existió diferencia entre localidad-elemento-diámetro de tallo. (Ver Cuadro 54 y 55 del Apéndice).

#### Elemento Azufre

Para el elemento azufre en la variable altura de planta por localidad, existió diferencia altamente significativa, así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto al suelo medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad de San Fer

nando, presentando un C.V. de 9.57. No existió interacción entre localidad-elemento-altura de planta. (Ver Cuadro 56 y 57 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca por localidad, existió diferencia altamente significativa, así como una diferencia en la prueba de medias del suelo rico con respecto al suelo medio y pobre, obteniéndose la mejor respuesta en el suelo rico que corresponde a la localidad de San Fernando, presentando un C.V. de 23.63. No existió interacción entre localidad-elemento-rendimiento de materia seca. (Ver Cuadro 58 y 59 del Apéndice).

Para la variable diámetro de tallo por localidad, no existió diferencia estadísticamente significativa en los análisis de varianza ni presentó diferencia en la prueba de medias en las tres localidades. No existió interacción entre localidad-elemento-diámetro de tallo. (Ver Cuadro 60 y 61 del Apéndice).

#### Elemento Fierro

Para la variable altura de planta por localidad no existió diferencia significativa entre las tres localidades, sin embargo presentó una interacción entre localidad-elemento-altura de planta, realizándose la prueba de medias en la cual la mejor localidad fué San Fernando, presentándose un C.V. de 15.72. (Ver Cuadro 62 y 63 del Apéndice).

Para la variable rendimiento de materia seca por localidad existió diferencia altamente significativa, no existiendo diferencia en la prueba de medias entre las localidades del suelo rico y medio, pero si para el suelo pobre, presentando un C.V. de 31.26. No existió interacción entre localidad-elemento-rendimiento de materia seca. (Ver Cuadro 64 y 65 del Apéndice).

Para la variable diámetro de tallo por localidad, no existió diferencia estadísticamente significativa en los análisis de varianza, tampoco existió diferencia en la prueba de medias en las tres localidades. No existió interacción entre localidad-elemento-diámetro de tallo. (Ver Cuadro 66 y 67 del Apéndice).

En una forma general los coeficientes de variación se presentaron a niveles normales siendo solo los elementos azufre y fierro para la variable diámetro de tallo y fierro para la variable altura de planta no presentó diferencia estadística por localidad, tal vez debido a que no existe una respuesta adecuada a la aplicación de estos elementos con respecto a esta variable. Así mismo se presentó solo una interacción entre localidad-fierro-altura de planta, tal vez debido a que la localidad de San Fernando que corresponde a suelo rico tiene una gran capacidad de respuesta a las aplicaciones de dicho elemento, dado que la prueba de medias así lo manifiesta.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este experimento se puede concluir lo siguiente.

1. Los tratamientos mostraron diferencia estadística altamente significativa en el diseño completamente al azar, con el arreglo factorial los efectos: suelo, suelo-elemento, mostraron significancia estadística
2. Los tratamientos de cada localidad para las variables estudiadas, de forma general quedaron divididas en tres diferentes grados de respuesta a la aplicación de nutrientes, los que mostraron la mejor respuesta fué el suelo rico con una respuesta regular el suelo medio y finalmente con una respuesta muy baja el suelo pobre.
3. En el diseño completamente al azar considerando la localidad Santa María la Floreña y la variable altura de planta, se encontró diferencia altamente significativa sin embargo la respuesta a los tratamientos probados estadísticamente son iguales.
4. Para la localidad Santa María La Floreña considerando la variable rendimiento de materia seca, se encontró diferencia altamente significativa, siendo los mejores tratamientos: fósforo en el nivel bajo con 0.70 grs; óptimo con 0.67 grs y manganeso en el nivel bajo con 0.66 grs los cuales son estadísticamente iguales y diferentes al nitrógeno

en el nivel bajo con 0.33 grs y el testigo con 0.28 grs siendo los tratamientos de menor rendimiento.

5. Para la localidad Francisco Villa que corresponde al suelo medio, considerando la variable altura de planta se encontró diferencia significativa, siendo los mejores tratamientos: el óptimo con 28.23 cm, fierro en el nivel bajo con 27.90 cm y cobre en el nivel medio con 27.45 cm, los cuales son estadísticamente iguales, y diferentes al fósforo en el nivel ausencia con 22.38 cm y el testigo con 21.90 cm que son las medias mas bajas.
6. Para la localidad Francisco Villa considerando, la variable rendimiento de materia seca, se encontró diferencia altamente significativa, siendo los mejores tratamientos: Manganeso en el nivel alto con 0.96 grs., óptimo con 0.92 grs, cobre en el nivel alto con 0.81 grs y fierro en el nivel ausencia con 0.81 grs los cuales son estadísticamente iguales, y diferentes al cobre en el nivel bajo con 0.57 grs, fósforo en el nivel ausencia con 0.55 grs, fierro en el nivel medio con 0.49 grs y el testigo con 0.40 grs que son los tratamientos de menor rendimiento.
7. Para la localidad de San Fernando que corresponde al suelo rico, considerando la variable altura de planta se encontró diferencia significativa siendo los mejores tratamientos: Nitrógeno en el nivel alto con 43.09 cm, manganeso en su nivel alto con 42.67 cm, fierro en el nivel alto con 42.55 cm, y cobre en el nivel alto con 42.34 cm, siendo es

estadísticamente iguales, y diferentes al fósforo en el nivel ausencia con 29.29 cm y al testigo con 28.15 cm, que fueron las medias de menor altura.

8. Para la localidad de San Fernando considerando la variable rendimiento de materia seca, se encontró diferencia altamente significativa, siendo los mejores tratamientos: Fósforo en el nivel medio con 1.65 grs, manganeso en el nivel alto con 1.61 grs y zinc en el nivel ausencia con 1.48 grs siendo estadísticamente iguales, y diferentes al fierro en el nivel medio con 0.87 grs., manganeso en el nivel bajo con 0.79 grs., fósforo en el nivel ausencia con 0.73 grs., y el testigo con 0.63 grs que fueron los tratamientos de menor rendimiento.
9. Para la localidad de San Fernando considerando la variable diámetro de tallo se encontró diferencia altamente significativa, siendo los mejores tratamientos: Zinc en el nivel medio con 0.24 cm, manganeso en el nivel alto con 0.22 cm, nitrógeno en el nivel medio con 0.20 cm, y azufre en el nivel medio con 0.20 cm, siendo estadísticamente iguales, y diferentes al fierro en el nivel medio con 0.14 cm, cobre en el nivel medio con 0.13 cm, testigo con 0.13 cm y fósforo en su nivel ausencia 0.11 cm que fueron las medias más bajas.
10. En la interacción suelo-elemento, considerando la variable diámetro de tallo se puede observar que la localidad San

Fernando fué donde se obtuvo los valores mas altos con el nitrógeno, manganeso y zinc con una media de .17 cm, para el suelo medio que corresponde a la localidad de Francisco Villa, el zinc presentó los valores mas altos con .15 cm y para el suelo pobre que corresponde a Santa María La Floreña el manganeso con .13 cm fueron las medias mas altas. Para el suelo rico el cobre con .16 cm, para el suelo medio el nitrógeno, manganeso y cobre con .14 cm, y para el suelo pobre el nitrógeno con .11 cm fueron las medias mas bajas.

11. Dentro de la interacción suelo-elemento considerando la variable altura de planta, el suelo rico que corresponde a San Fernando fué donde se presentaron las medias más altas siendo el nitrógeno con 40.66 cm y azufre con 40.42 cm , para el suelo medio que corresponde a Francisco Villa el cobre con 26.14 cm y el fierro con 25.90 cm y para el suelo pobre que corresponde a Santa María la Floreña el fierro con 22.04 cm y zinc con 21.83 cm fueron las medias mas altas. Las medias de menor altura fueron manganeso con 36.30 cm para San Fernando, fósforo con 24.47 para Francisco Villa y para Santa María la Floreña fué el nitrógeno con 20.25 cm.
12. Dentro de la interacción suelo-elemento considerando la variable de materia seca, en el suelo rico donde se obtuvieron las medias mas altas siendo el nitrógeno con 1.37 grs

y el cobre con 1.32 grs., para el suelo medio el zinc con .76 grs y manganeso con .73 grs y para el suelo pobre el manganeso con .53 grs., el zinc y fierro con .52 grs fueron las medias mas altas. Las medias más bajas fueron para San Fernando el fierro con 1.15 grs, para Francisco Villa el fósforo con .65 grs, y para Santa María La Floreña el nitrógeno con .44 grs.

## RECOMENDACIONES

1. Probar este mismo experimento con otros tipos de suelos y algún otro cultivo.
2. Realizar un estudio acerca de la aplicación de elementos en la variable diámetro de tallo, así como para otros cultivos ya que no existió gran respuesta.
3. Realizar este experimento a nivel de campo y correlacionar los resultados obtenidos en el invernadero y de el campo, de acuerdo a la respuesta de cada elemento, para recomen-  
dar la aplicación de fertilizantes en los suelos de la zona norte del Estado de Nuevo León.
4. Evitar el uso de cloruros en la preparación de soluciones nutritivas, porque el uso excesivo de cloruros puede favo-  
recer la solubilidad de otros elementos y con esto causar síntomas de toxicidad, anulando el posible efecto de los tratamientos.
5. Efectuar los análisis foliares del presente experimento, para explicar de la mejor forma los efectos de los trata-  
mientos.

## RESUMEN

Con la finalidad de fundamentar un programa de evaluación y mejoramiento de la fertilidad de los suelos en el estado de Nuevo León se realizó el presente trabajo, en el invernadero y en el laboratorio de suelos de la F.A.U.AN.L., utilizando muestras de suelo de diferentes localidades. Siendo clasificados de acuerdo a su grado de fertilidad como suelo pobre, medio y rico.

Se estudiaron siete elementos los cuales fueron: nitrógeno, fósforo, manganeso, zinc, cobre, azufre y fierro: probándose cuatro niveles para cada uno de los elementos, siendo estos ausencia, bajo, medio y alto, además de estos tratamientos se probaron un óptimo y un testigo.

El cultivo utilizado fué el sorgo (Sorghum bicolor M.) usando la líneas LES 99R. Esta planta fué utilizada como planta indicadora, ya que es muy sensitiva a la mayoría de las deficiencias.

El 26 de febrero se realizó la siembra en forma directa y después se aclareó dejando 5 plantas por vaso, a los 48 días después de la siembra se cosecharon, tomándose las siguientes observaciones: diámetro de tallo, altura de plantas, rendimiento de materia seca.

El diseño experimental fué un completamente al azar, con

arreglo factorial mixto 3 X 4 X 7, con tres repeticiones, donde 3 es el tipo de suelo, 4 los niveles de los elementos y 7 el número de elementos probados, más testigo y óptimo.

En el diseño completamente al azar los tratamientos mostraron diferencia altamente significativa en las variables diámetro de tallo, altura de planta y rendimiento de materia seca. Considerando el arreglo factorial, la interacción suelo-elemento fue la única que presentó diferencia estadística.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Aguirre Cossio, J.E. 1982. Prácticas de campo y laboratorio para análisis de suelos. F.A.U.A.N.L. Monte rrey, N.L.
- 2.- Allison L.E. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa México.
- 3.- Anónimo. 1980. Evaluación de la fertilidad de un suelo a través del método del elemento faltante. Departamento de producción vegetal. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- 4.- Bowen. E.J. y Kratky, B.A. 1983. Micronutrientes, causas de deficiencias y toxicidad. Agricultura de las Américas.
- 5.- Buckman, H. y Brady, N. 1970 .Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial MONTANER y SIMON, S.A. Bar celona.
- 6.- Devlin, M.R. 1980. Fisiología vegetal. Ediciones OMEGA, S.A. Barcelona.
- 7.- Díaz Romeu, R., Rodríguez Fuentes H. , y Vega G.C. 1984. Técnicas de laboratorio e invernadero para evaluar la fertilidad de un suelo mediante el método del elemento faltante y/o aditivo. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- 8.- Díaz Romeu, R. y A. Hunter, 1978. Metodologías de muestreos de suelos, análisis químico de suelos y tejidos vegetales y de investigaciones en el invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- 9.- Fitz Patrick, E. 1978. Suelos, su formación, clasificación y distribución. Editorial Continental México.
- 10.- Fuenmayor, E y Cuevas, I. 1983. Evaluación de la fertilidad de un suelo ultisol por la técnica del elemento faltante y/o aditivo. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- 11.- Gaucher, G. 1971. Tratado de pedología agrícola, el suelo y sus características agronómicas. Ediciones OMEGA, S.A. Casanova, Barcelona.
- 12.- García Fernández, José. 1982. Edafología y fertilización Agrícola. Editorial Aedos, Barcelona.
- 13.- Gros Andre, 1966. Abonos, guía práctica de la fertilización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- 14.- Jacob, A, y H.V. Vexhull, 1973 Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales 4a. Edición. Editorial EURAM, México
- 15.- James, B. y A.W. Galston. 1970. Principios de Fisiología vegetal. 5a. edición. Editorial AGUILAR, S.A. Madrid.
- 16.- Mazleak, P. 1976. Fisiología vegetal, nutrición y metabolismo. Ediciones OMEGA, S.A. Barcelona.
- 17.- Millar, E.C. Turk, L.M. y Foth H.D. 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial CECSA. México.
- 18.- Mortverdt, J.J., P.M. Giordano y W.L. Lindsay. 1983. Micro nutrientes en agricultura. Editorial AGT EDITOR, S.A. México, D.F.

- 19.- Reyes E.A.S. 1980. Efecto de la relación Fe/Mn sobre la sintomatología, contenidos nutrimentales, de clorofila de AAL, catalasa y peroxidasa en la vid (Vitis vinifera)c.v. malaga roja. Tesis. C.P. Chapingo México
- 20.- Rusell, W.E. y E.J. Rusell 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Editorial AGUILAR, S.A. Madrid.
- 21.- Sutte, John W. 1979. Fundamentos de bioquímica 2a. Edición. Editorial Interamericana México.
- 22.- Schutte, H.K. 1966. Biología de los microelementos y sus funciones. Editorial TECNOS, S.A. Madrid .
- 23.- Stallings J.H. 1980. El suelo su uso y mejoramiento. 4a. Edición. Editorial Continental México.
- 24.- Teuscher, H.y R. Ader. 1984. El suelo y su fertilidad. 82. Edición. Editorial CECSA.
- 25.- Thompson, M.L. 1966. El suelo y su fertilidad. 3a. Edición. Editorial Reverté, S.A. México.
- 26.- Tisdale, L.S. y W. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial UTHEA. México.
- 27.- Villarreal A.M.J. 1979. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, zinc, manganeso y hierro en los suelos de Cd. Serdán, Puebla bajo condiciones de campo e invernadero. Tesis. C.P. Chapingo, México.
- 28.- Walker, L.J. y W. Bejarano. 1975. Uso práctico de los modelos discontinuos para interpretación rápida de

la respuesta de cultivos a la aplicación de ferti  
lizantes. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

**A P E N D I C E**

Cuadro 9.- Preparación de las soluciones por los estudios de "sorci6n".

---

Soluci6n A

- 1.- Disolver 7.20 grs de cloruro de manganeso ( $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ) en 200 ml de agua destilada.
- 2.- Disolver 2.14 grs de cloruro de cobre ( $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ ) en 200 ml de agua destilada.
- 3.- Disolver 3.34 grs de cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ) en 200 ml de agua destilada.
- 4.- Mezclar las 3 soluciones anteriores y completar a un volumen de un litro.

Soluci6n B

- 1.- Disolver 6.15 grs de fosfato de potasio ( $KH_2PO_4$ ) en 1500 ml de agua destilada.
- 2.- Agregar 100 ml de soluci6n A al bal6n aforado con la soluci6n de  $KH_2PO_4$  y completar el volumen hasta dos litros.

Soluci6n C

- 1.- Disolver 5.44 grs de sulfato de potasio ( $KS_4$ ) en 500 ml de agua destilada y completar a un volumen de un litro.
-

Cuadro 10. Resultados obtenidos en los análisis preliminares.

	San Fernando	Fco. Villa	Sta.Ma. la Floreña
Color	Café obscuro	Café grisáceo	Café grisáceo
pH	7.5	7.9	8.0
Textura	migajón arcillo arenoso	arcilloso	migajón arenoso
M.O. (%)	2.9 %	1.1 %	1.0 %
C.E.	.56 mmhos/cm	.7 mmhos/cm	.7

Cuadro 11. Capacidad de fijación relativa (%) en los suelos bajo estudio.

Localidad	Elemento	CFR
San Fernando	P	78.28 %
	Zn	90.84 %
	Mn	33.67 %
Francisco Villa	P	93.74 %
	Zn	96.19 %
	Mn	98.06 %
Sta. Ma. la Floreña	P	81.43 %
	Zn	93.73 %
	Mn	93.06 %

Cuadro 12 . Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable altura de planta de la localidad Sta. Ma. la Floreña, sin considerar el arreglo factorial.

F.V.	GL	SC	CM	Fcalc.
Tratamiento	29	306.023	10.553	1.689 **
Error	59	368.649	6.248	
Total	88	674.672		

C.V. = 11.8240

Cuadro 13 Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable rendimiento de materia seca en la localidad Sta. Ma. la Floreña, sin considerar el arreglo factorial.

F.V.	GL	SC	CM	Fcalc.
Tratamiento	29	0.936	0.032	2.157 **
Error	59	0.883	0.015	
Total	88	1.818		

C.V. = 24.9947

Cuadro 14 Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta de la localidad Sta. Ma. la Floreña.

Num. de Orden	-	Tratamientos	-	Media	$\alpha$ 0.05
1	-	25	Fe Ausencia	- 24.41	
2	-	22	S Medio	- 24.24	
3	-	30	Optimo	- 24.20	
4	-	13	Zn Ausencia	- 23.70	
5	-	24	S Alto	- 23.25	
6	-	16	Zn Alto	- 23.20	
7	-	17	Cu Ausencia	- 22.81	
8	-	28	Fe Alto	- 22.71	
9	-	11	Mn Medio	- 22.69	
10	-	6	P Bajo	- 21.67	
11	-	20	Cu Alto	- 21.67	
12	-	18	Cu Bajo	- 21.35	
13	-	1	N Ausencia	- 21.09	
14	-	4	N Alto	- 21.03	
15	-	7	P Medio	- 20.89	
16	-	14	Zn Bajo	- 20.82	
17	-	26	Fe Bajo	- 20.71	
18	-	3	N Medio	- 20.70	
19	-	8	P Alto	- 20.52	
20	-	9	Mn Ausencia	- 20.50	
21	-	23	S Medio	- 20.42	
22	-	27	Fe Medio	- 20.33	
23	-	12	Mn Alto	- 19.89	
24	-	10	Mn Bajo	- 19.60	
25	-	15	Zn Medio	- 19.60	
26	-	5	P Ausencia	- 19.20	
27	-	29	Testigo	- 18.89	
28	-	21	S Ausencia	- 18.47	
29	-	2	N Bajo	- 18.16	
30	-	19	Cu Medio	- 17.22	

Cuadro 15 Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial para la variable rendimiento de materia seca de la localidad Sta. Ma. la Floreña.

Num. de Orden	Tratamientos	Medias	$\alpha$ 0.05
1	6 P Bajo	0.70	
2	30 Optimo	0.67	
3	10 Mn Bajo	0.66	
4	25 Fe Ausencia-	0.66	
5	11 Mn Medio	0.60	
6	16 Zn Alto	0.59	
7	17 Cu Ausencia-	0.57	
8	24 S Alto	0.56	
9	4 N Alto	0.54	
10	13 Zn Ausencia-	0.54	
11	11 Zn Bajo	0.53	
12	21 S Ausencia-	0.52	
13	12 Mn Alto	0.50	
14	26 Fe Bajo	0.50	
15	28 Fe Alto	0.50	
16	3 N Medio	0.48	
17	23 S Medio	0.47	
18	20 Cu Alto	0.46	
19	22 S Bajo	0.46	
20	1 N Ausencia-	0.41	
21	8 P Alto	0.43	
22	15 Zn Medio	0.43	
23	18 Cu Bajo	0.43	
24	7 P Medio	0.42	
25	27 Fe Medio	0.41	
26	5 P Ausencia-	0.38	
27	19 Cu Medio	0.38	
28	9 Mn Ausencia-	0.37	
29	2 N Bajo	0.33	
30	29 Testigo	0.28	

Tukey = .3938

Cuadro 16. Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable altura de planta de la localidad Francisco Villa, sin considerar el arreglo factorial.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Tratamiento	29	194.943	6.722	1.739 *
Error	61	235.737	3.865	
Total	90	430.679		

C.V. = 7.7187

Cuadro 17. Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable rendimiento de materia seca de la localidad Francisco Villa, sin considerar el arreglo factorial.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Tratamiento	29	1.222	0.042	2.901 **
Error	61	0.886	0.015	
Total	90	2.108		

C.V. = 17.4963

Cuadro 18. Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta de la localidad Francisco Villa.

Num.de Orden	Tratamiento	Media	$\alpha$ 0.05
1	1 Optimo	28.23	
2	26 Fe Bajo	27.90	
3	19 Cu Medio	27.45	
4	12 Mn Alto	27.35	
5	25 Fe Ausencia	27.12	
6	15 Zn Medio	27.09	
7	22 S Bajo	26.71	
8	20 Cu Alto	26.56	
9	21 S Ausencia	26.30	
10	4 N Alto	26.17	
11	23 S Medio	25.63	
12	7 P Medio	25.55	
13	13 Zn Ausencia	25.53	
14	2 N Bajo	25.45	
15	3 N Medio	25.45	
16	17 Cu Ausencia	25.45	
17	6 P Bajo	25.41	
18	14 Zn Bajo	25.25	
19	10 Mn Bajo	25.23	
20	18 Cu Bajo	25.11	
21	1 N Ausencia	24.99	
22	28 Fe Alto	24.94	
23	24 S Alto	24.72	
24	8 P Alto	24.53	
25	11 Mn Medio	24.07	
26	16 Zn Alto	23.95	
27	9 Mn Ausencia	23.87	
28	27 Fe Medio	23.63	
29	5 P Ausencia	22.38	
30	29 Testigo	21.90	

Cuadro 19. Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable rendimiento de materia seca de la localidad de Francisco Villa.

Num de Orden	Tratamientos	Medias	$\alpha$ 0.05
1	12 Mn Alto	0.96	
2	30 Optimo	0.92	
3	20 Cu Alto	0.81	
4	25 Fe Ausencia	0.81	
5	15 Zn Media	0.79	
6	4 N Alto	0.78	
7	14 Zn Bajo	0.78	
8	16 Zn Alto	0.78	
9	19 Cu Medio	0.76	
10	28 Fe Alto	0.76	
11	6 P Bajo	0.73	
12	22 S Bajo	0.73	
13	3 N Medio	0.72	
14	10 Mn Bajo	0.72	
15	23 S Medio	0.72	
16	26 Fe Bajo	0.71	
17	13 Zn Ausencia	0.70	
18	17 Cu Ausencia	0.70	
19	11 Mn Medio	0.68	
20	7 P Medio	0.66	
21	8 P Alto	0.66	
22	2 N Bajo	0.62	
23	21 S Ausencia	0.60	
24	1 N Ausencia	0.59	
25	24 S Alto	0.59	
26	9 Mn Ausencia	0.58	
27	18 Cu Bajo	0.57	
28	5 P Ausencia	0.55	
29	27 Fe Medio	0.49	
30	29 Testigo	0.40	

Cuadro 20. Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable altura de planta de la localidad San Fernando, sin considerar el arreglo factorial.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Tratamiento	29	1192.222	41.111	
Error	60	1177.590	19.626	2.095 **
Total	89	2369.812		

C.V.= 11.5068

Cuadro 21. Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable rendimiento de materia seca de la localidad San Fernando, sin considerar el arreglo factorial.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Tratamiento	29	5.577	0.192	
Error	60	3.785	0.063	3.048 **
Total	89	9.363		

C.V. = 20.5736

Cuadro 22. Resultado del análisis de varianza efectuado para la variable diámetro de tallo de la localidad San Fernando, sin considerar el arreglo factorial.

F.V.	gl	SC	CM	Fcal
Tratamiento	29	0.060	0.002	
Error	60	0.051	0.001	2.454 **
Total	89	0.111		

C.V. = 19.7642

Cuadro 23. Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos sin considerar el arreglo factorial, para la variable altura de planta de la localidad San Fernando.

Num. de Orden	Tratamiento	Media	$\alpha$ 0.05
1	4 N Alto	43.09	I
2	12 Mn Alto	42.67	
3	28 Fe Alto	42.55	
4	20 Cu Alto	42.34	
5	13 Zn Ausencia	41.97	
6	24 S Alto	41.37	
7	26 Fe Bajo	41.16	
8	23 S Medio	41.11	
9	1 N Ausencia	40.75	
10	9 Mn Ausencia	40.59	
11	12 S Bajo	40.65	
12	7 P Medio	40.42	
13	2 N Bajo	40.33	
14	18 Cu Bajo	40.26	
15	19 Cu Medio	39.87	
16	15 Zn Medio	38.93	
17	21 S Ausencia	38.65	
18	6 P Bajo	38.45	
19	3 N Medio	38.07	
20	16 Zn Alto	37.87	
21	14 Zn Bajo	37.09	
22	8 P Alto	31.03	
23	25 Fe Ausencia	36.19	
24	11 Mn Medio	36.81	
25	27 Fe Medio	35.58	
26	17 Cu Ausencia	35.41	
27	10 Mn Bajo	35.34	
28	30 Optimo	35.17	
29	5 P Ausencia	29.29	
30	29 Testigo	28.15	

Cuadro 24. Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de medias de los tratamientos, sin considerar el arreglo factorial, para la variable rendimiento de materia seca de la localidad San Fernando.

Num. de Orden	Tratamientos	Medias	$\alpha$ 0.05
1	7 P Medio	1.65	
2	12 Mn Alto	1.61	
3	13 Zn Ausencia	1.48	
4	4 N Alto	1.47	
5	20 Cu Alto	1.46	
6	23 S Medio	1.44	
7	28 Fe Alto	1.44	
8	2 N Bajo	1.41	
9	15 Zn Medio	1.38	
10	1 N Ausencia	1.34	
11	8 P Alto	1.34	
12	17 Cu Ausencia	1.33	
13	25 Fe Ausencia	1.32	
14	18 Cu Bajo	1.29	
15	3 N Medio	1.26	
16	9 Mn Ausencia	1.23	
17	14 Zn Bajo	1.23	
18	19 Cu Medio	1.22	
19	24 S Alto	1.18	
20	6 P Bajo	1.16	
21	11 Mn Medio	1.12	
22	30 Optimo	1.10	
23	21 S Ausencia	1.03	
24	16 Zn Alto	1.00	
25	22 S Bajo	1.00	
26	26 Fe Bajo	0.98	
27	27 Fe Medio	0.87	
28	10 Mn Bajo	0.79	
29	5 P Ausencia	0.73	
30	29 Testigo	0.63	

Cuadro 25. Resultado de la prueba de Tukey de la comparación de los tratamientos, sin considerar el arreglo factorial, para la variable diámetro de tallo de la localidad San Fernando.

Num. de Orden	Tratamientos	Media	$\alpha$ 0.05
1	15 Zn Medio	0.24	
2	12 Mn Alto	0.22	
3	3 N Alto	0.20	
4	23 S Medio	0.20	
5	7 P Medio	0.18	
6	18 Cu Bajo	0.18	
7	20 Cu Alto	0.18	
8	28 Fe Alto	0.18	
9	2 N Bajo	0.17	
10	8 P Alto	0.17	
11	11 Mn Medio	0.17	
12	25 Fe Ausencia	0.17	
13	6 P Bajo	0.16	
14	13 Zn Ausencia	0.16	
15	17 Cu Ausencia	0.16	
16	26 Fe Bajo	0.16	
17	30 Optimo	0.16	
18	1 N Ausencia	0.15	
19	4 N Ausencia	0.15	
20	10 Mn Bajo	0.15	
21	14 Zn Bajo	0.15	
22	21 S Ausencia	0.15	
23	22 S Bajo	0.15	
24	9 Mn Ausencia	0.14	
25	16 Zn Alto	0.14	
26	24 S Alto	0.14	
27	27 Fe Medio	0.14	
28	19 Cu Medio	0.13	
29	29 Testigo	0.13	
30	50 P Ausencia	0.11	

Cuadro 26. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable altura de plantas.

F.V	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	5.588	2.794	0.429
Localidad	2	2666.695	1333.347	204.575 **
Interacción	4	4.576	1.144	0.176
Error	27	175.976	6.518	
Total	35	2852.835		

C.V.= 8.8739

Cuadro 27. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable altura de planta.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		40.56 a
2	-	Francisco Villa		25.52 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		20.25 c

Tukey = 5.1733

Cuadro 28. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable rendimiento de materia seca.

F.V.	gl	SC	C M	Fcalc.
Repetición	2	0.049	0.024	0.672
Localidad	2	5.626	0.813	77.267 **
Interacción	4	0.090	0.023	0.621
Error	35	6.749		
Total				

C.V. = 22.8598

Cuadro 29. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable rendimiento de materia seca.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		1.37 a
2	-	Francisco Villa		.68 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.44 b

Tukey = .3843

Cuadro 30. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable diámetro de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.001	0.000	0.367
Localidad	2	0.017	0.000	10.350**
Interacción	4	0.003	0.001	0.906
Error	27	0.022	0.001	
Total	35	0.042		

C.V. = 22.5876

Cuadro 31. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento nitrógeno en la variable diámetro de tallo.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		.17 a
2	-	Francisco Villa		.14 a
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.11 a

Tukey = .0638

Cuadro 32. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable altura de planta.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	11.464	5.732	0.394
Localidad	2	1554.819	777.409	53.369 **
Interacción	4	47.780	11.945	0.820
Error	27	393.300	14.567	
Total	35	2007.363		

C.V. = 14.1201

Cuadro 33. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable altura de planta.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		36.05 a
2	-	Francisco Villa		24.47 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		20.57 b

Tukey = 7.7342

Cuadro 34. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable rendimiento de materia seca.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.033	0.017	0.254
Localidad	2	3.589	1.794	27.317 **
Interacción	4	0.013	0.003	0.050
Error	27	1.773	0.066	
Total	35	5.409		

C.V. = 32.93

Cuadro 35. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable rendimiento de materia seca.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		1.22 a
2	-	Francisco Villa		.65 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.48 b

Tukey = .5205

Cuadro 36. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable diámetro de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.001	0.001	1.018
Localidad	2	0.011	0.006	10.525**
Interacción	4	0.002	0.001	0.984
Error	27	0.014	0.001	
Total	35	0.028		

C.V. = 24.32

Cuadro 37. Resultados de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento fósforo en la variable diámetro de tallo.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		.15 a
2	-	Francisco Villa		.13 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.11 c

Tukey = .0640

Cuadro 38. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable altura de planta.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	6.340	3.170	0.291
Localidad	2	2091.598	1045.799	95.912 **
Interacción	4	31.948	7.987	0.732
Error	27	294.401	10.904	
Total	35	2424.286		

C.V. = 11.73

Cuadro 39. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable altura de planta.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Medias
1	-	San Fernando		36.60 a
2	-	Francisco Villa		25.13 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		20.67 b

Tukey = 6.6914

Cuadro 40. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable rendimiento de materia seca.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.011	0.005	0.083
Localidad	2	2.712	1.356	20.432 **
Interacción	4	0.127	0.032	0.480
Error	27	1.792	0.066	
Total	35	4.643		

C.V. = 31.32

Cuadro 41. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable rendimiento de materia seca.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Medias
1		San Fernando		1.19 a
2		Francisco Villa		.73 b
3		Sta. Ma. La Floreña		.53 b

Tukey = .5205

Cuadro 42. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable diámetro de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.001	0.001	0.740
Localidad	2	0.009	0.004	5.795 **
Interacción	4	0.001	0.000	0.393
Error	27	0.021	0.001	
Total	35	0.032		

C.V. = 21.08

Cuadro 43. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento manganeso en la variable diámetro de tallo.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		.17 a
2	-	Francisco Villa		.14 a
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.13 a

Tukey = .5205

Cuadro 44. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento zinc en la variable altura de planta.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	23.852	11.926	1.356
Localidad	2	1956.798	978.399	111.236 **
Interacción	4	38.268	9.567	1.088
Error	27	237.485	8.796	
Total	35	2256.403		

C.V. = 10.31

Cuadro 45. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento zinc en la variable altura de planta.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		38.96 a
2	-	Francisco Villa		25.45 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		21.83 b

Tukey = 6.0101

Cuadro 46. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento zinc en la variable rendimiento de materia seca.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.083	0.041	0.894
Localidad	2	3.527	1.764	38.152 **
Interacción	4	0.204	0.051	1.102
Error	27	1.248	0.046	
Total	35	5.062		

C.V. = 25.23

Cuadro 47. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento zinc en la variable rendimiento de materia seca.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		1.27 a
2	-	Francisco Villa		.76 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.52 b

Tukey = .4345

Cuadro 48. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento zinc en la variable diámetro de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.000	0.000	0.075
Localidad	2	0.014	0.007	4.222 *
Interacción	4	0.003	0.001	0.502
Error	27	0.045	0.002	
Total	35	0.063		

C.V. = 29.81

Cuadro 49. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento zinc en la variable diámetro de tallo.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		.17 a
2	-	Francisco Villa		.15 a
3	-	Sta. Ma. la Florida		.12 a

Tukey = .0905

Cuadro 50. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento cobre en la variable altura de planta.

F.V.	gl	SC	CM	F <sub>Calc.</sub>
Repetición	2	8.477	4.239	0.312
Localidad	2	2225.613	1112.809	81.891**
Interacción	4	45.064	11.266	0.824
Error	27	366.898	13.589	
Total	35	2646.053		

C.V. = 12.80

Cuadro 51. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento cobre en la variable altura de planta.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		39.47 a
2	-	Francisco Villa		26.14 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		20.76 b

Tukey = 7.4703

Cuadro 52. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento cobre en la variable rendimiento de materia seca.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.004	0.002	0.097
Localidad	2	4.742	2.371	110.475**
Interacción	4	0.141	0.035	1.640
Error	27	0.579	0.021	
Total	35	5.466		

C.V. = 17.45

Cuadro 53. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento cobre en la variable rendimiento de materia seca.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		1.32 a
2	-	Francisco Villa		.71 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.46 b

Tukey = .2934

Cuadro 54. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento cobre en la variable diámetro de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.003	0.001	2.709
Localidad	2	0.009	0.005	9.611 **
Interacción	4	0.000	0.000	0.201
Error	27	0.013	0.00048	
Total	35	0.025		

C.V. = 15.6492

Cuadro 55. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento cobre en la variable diámetro de tallo.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		.16 a
2	-	Francisco Villa		.14 a
3	-	Sra. Ma. la Floreña		.12 a

Tukey = .0442

Cuadro 56. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento azufre en la variable altura de planta.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	16.281	8.141	1.024
Localidad	2	2277.426	1138.713	143.290**
Interacción	4	16.058	4.014	0.505
Error	27	214.567	7.947	
Total	35	2521.990		

C.V. = 9.57

Cuadro 57. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento azufre en la variable altura de planta.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		40.92 a
2	-	Francisco Villa		25.82 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		21.70 b

Tukey = 5.7125

Cuadro 58. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento azufre en la variable rendimiento de materia seca.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.077	0.036	1.063
Localidad	2	2.761	1.380	40.557 **
Interacción	4	0.122	0.031	0.897
Error	27	0.919	0.034	
Total	35	3.875		

C.V. = 23.63

Cuadro 59. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento azufre en la variedad rendimiento de materia seca.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Materia
1	-	San Fernando		1.16 a
2	-	Francisco Villa		.67 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.50 b

Tukey = .3734

Cuadro 60. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento azufre en la variable diámetro de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.030	0.015	0.735
Localidad	2	0.042	0.021	1.012
Interacción	4	0.094	0.023	1.144
Error	27	0.554	0.021	
Total	35	0.715		

C.V. = 95.57

Cuadro 61. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento azufre en la variable diámetro de tallo.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Medias
1	-	San Fernando		.16 a
2	-	Francisco Villa		.20 a
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.12 a

Tukey = .2936

Cuadro 62. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento fierro en la variable altura de planta.

F.v.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.630	0.315	0.015 **
Localidad	2	1865.477	932.739	45.048
Interacción	4	46.155	11.539	0.557 **
Error	27	559.051	20.706	
Total	35	2471.314		

C.V. = 15.77

Cuadro 63. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento fierro en la variable altura de planta.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		38.37 a
2	-	Francisco Villa		25.90 b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		22.04 b

Tukey = 9.221

Cuadro 64. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento fierro en la variable rendimiento de materia seca.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.116	0.058	0.956
Localidad	2	2.583	1.291	21.328 **
Interacción	4	0.257	0.064	1.062
Error	27	1.635	0.061	
Total	35	4.591		

C.V. = 31.26

Cuadro 65. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento fierro en la variable rendimiento de materia seca.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1	-	San Fernando		1.15 a
2	-	Francisco Villa		.69 a b
3	-	Sta. Ma. la Floreña		.52 b

Tukey = .5001

Cuadro 66. Resultado del análisis de varianza de la interacción suelo-elemento fierro en la variable diámetro de tallo.

F.V.	gl	SC	CM	Fcalc.
Repetición	2	0.041	0.021	1.906
Localidad	2	0.005	0.003	0.252
Interacción	4	0.037	0.009	0.846
Error	27	0.293	0.011	
Total	35	0.376		

C.V. = 65.55

Cuadro 67. Resultado de la prueba de Tukey para la comparación de medias de la interacción suelo-elemento fierro en la variable diámetro de tallo.

Num. de Orden	-	Localidad	-	Media
1		Sta. Ma. la Floreña		.18 a
2	-	San Fernando		.16 a
3	-	Francisco Villa		.15 a

Tukey = .0605

