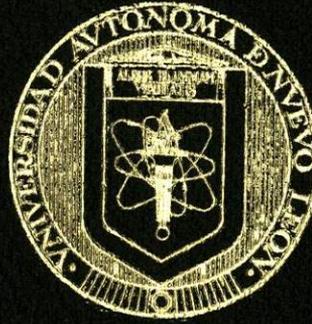


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



INTERACCION Fe-Zn EN LA PRODUCCION DE MAIZ  
(Zea maiz L.) ELOTERO DEL CRIOLLO REGIONAL  
BLANCO ALEMAN

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

JESUS RUIZ ARIAS

MARIN, N. L.

MAYO DE 1994

T  
SB191  
.M2  
R8  
C.1



1080063436

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



INTERACCION Fe-Zn EN LA PRODUCCION DE MAIZ  
(Zea maiz L.) ELOTERO DEL CRIOLLO REGIONAL  
BLANCO ALEMAN

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

JESUS RUIZ ARIAS

MARIN, N. L.

MAYO DE 1994

11770

T  
SB191  
.M2  
R8



040.633  
FA2  
1994  
C.5

INTERACCION Fe - Zn EN LA PRODUCCION DE MAIZ (Zea maiz L.)  
ELOTERO DEL CRIOLLO REGIONAL BLANCO ALEMAN

TESIS QUE PRESENTA

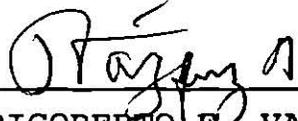
JESUS RUIZ ARIAS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

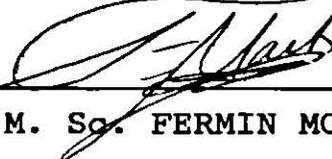
COMISION REVISORA

PRESIDENTE



Ph.D. RIGOBERTO E. VAZQUEZ A.

SECRETARIO



ING. M. Sc. FERMIN MONTES C.

VOCAL



ING. FRANCISCO RODRIGUEZ E.

## DEDICATORIA

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON:

En especial a la Facultad de Agronomía, la cual es la cuna de grandes profesionistas, gracias por darme la oportunidad de nutrirme poco a poco de su saber, y haberme convertido en una persona de bien para nuestra sociedad.

A MIS MAESTROS :

Que con paciencia me enseñaron las primeras letras, y a la vez supieron encauzar mis pasos para que cada día el hambre de aprender creciera y se fortaleciera.

A DIOS:

El que con su fé me permitió haber terminado con bien ésta labor que hace mucho tiempo inicie y hoy termino, a él que nos enseñó la humildad y sencillez, que deben ser siempre valores que nunca debemos olvidar, y así sea la posición en donde nos encontremos, la soberbia no nos haga olvidarlos.

Al PCO. Rafael Guerrero G.

Hombre de incalculable valor humano, sencillez y humildad, le doy gracias por haberme dado la oportunidad de compartir su

amistad, además de su confianza, y apoyo moral que me brindo en los momentos mas difíciles de mi carrera.

A MIS PADRES:

Guadalupe Ruiz Espinoza (+)

Dolores Arias de la Rosa

Por haberme tolerado tanto tiempo, a ellos que con cuanto cariño me comprendieron y ayudaron siempre, en las victorias y derrotas, con el único interés de ser participe de mis aspiraciones, a ellos por el incentivo que siempre me nutrió y fortaleció para salir adelante en la vida.

A MIS HERMANOS:

América Ruiz Arias

Dolores Ruiz Arias

Rosario Ruiz Arias

Alfredo Ruiz Arias

Doraluz Ruiz Arias

Patricia Ruiz Arias

José Everardo Ruiz Arias

Hector Ruiz Arias

Yolanda Ruiz Arias

Miguel Angel Ruiz Arias

Eduardo Ruiz Arias (+)

Liliana Ruiz Arias

Y a todos mis demás familiares, les brindo esta tesis como una muestra de que cuando existe voluntad, constancia y coraje se puede llegar a conquistar las metas inimaginables en la vida.

## **A MIS COMPAÑEROS:**

A aquellos amigos que siempre les guardaré un gran afecto, los que independientemente de nuestros orígenes y creencias, no fue un obstáculo para unirnos con unos grandes lazos de amistad afecto y respeto desinteresado, compartiendo todas las penurias y regocijos de un estudiante universitario.

A mis compañeros egresados que fueron la base de mi desarrollo y formación; a todos ellos gracias.

## AGRADECIMIENTOS

### A MIS ASESORES

Ph. D. Rigoberto E. Vázquez A.

Por la confianza que deposito en mí y además de su amistad, paciencia y disponibilidad que siempre tuvo para la corrección de esta tesis.

ING. M. Sc. Fermin Montes C.

Por su acertadas correcciones para la elaboración de esta tesis.

ING. Francisco Rodríguez Esquivel

Por su amistad consejos y colaboración en la corrección de esta tesis.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz.

Por las facilidades que me brindo para el uso de su equipo de computo además de su gran confianza, amistad y comprensión.

## INDICE

	PAGINA
INDICE DE CUADROS.....	I
INDICE DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VII
I.-INTRODUCCION.....	1
II.-REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1.- Origen e importancia socioeconómica.....	5
2.1.1.- Origen citogenético.....	5
2.1.2.- Origen geográfico.....	6
2.1.3.- Importancia socioeconómica .....	7
2.1.4.- Distribución y Adaptación.....	9
2.2.- Importancia de la Fertilización en Maíz.....	10
2.2.1.- Importancia del zinc .....	11
2.2.1.1.- El zinc en la planta.....	11
2.2.1.2.- Metabolismo y funciones.....	12
2.2.1.3.- El zinc en el suelo.....	13
2.2.1.4.- Factores que afectan la disponibilidad del zinc en el suelo.....	13
2.2.2.- Importancia del fierro.....	17
2.2.2.1.- El fierro en la planta.....	17
2.2.2.2.- Metabolismo y funciones.....	18
2.2.2.3.- El fierro en el suelo.....	20
2.2.2.4.- Factores que Afectan la Disponibilidad de Fierro en el Suelo.....	21

2.2.3.- Fuentes de fierro y zinc .....	24
2.2.4.- Factores que afectan la aplicación de fertilizantes al suelo.....	27
2.2.5.- Síntomas de deficiencias de fierro y zinc en la planta.....	28
2.2.5.1.- Deficiencias de zinc.....	28
2.2.5.2.- Deficiencias de fierro.....	29
2.2.6.- Niveles normales de fierro y zinc en el suelo y la planta.....	30
2.3.- Efecto de Dosis altas en el Suelo.....	33
2.3.1.- Toxicidad del zinc en la planta.....	33
2.3.2.- Toxicidad de fierro en la planta.....	33
2.4.- Análisis de Suelos.....	34
2.4.1.- Calibración de las pruebas de suelo.....	35
2.5.- Análisis de Tejido Vegetal.....	36
2.5.1- Importancia del análisis foliar.....	37
2.6.- Importancia de la Fertilización Foliar.....	40
2.7.- Técnicas Usadas en el Análisis de Suelo y Tejido Vegetal.....	43
2.8.- Influencia del pH y la CE en la Disponibilidad de Fierro y Zinc.....	45
2.9.- Trabajos Realizados .....	46
<b>III.- MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>52</b>
3.1.- Ubicación del Experimento.....	52
3.2.- Descripción del Experimento.....	52
3.3.- Procesamiento de la Información.....	55
3.3.1.- Análisis de correlación.....	55

3.3.2.-	Análisis de regresión.....	55
3.4.-	Fertilización.....	57
3.5.-	Conducción del Experimento.....	58
3.6.-	Metodos de Análisis de Suelos y Hojas.....	60
3.6.1.-	Análisis de las concentraciones de los elementos en las hojas.....	60
3.6.2.-	Procedimiento de extracción de nutrientes en planta.....	60
3.6.3.-	Análisis de los elementos del suelo pH Y CE.....	61
3.6.4.-	Procedimiento de extracción de nutrientes del suelo.....	62
3.6.5.-	Determinación de fierro y zinc.....	62
3.6.6.-	Determinación del pH por medio del potenciómetro.....	62
3.6.7.-	Determinación de la conductividad eléctrica por el puente de wheatstone.....	63
<b>IV.-</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>67</b>
4.1.-	Resultado de pH y Conductividad Eléctrica de las Muestras de Suelo Tomadas en el Campo.....	67
4.2.-	Resultados de los Análisis de Varianza de las Variables Cuantificadas.....	69
4.2.1.-	Resultado del análisis de varianza por variable.....	69
4.3.-	Resutado de los Análisis de correlación.....	72
4.4.-	Resutado de los Análisis de Regresión.....	73

V.- CONCLUSIONES.....	82
VI.- RECOMENDACIONES.....	84
VII.- BIBLIOGRAFIA.....	86

## INDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro 1.- Micronutrientes esenciales y sus formas de aplicación para las plantas.....	26
Cuadro 2.- Los niveles críticos para Fierro y Zinc en maíz, para la hoja opuesta a la mazorca y en el momento en que aparece la inflorescencia.....	30
Cuadro 3.- Solubilidad del ion ferroso en función del pH del suelo.....	31
Cuadro 4.- Concentración de la información de análisis foliar de Fe y Zn.....	47
Cuadro 5.- Selección de tratamientos de acuerdo al número de aplicaciones de Fe y Zn, conforme a la matriz PPI.....	53
Cuadro 6.- Croquis del experimento en el cuál se muestra la distribución de los tratamientos.....	54

Cuadro 7.-	Calendario de aplicaciones de Fe y Zn de acuerdo al número de aplicación por cada tratamiento.....	58
Cuadro 8.-	Resultado de pH, medidos con el potenciómetro en el laboratorio de suelos de las diferentes muestras tomadas en el campo.....	67
Cuadro 9.-	Resultados de Conductividad Eléctrica del extracto de saturación del suelo en (mmhos/cm), de las diferentes muestras tomadas en el campo.....	68
Cuadro 10.-	Análisis de varianza para la variable ppm de Fe en la planta.....	71
Cuadro 11.-	Comparación de medias de la variable ppm de fierro en la planta, por el método DMS.....	72
Cuadro 12.-	Regresión Lineal de la variable peso promedio por parcela en (g) como variable dependiente y como independiente número de elotes por ha.....	73

Cuadro 13.- Regresión Lineal de la variable número de  
elotes por ha. como variable dependiente y  
como independiente peso promedio por  
parcela (g).....74

Cuadro 14.- Regresión Lineal de la variable diámetro  
basal del tallo (cm) y como variable inde-  
pendiente diámetro de tallo a la altura  
del elote .....76

Cuadro 15.- Regresión Lineal de la variable ppm de  
fierro en la planta y como variable inde-  
pendiente interacción de número de aplica-  
ciones de fierro y zinc.....78

## INDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1.- Espacio bivariado de exploración de la matriz PPI para el número de aplicaciones de Fe y Zn.....	53
Figura 2.- Regresión lineal de la variable número de elotes por ha. como variable dependiente y como independiente peso promedio por parcela g .....	75
Figura 3.- Regresión lineal de la variable diámetro basal del tallo en cm, como variable dependiente y como independiente diámetro del tallo a la altura del elote en cm.....	77
Figura 4.- Superficie de Respuesta producto de la regresión lineal de la variable dependiente ppm de fierro en la planta y las variables independientes número de aplicaciones de fierro y zinc.....	80

## RESUMEN

El presente trabajo se estableció en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Los objetivos de este experimento fueron evaluar la respuesta a la aplicación foliar de los microelementos fierro y zinc bajo las fuentes sulfatadas fierro y zinc, además de su interacción, efectuando de 1 a 4 aplicaciones de cada uno, espaciandolas cinco días, iniciándolas a los 47 días después de la siembra, con una aspersora de mochila a una concentración del 2 % para los 2 factores.

Los resultados en el análisis de varianza indican que las variables fenotipicas no fueron afectadas por el efecto individual ni por la interacción de fierro y zinc, así también en las variables de rendimiento no fueron modificadas por el efecto de los tratamientos, solamente la concentración en ppm de fierro en el tejido vegetal resulto altamente significativa, siendo la mejor combinación 2 aplicaciones de Fierro y 2 de Zinc, fuera de esta combinación las concentraciones de estos microelementos en las hojas disminuyeron; pero la significancia en la concentración de fierro no altero el peso del elote y por lo tanto tampoco modifiko el rendimiento de grano ni de forraje.

En la variable ppm de Zn en la planta, el análisis de

varianza resulto no significativo, las aplicaciones de fierro y Zinc y sus diferentes combinaciones, no afectaron la concentración de zinc en el tejido vegetal de las hojas, posiblemente la no significancia en las concentraciones de Zinc en el aérea foliar, pudo deberse a que este emigro a la raíz después de haberse aplicado.

La planta, no respondió a la presencia combinada de ambos elementos, tuvieron una correlación sumamente baja (-0.14), sin embargo, las variables # de elotes por hectárea vs peso promedio por parcela, tuvieron una correlación significativa (0.64 \*) en tanto que diámetro basal vs diámetro del elote tuvieron una correlación altamente significativa (0.86\*\*).

## SUMMARY

The present experiment was established at the Agronomy Faculty Experimental Station at Marín N. L. from the Universidad Autónoma de Nuevo León. The objectives of the present experiment were to evaluate the iron and zinc foliar applications and their interaction effects under the sulphate sources. Iron and zinc were applied from 1 to 4 times each five days, starting 47 days after planting, at 2% concentration in both factors.

The variance analysis results indicate that the phenotypic and yield variables were not affected by the iron and zinc as individual and interaction effects. The iron concentration (ppm) in the vegetable tissue reaches high significant differences and the best combination of these two elements were 2 applications of iron and zinc respectively. Outside of these treatments, the concentration of iron and zinc in the leaves vegetative tissue decreased. The plant iron concentration did not affect the corn (ear) weight and as a consequence the forage and the total yield wasn't affected.

The plant Zn concentration analysis of variance resulted no significant. The applications of iron and zinc and its different combinations didn't affect the individual zinc concentration in leaves vegetative tissue. In the other hand the significance of zinc concentration in the foliar area, maybe

can be explained due to it's emigration at the root zone after applications.

The plant didn't respond to the combined application of both elements, they reached very low correlation(-0.14) although the variables # of corn(ear) per hectare vs plot average weight,they had a significant correlation (0.64 \*) and the basal diameter vs corn (ear) diameter had a high significant correlations (0.86 \*\*).

## I. INTRODUCCION

La importancia del maíz para grano en México y latinoamérica esta plenamente demostrado, ocupa el tercer lugar en producción a nivel mundial y en México es uno de los granos básicos en la alimentación humana, además que su follaje es utilizado en gran escala ya sea en verde, ensilado o enifícado para la alimentación animal.

Para nuestros ancestros fue el cultivo más importante y hoy en día lo sigue siendo debido a las grandes extensiones que se siguen sembrando.

En la actualidad el crecimiento de la población es acelerado; y por otro lado el aumento de los rendimientos, si bien no se han disminuido se lucha por mantenerlos y elevarlos, cosa que resulta todavía más difícil cada día que pasa, por eso es importante hacer huso de la ciencia y tecnología acorde con la problematica en cuestión, buscando subsanar la demanda de alimento que venimos padeciendo.

México presenta rendimientos nacionales por hectárea más bajos que otros países, a pesar de todo el "apoyo" que se le ha dado, es por eso que se deben buscar nuevas alternativas que coadyuven a mejorar en cantidad y calidad el rendimiento de grano.

En el estado de Nuevo León a nivel regional se cultivan cerca de 100 mil hectáreas bajo 2 tipos de explotación:

El de riego, que abarca un 20 % de la superficie localizada en la parte norte y centro del estado y el de temporal que representa un 80 % con fines de autoconsumo, localizada en el centro y sur del estado.

INEGI (1988) menciona que el maíz es y ha sido históricamente el alimento básico de la población nacional y el principal cultivo del país, en función de la superficie total cosechada y de la producción de los principales cultivos anuales, y que en ambos sentidos absorbe alrededor del 50%; constituye además el soporte de la economía campesina, como lo demuestra el hecho que del 85% de la superficie cultivada, se encuentre en tierras de temporal.

El grano de maíz generalmente no presenta variaciones debidas a los diferentes materiales; es la fuente principal de calorías y carbohidratos, además de calcio, hierro que se encuentran en menor proporción, junto con las vitaminas B1 y B2.

Los suelos de México son pobres en dos o más elementos, ésta plenamente demostrado que la fertilidad natural de los suelos no satisface las necesidades del maíz, por esa razón es importante la aplicación de fertilizantes.

La fertilización es preponderante para aumentar los rendimientos a corto plazo, el control de malezas y plagas no dejan de ser importantes en el momento preciso pero pasan a segundo termino si se disponen de todas las labores agrícolas incluyendo el agua de riego, pero si no se fertiliza no es posible obtener ni una modesta retribución al esfuerzo empleado en la siembra.

Se han realizado experimentos en la zona de Marín N.L. donde se han aplicado fertilizantes químicos al suelo y no se ha obtenido respuesta principalmente al nitrógeno debido a su volatilización, esta respuesta fue asociada al contenido de sales en el suelo, arcillas o bajo contenido de materia orgánica.

Se sabe que el pH del suelo determina fuertemente la disponibilidad de algunos elementos y que estos a su vez pueden influir en la absorción de otros.

Esto nos dio la idea de evaluar la respuesta a la aplicación foliar de los microelementos fierro y zinc bajo dos fuentes sulfatadas además de su interacción. La aplicación foliar tiene varias ventajas, algunas de ellas, es que no hay perdidas por fijación al suelo, mayor eficiencia en la aplicación, además que es una labor fácil de realizar. Algo muy importante tambien es que estos microelementos desempeñan una labor muy importante en la nutrición de la planta y en función de sus necesidades la respuesta puede ir de media a alta.

**Objetivo:**

- 1.- Evaluar la respuesta de las aplicaciones foliares de fierro y zinc, en la producción de elote y en el desarrollo de la planta de maíz criollo Blanco Alemán.

**Hipótesis:**

La interacción adecuada de fierro y zinc produce elote de alta calidad comercial.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1.- Origen e importancia socioeconómica

#### 2.1.1.- Origen citogenético

Paul C. Mangelsdorf citado por el Centro de Investigaciones Agrícolas (1980) menciona que existen varias teorías sobre el sitio y la forma en que se origino el maíz actual y menciona 4 hipótesis principales.

- 1.- El maíz cultivado se origino del maíz tunicado, forma primitiva del maíz en la que los granos están individualmente cubiertos por una bractea floral.
- 2.- El maíz se origino del genero más cercano, el Teozintle (Euchlaena mexicana), por selección directa, por mutación o por cruza del teozintle con algún zacate desconocido actualmente extinguido.
- 3.- El maíz, el Teozintle y el Tripsacum otro pariente cercano del maíz descienden por líneas independientes de un ancestro común.
- 4.- La teoría presentada por Mangelsdorf y Reeves en 1939, que señala:
  - a).- El maíz se origina del maíz tunicado.

- b).- El maíz es una cruce entre el teozintle y el tripsacum.
- c).- La mayoría de las modernas variedades de maíz son producto de las mezclas con teozintle, tripsacum o ambos.

Existen otras hipótesis sobre el origen del maíz, pero los avances en estudios citogenéticos y de composición genética de estos 3 géneros, indican que las señaladas anteriormente son las que dan una mejor explicación al origen del maíz actual.

#### 2.1.2.- Origen geográfico

Robert W. Jugenheimer 1976, citado por el Centro de Investigaciones Agrícolas (1980) menciona que el maíz no se le encuentra como planta silvestre en la actualidad y no se sabe cuando se origino, pero hay evidencias de que fue hace miles de años. Las excavaciones, arqueológicas, geológicas, y las mediciones con carbón radioactivo en mazorcas de maíz encontradas en cavernas, indican que la planta debe haberse cultivado por lo menos desde hace 500 años, los granos de polen de Zea, Euchlaena y Tripsacum, encontrados en la ciudad de México son más antiguos.

F. González de Cosío. 1957, citado por el Centro de Investigaciones Agrícolas (1980) señala que aun cuando es generalmente aceptado el origen americano del maíz, no se han puesto de acuerdo si se origino en México, en el sur de Estados

Unidos o en algunas regiones de América del sur o centro América. Se afirma que puede ser originario de las zonas altas de Perú, Bolivia y Ecuador, debido a la gran diversidad de formas nativas encontradas en esa región; Aunque, los vestigios históricos evidencian que su cultivo se inicio en México, probablemente en la huasteca, antes de la conquista española.

### 2.1.3.- Importancia socioeconómica

Jugenheimer (1981) afirma que la población esta creciendo con mayor rapidez que la producción de alimentos, en muchas áreas del mundo de cada tres niños, dos llevan una vida de pobreza hambre y miseria, y no de abundancia. La tecnología agrícola aplicada organizada y conducida cuidadosamente, pueden ayudar a resolver estas miserables condiciones de las naciones pobres. El mundo desarrollado esta altamente industrializado. Posee una agricultura científica muy eficiente, una dieta generalmente adecuada y bien balanceada para sus habitantes y un ingreso per capita relativamente elevado. En contraste con los menos desarrollados que tienen un ingreso per capita reducido, serios problemas de analfabetismo, agricultura ineficaz y relativamente primitiva, escasa producción industrial, y una dieta pobremente balanceada para la mayoría de sus habitantes.

SARH 1982 citado por Salazar (1986) sostiene que las consecuencias del estancamiento del sector agropecuario son

múltiples, ha sido necesario importar cuantiosos volúmenes de productos básicos, que en algunos años se han realizado cuando los precios internacionales se encontraban a un nivel extraordinariamente elevado. Dentro de este contexto el grano de maíz ha sido un producto muy importante en México, ya que como parte de su historia se encuentran en los más remotos vestigios de civilización, costumbres, manifestaciones religiosas y artísticas del pasado. Por otra parte, la actividad económica del maíz genera en 1975 más del 29 % del valor de la producción agrícola nacional, ocupando casi la mitad de la superficie de cultivo; proporciona ocupación para más del 30 % de la población económicamente activa del sector agrícola, que a su vez constituye el 12 % de la población nacional económicamente activa, el pan de maíz es un 2% más seco, contiene 2% más de proteínas 1% de grasas y menos almidón que el pan de trigo. El 90% de la substancia seca del maíz es absorbida, mientras el trigo se absorbe el 32%.

Díaz del P. (1964) asegura que en el análisis químico destaca al maíz como el más nutritivo y asimilable de los cereales, contiene en promedio 12.85 % de proteína más del 80 % de carbohidratos (Almidones y azúcares), 5.36 % de grasas y 1.67 % de cenizas.

Jugenheimer (1981) agrega que el maíz como cultivo forrajero comprende el forraje verde, el rastrojo y el ensilaje, el "forraje verde" esta constituido por la planta completa fresca o curada; el

rastrajo comprende la planta seca sin mazorca, en muchas regiones se corta la planta completa cuando esta verde y se le da a los animales, o se seca previamente. Cuando se corta pica y almacena adecuadamente es ideal para el ensilaje. El grano de maíz blanco se usa principalmente para la alimentación humana.

#### **2.1.4.- Distribución y Adaptación**

Centro de Investigaciones Agrícolas (1980) sostiene que la gran diversidad en tipos, razas y nuevas variedades de maíz que existen en México, permiten que hayan materiales adaptados a prácticamente todas las condiciones de clima y suelo que puedan presentarse; Debido a esto, podemos encontrar Maíces cultivados desde el nivel del mar hasta 3,000 msnm con temperaturas medias mensuales durante su ciclo de 28°C en zonas más cálidas y hasta 12°C o menos en los más fríos.

Según Inglet y Aldrich (1970) mencionan que el maíz requiere temperaturas moderadas a calientes. El límite inferior para su crecimiento esta entre 10-12°C y el superior más favorable para su crecimiento depende de la humedad disponible, cuando esta es abundante, el maíz crecerá bien a temperaturas máximas entre 30-32°C que son cercanas a lo óptima, cuando, la humedad es escasa, las bajas temperaturas ayudan a la planta a tolerar la tensión de la humedad. El maíz se cultiva en una amplia gama de suelos y de climas, pero lógicamente, da rendimientos más elevados en suelos

profundos, con buen drenaje y buena aeración.

Gamboa (1980) sugiere que en climas secos pueden preferirse aquellos suelos que tengan una buena capacidad de retención de humedad y que sean algo pesados para que no sean susceptibles a un calentamiento excesivo. En climas húmedos y fríos por lo contrario, son más adecuados los terrenos ligeros con buen drenaje, debido a que su temperatura es mayor y la elevan más rápidamente que los suelos pesados.

## **2.2.- Importancia de la Fertilización en Maíz**

Alvarez (1970) asegura que en la fertilización de un suelo aun cuando sea demasiada baja o esté casi agotada, puede restablecerse determinando los elementos nutrientes deficientes y suministrándolos por medio de fertilizantes químicos u orgánicos, seleccionados de acuerdo a las condiciones locales prevalecientes en la zona, de esta manera se logra mantener un desarrollo vigoroso de la planta desde el inicio de su crecimiento hasta la cosecha manteniendo desde luego los demás factores de producción en su óptimo para lograr así un uso más eficiente de los elementos nutritivos aplicados en forma de fertilizantes. La mayoría de las plantas elaboran sus alimentos de la misma manera, sin embargo dependiendo de las especies, existen determinados períodos en que requieren de ellos en mayor cantidad lo que conocemos por períodos críticos; por lo tanto la absorción de los elementos nutritivos

aumentan en ese período.

Gamboa (1980) asegura que las necesidades nutricionales de cualquier planta, son determinadas por la cantidad total de nutrientes que precisa extraer en su desarrollo fisiológico, de esta extracción total dependerá, por tanto, el rendimiento obtenido y la concentración de nutrientes en el grano y en el forraje, tanto si se aprovecha solo el grano, como si además se usan las partes verdes como forraje. Será necesario poner a disposición de la planta la cantidad óptima de elementos nutritivos que esta extrae.

### **2.2.1.- Importancia del zinc**

#### **2.2.1.1.- El zinc en la planta**

Rodríguez (1991) comenta que no esta claro si el proceso del ion zinc es activo o pasivo. Generalmente se acumula en la corteza de la raíz por absorción mediante un proceso de cambio de base, asta el punto en el que el 90% del zinc contenido en las raíces se halla en ésta forma. No supera normalmente las 100 ppm sobre base seca. Se encuentra en la planta en forma iónica o asociado a diversos complejos orgánicos, sin formar compuestos estables.

Según Vázquez (1988) la forma de absorción es como  $Zn^{2+}$ , la movilidad en la planta esta registrada como intermedia.

### 2.2.1.2.- Metabolismo y funciones

Rodríguez (1991) afirma que el zinc actúa principalmente como enlace en muchos sistemas enzimáticos. La primera enzima conocida, que fuese activada específicamente por el Zinc, fue la relacionada con la hidrólisis del anhídrido carbónico. Posteriormente se han encontrado numerosas enzimas, como las de hidrogenasas, ácido glutámico, ácido lácteo y ácido málico. Así como varias peptidasas y proteínas relacionadas con la síntesis y degradación de proteínas.

Algunas funciones del zinc, según Vázquez (1988).

- 1.- La enzima anhidrasa carbónica usa el Zinc como un componente funcional. Esta enzima esta presente en los cloroplastos los cuales trabajan en la fotosíntesis.
- 2.- El complejo Zn/ARN es importante en la síntesis de los ribosomas
- 3.- El triptófano es un precursor del AIA, el Zinc es indispensable en la formación del AIA, debido a que el zinc se requiere en la síntesis del triptófano.
- 4.- El zinc es un componente de la deshidrogenasa glutámica, esta es indispensable en el metabolismo del nitrógeno, pero es cuestionable su significancia.

### **2.2.1.3.- El zinc en el suelo**

Según Vázquez (1988) la disponibilidad de zinc depende en gran parte del pH y del contenido de materia orgánica, a medida que aumenta el pH disminuye la disponibilidad de zinc, lo mismo ocurre con la materia orgánica, que a medida que se incrementa se aumenta la fijación de Zinc por ella. El Zinc se puede aplicar al suelo o al follaje como aspersión. Las aplicaciones al suelo no son recomendables, ya que el Zinc es fijado a pH altos, si estas condiciones impiden una buena absorción entonces ésta se puede hacer como quelato con  $ZnSO_4$ . Las aplicaciones foliares también se pueden hacer con N-Zn-N,  $ZnSO_4$  y quelato de Zinc.

### **2.2.1.4.- Factores que afectan la disponibilidad del zinc en el suelo.**

Los factores que determinan la deficiencia de zinc según Dartigues [1964] citado por Gamboa (1980) son:

- 1).- Débiles reservas de zinc total, o agotamiento de estas reservas por cultivos sucesivos.
- 2).- Encalado excesivo de suelos originalmente ácidos.
- 3).- Excesiva nutrición fosfatada.

- 4).- Monocultivo de maíz año tras año.
- 5).- Exceso de humedad y bajas temperaturas en las primeras semanas después de la nacencia.
- 6).- Labores culturales defectuosas que lleven al deterioro de la estructura del suelo.

Para remediar la falta de zinc, Hoover [1964] citado por Gamboa (1980) recomienda la aplicación antes de la siembra de 2-20 Kg/Ha de zinc metal, teniendo en cuenta la intensidad de la deficiencia y la naturaleza del suelo; siendo esta aplicación ya sea en forma de sal de zinc, o 1/5 de esta cantidad en caso que se utilice un quelato.

Según Villarroel (1979) existen las siguientes causas que afectan la disponibilidad del zinc en el suelo.

- a).- pH.

El zinc generalmente esta más disponible en suelos ácidos que alcalinos, correspondiendo la disponibilidad mínima a valores de pH entre 6 y 7 (Sillampaa 1976). Las deficiencias ocurren a pH entre 6.5 y 8, sostienen Tisdale y Nelson (1970); Kwar (1976); Nuñez y Laird (1976). Parece también ser relativamente soluble en suelos ácidos y es libre la difusión, en cambio si el pH del suelo es

incrementado por un encalado o si es de pH alto, el zinc parece ser precipitado como  $Zn(OH)_2$  o como  $ZnCO_3$  (Saeed y Fox 1977).

b).- Textura del suelo

La deficiencia del zinc se da en una amplia variedad de texturas, pero con más frecuencia en las arenosas pobres en materia orgánica donde son lavados. Del Rivero (1968); Sillanpaa (1976). y Navrot y Ravkovitch (1969), indican que el contenido total del zinc en los suelos se incrementa con el contenido de arcilla. Un coeficiente de correlación altamente significativo se encontró entre el contenido total del zinc y el porcentaje de arcilla en los suelos calcáreos.

c).- Tipo de arcilla

La bentonita y la illita tienen la capacidad de fijar relativamente grandes cantidades de zinc bajo condiciones de humedecimiento y secado (Reddy y Perkins 1974). El porcentaje de zinc fijado por la caolinita bajo condiciones de humedecimiento y secado es considerablemente mas bajo que en el otro tipo de arcillas.

d).- Materia orgánica

La materia orgánica del suelo forma complejos con los metales

por mecanismos de intercambio iónico, superficie de absorción y reacciones de quelatación y peptización, estos compuestos son muy estables y son principalmente las fracciones húmicas y fúlvicas de la materia orgánica, las que intervienen en la formación de estos compuestos.

e).- Carbonatos de calcio

El zinc es absorbido sobre las partículas de carbonato cálcico (Fernández et al 1975).

f).- Temperatura y humedad del suelo

Hay indicaciones que las deficiencias de Zinc es más pronunciada en un suelo caliente y seco, esta interacción temperatura y absorción de zinc parece referirse solo al zinc añadido al suelo, pero no del zinc original del mismo (Sillanpaa 1972). La deficiencia se acentúa en épocas frías y húmedas y tienden a desaparecer al subir la temperatura, al estimularse la descomposición de la materia orgánica (Núñez y Laird 1976).

Isarangkura et al 1978 y Paulsen et al 1968 determinan que plantas desarrolladas a altas temperaturas, tienen mayor capacidad de absorción de zinc aplicados al suelo y del zinc nativo, así mismo, a altas temperaturas se favorece la traslocación del zinc de la raíz hacia las hojas y espiga.

### g).- Tipo de planta

El tipo de planta es de mucha importancia en la manifestación de síntomas de deficiencia o no, en un cultivo determinado, es por eso que las especies se clasifican en diferentes categorías: Resistentes, intermedias y sensibles (Núñez y Laird 1976).

### h).- Interacciones del zinc con otros nutrimentos

Las interacciones pueden producir un aumento o abatimiento en el crecimiento vegetativo, afectando por consiguiente los rendimientos de un cultivo.

Algunas interacciones del zinc con otros nutrimentos.

Nitrógeno, (Del Rivero 1968 ).

Fósforo, (Stukenholtz 1966).

Potasio, (Del Rivero 1968; Smith 1977).

fierro, (Adriano et al 1971).

Magnesio (Onki 1975).

### 2.2.2.- Importancia del fierro

#### 2.2.2.1.- El fierro en la planta

Según Rodríguez (1991) el fierro puede ser absorbido como

ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) o asociado a complejos orgánicos en forma de quelatos. El ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) debe ser reducido previamente para la absorción a la forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ), lo que se realiza en la superficie externa de la membrana celular por suministro de electrones desde el interior de la célula. El contenido medio de este elemento es 100 ppm en base seca.

Vázquez (1988) asegura que el fierro está reportado como inmóvil en la planta, esta absorbe al fierro en forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y la reduce a la forma férrica ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en el interior de la planta. No se sabe si el fierro del quelato o el quelato completo es absorbido por la raíz de la planta, sin embargo la mayoría de las investigaciones favorecen la idea que el fierro se disocia del quelato, absorbiendo el fierro en la forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ).

#### 2.2.2.2.- Metabolismo y funciones

Rodríguez (1991) aseguran que los cultivos varían notablemente en la capacidad de reducir el fierro y solubilizarlo por medio de productos excretados por la raíz (Ac. orgánicos y aminoácidos). El fierro es esencialmente inmóvil en la planta, debiendo ser enviado a través del xilema a los nuevos tejidos. En sentido descendente, se mueve a través del floema en forma de citrato; este elemento forma parte de numerosos complejos orgánicos relacionados principalmente con los procesos de oxidorreducción de la planta. En particular son de destacar las combinaciones formadas

con el grupo hemínico, que dan origen a los diferentes variedades de citocromos de oxidasa, catalasa, peroxidasa y las ferredoxinas. El fierro existe en la planta en forma divalente y trivalente en los citocromos y ferredoxina. En los citocromos de la mitocondria actúa en el sistema de transporte de electrones que se efectúa en la respiración. El Fierro actúa en las enzimas catalasa y peroxidasa las cuales catalizan el desdoblamiento del tóxico peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en  $H_2O+O_2$ . El Fe es importante en la enzima nitrato reductasa que es indispensable en el metabolismo del nitrógeno.

Aldrich y R. Leng (1974) recomiendan que para corregir la deficiencia de Fierro es necesario hacer aplicaciones ferrosas (soluciones) al 1%; las aplicaciones al suelo no son recomendables pues el fierro se torna rápidamente insoluble; las condiciones que favorecen la deficiencia son los suelos alcalinos (pH alto) suelos húmedos, poco aireados y compactados.

Según Ortiz y C. Alberto (1980) en conclusión las funciones del fierro son:

- 1.- Aunque no es un constituyente de la clorofila, ayuda en su formación. Una deficiencia de fierro causa clorosis.
- 2.- Ayuda en la absorción de otros nutrientes.

- 3.- Ayuda en los sistemas enzimáticos que originan las reacciones de oxidación y reducción en la planta. Estas reacciones son esenciales para el desarrollo y función de la planta.
- 4.- Es esencial para la síntesis de proteínas contenidas en los cloroplastos.

#### 2.2.2.3.- El fierro en el suelo

Henry (1965) asegura que en condiciones naturales el fierro se encuentra ocasionalmente en la naturaleza en los meteoritos ferruginosos, pero combinado con otros elementos forma parte de numerosos minerales. Estos a su vez se encuentran en diversos tipos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas o existen en yacimientos aislados más o menos grandes, de los cuales los más importantes son los óxidos como la Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), la Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), el hierro espatico o siderosa ( $\text{FeCO}_3$ ) y el sulfuro o piritita ( $\text{FeS}_2$ ). El hecho más sobresaliente en el comportamiento del fierro en el suelo, es su capacidad para formar compuestos con diferente grado de oxidación; dos de los más importantes son el óxido de ferroso ( $\text{FeO}$ ) hierro bivalente y del óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) o hierro trivalente. La proporción en la cual se encuentran en un suelo dado, tiene una significación importante en las condiciones generales del suelo y en la nutrición vegetal.

#### 2.2.2.4.- Factores que Afectan la Disponibilidad de Fierro en el Suelo

Henry (1965) asegura que el ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) es soluble desde pH de 3 hasta un poco más de 5, quedando así a disposición de las plantas, a un pH neutro o ligeramente mayor predomina el ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y a pH cercano al 8 siguen siendo solubles los humatos ferrosos y férricos, cuya solubilidad es evidente a pH mayores de 8, estos humatos están presentes en cantidades pequeñas pero suficientes donde quiera que exista el humus.

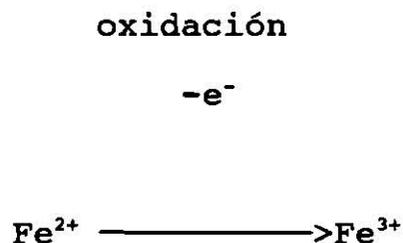
Thompson (1966) no recomienda el sulfato ferroso en suelos calcáreos, ya que en este caso no es efectivo. El sulfato ferroso se disuelve en la solución del suelo y se disocia inmediatamente, recombinándose con otros iones. El ion ferroso forma hidróxido ferroso, que posee una baja solubilidad. El problema en suelos calcáreos. antes del tratamiento con sulfato ferroso, radica más en la cantidad de fierro asimilable, que en la propia cantidad de Fierro, y por lo tanto, la adición de sulfato ferroso no mejora la condición.

Bowen (1981) asegura que el exceso de riego y el drenaje deficiente pueden causar deficiencia de fierro al aumentar la concentración de iones  $\text{HCO}_3^-$  en la solución del suelo. Estos iones disminuyen la absorción de fierro. Los suelos ácidos son bajos en  $\text{HCO}_3^-$  pero sufren de deficiencias de fierro inducida cuando el riego

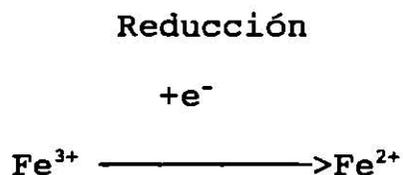
se maneja inadecuadamente. En ese caso, la deficiencia es causada por el bajo nivel de oxígeno en el suelo y la consiguiente interferencia en el metabolismo de las raíces responsable por la asimilación del fierro.

Vázquez (1988) asegura que las reducciones de los iones  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  ocurren bajo condiciones aerobias o anaerobias. Normalmente en condiciones aerobias ocurren oxidaciones, mientras que en condiciones anaerobias ocurren reducciones.

Condiciones aerobias:



Condiciones anaerobias:



Tisdale y Nelson (1970) aseguran que ha sido mostrado que las raíces de las plantas oxidan el fierro en la rizosfera, identificando oxidantes eficaces (céspedes) y extremadamente pobres (Alfalfa). Los oxidantes pobres tienen las cantidades mayores de fierro en los extremos de las plantas; los buenos oxidantes tienden

a ser excluidores del fierro. Cuando el oxígeno es excluido del suelo, como ocurre en las inundaciones los componentes férricos serán reducidos y en forma similar la forma ferrosa. Los compuestos ferrosos son mucho más solubles, pero cuando se añaden a suelos bien drenados son oxidados rápidamente al estado férrico.

En general, según Morvedt et al (1972) los siguientes factores que pueden contribuir a las deficiencias de fierro en la palnta son:

- 1.- Bajo contenido de fierro en el suelo
- 2.-  $\text{CaCO}_3$  libres
- 3.-  $\text{HCO}_3^-$  elevado
- 4.- Baja-alta humedad
- 5.- Concentraciones elevadas de metales pesados
- 6.- Elevado contenido de fosforo en el suelo
- 7.- Aireación pobre (exceso de  $\text{CO}_2$ )
- 8.- Extremos de Temperatura

9.- Fuerte fertilización con estiércol (suelos alcalinos)

10.- Bajo contenido de materia orgánica (suelos ácidos)

11.- Exceso de acidez en el suelo

12.- Diferencias genéticas

13.- Daño a la raíz.

### 2.2.3.- Fuentes de fierro y zinc

Tisdale y Nelson (1970) aseguran que con excepción del sulfato ferroso, quizás los compuestos de fierro más ampliamente utilizados sean los quelatos. Estos compuestos contienen generalmente de 6-12 % de fierro. Un producto reciente en el mercado es el oxalato ferroso que contiene un 30% de fierro, aproximadamente la mitad del cual tiene propiedades quelatantes.

Según Thompson (1966) el término quelato se deriva de la palabra griega que significa cadena, los quelatos son compuestos orgánicos que se combinan con los metales de manera que éstos quedan inmovilizados, si bien la combinación es soluble en agua. los metales son lentamente intercambiables con otros (u otros cationes). El sulfato ferroso es soluble en agua; no obstante, se ioniza en el suelo; entonces el ion ferroso pasa muy fácilmente a

férrico y se precipita en esta forma. Sin embargo, el quelato de fierro es soluble en agua y no se ioniza en el suelo. El fierro queda en una forma que puede ser absorbido por las raíces de las plantas. Uno de los quelatos más conocidos para el tratamiento de la clorosis férrica es el ácido etilendiamintetracético (EDTA), conocido comercialmente como verseno o secuestreno.

Un estudio hecho por Ferrandon (1988) para especificar sobre aspectos del comportamiento de quelatos aplicados a las hojas en comparación con formas Inorgánicas, comprobó que al realizar experimentos con cutículas de frutos de tomate, para comparar las afinidades de la absorción de la cutícula por afinidad respectivamente, de las formas Orgánicas e Inorgánicas (EDTA) de Fe, Mn, y Zn. Se encontró que, excepto en el caso del fierro las diferencias no fueron significativas, la absorción cuticular fue baja con EDTA que con las formas Inorgánicas. Experimentos paralelos fueron realizados con plantas completas de chícharo, para medir los niveles de absorción tras la posterior localización in situ de Fe, Mn y Zn aplicados sobre las hojas, en forma de cualesquiera de estos dos quelatos EDTA o la sal sulfatada. Para ambos tipos de compuestos, la fijación extensiva ocurre en el área tratada, los 3 elementos fueron absorbidos de igual manera como quelatos que como sales Inorgánicas de acuerdo con los resultados de muestras de cutículas, mientras que la traslocación posterior en el interior de la planta fue mucho mayor con los quelatos. Sin embargo la combinación de estos 2 parámetros, absorción y

traslocación algunas veces incrementan las preguntas sobre los quelatos como fertilizantes foliares con respecto a su costo superior y sin ningún efecto positivo sobre los componentes del rendimiento.

De acuerdo con Ortiz y C. Alberto (1980) en el Cuadro 1 nos presentan los micronutrientes fierro y zinc así como sus fuentes y formas de aplicación más comúnmente usadas ya sea como aplicaciones al suelo o a la planta; en el cual se puede observar que las aplicaciones al suelo son mucho mayores que las aplicaciones a la planta debido a que en el suelo hay muchas perdidas por fijación del elemento en cuestión, mientras que en las aplicaciones a la planta las perdidas son menores, y por lo tanto más eficientes.

**Cuadro 1** Micronutrientes esenciales y sus formas de aplicación para las plantas.

MICRO ELEMENTO	MATERIALES	APLICACIONES AL SUELO	ASPERCION FOLIAR
Fierro	Sulfato Ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	15 a 20 Kg/Ha	1.25Kg/100 l de agua
Zinc	Sulfato de Zinc ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	5.0 a 50 Kg/Ha	1.25g/100 l de agua

#### 2.2.4.- Factores que afectan la aplicación de fertilizantes al suelo.

Arroyave (1977) asegura que la fijación de cualquier nutrimento puede ser definida como un proceso mediante el cual los nutrimentos en solución son transformados a formas menos solubles como consecuencia de sus reacciones con compuestos orgánicos y/o minerales del suelo; lo cual trae como resultado que dichos nutrimentos se verán restringidos en su movilidad, disminuyendo la disponibilidad para las plantas.

Según Thopson (1966) menciona algunos factores que pueden afectar la aplicación de fertilizantes al suelo.

##### 1).- EL CLIMA

Si la precipitación supera los 1000 mm/año la posibilidad de sequía es poco probable que el empleo de fertilizante carece de riesgo.

##### 2).- TIPO DE COSECHA

EL empleo de maíz híbrido ha exigido un aumento en la demanda de fertilizantes. Las variedades de polinización abierta no pueden emplear todos los elementos nutritivos que contiene el suelo, mientras que el maíz híbrido requiere un suelo que pueda proporcionarle una buena cantidad de elementos nutritivos

asimilables. Las sucesivas mejoras en el maíz híbrido y una investigación más completa se han desarrollado en un suelo más fértil, y por lo tanto, el empleo sucesivo de las variedades de maíz híbrido requieren que el agricultor efectúe la siembra en un suelo fértil o fertilizado.

## **2.2.5.- Síntomas de deficiencias de fierro y zinc en la planta**

### **2.2.5.1.- Deficiencias de zinc**

De acuerdo con Rodríguez (1991) el zinc es sin duda el micronutriente cuya deficiencia esta más extendida en los cultivos de maíz. En fases muy diferentes de desarrollo de la planta, el primer síntoma de deficiencia es la aparición de zonas decoloradas a ambos lados de la nervadura, en el tercio inferior de las hojas sub-basales. Estas manchas progresan rápidamente formando 2 bandas pálidas traslucidas que se extienden hacia la parte terminal de la hoja. En casos graves estas decoloraciones se manifiestan sobre las hojas siguientes, mientras que las hojas más viejas adquieren un color rojo cobre y en seguida violeta, se necrosan y mueren (Lubt [1965]); El síntoma más característico es la clorosis progresiva entre nervaduras de las hojas jóvenes principalmente. Se reduce el crecimiento de las hojas y del tallo, con frecuencia arrositado en los brotes. Los síntomas de deficiencia corresponden generalmente a contenidos en la planta inferiores a 15 ppm de Zinc.

Henry (1965) sostiene que las deficiencias de zinc generalmente se presentan en zonas de elevada insolación y alta temperatura en verano.

#### **2.2.5.2.- Deficiencias de fierro**

Bowen (1981) concluye que por lo general se considera que este microelemento es inmóvil en la planta, aunque al parecer hay pruebas que esta supuesta inmovilidad no es tan estricta, es decir al parecer hay algún movimiento dentro de la planta, no obstante, la mayor parte del fierro en la planta está ligado a los tejidos que llegó primero. muy poco fierro se traslada de las hojas más antiguas a las nuevas. Por esa razón los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas más nuevas. El tejido de las áreas entre las nervaduras es el primero que se vuelve amarillo. En ese estado las nervaduras permanecen verdes porque el poco fierro que llega a las hojas es utilizado por las células más cercanas a las nervaduras para sintetizar clorofila. Las franjas verdes y amarillas intercaladas comienzan en la base de la hoja, pero más tarde abarcan toda la extensión. En casos de deficiencia severa en toda la hoja, incluso las nervaduras, se tornan amarillas y a veces hasta blanca. A medida que esa condición empeora progresivamente, las partes cloróticas o toda la hoja se vuelven necróticas. Las plantas resultan delgadas y débiles y no se lleva a cabo una floración ni fructificación normales. El desarrollo queda retardado y la planta puede morir.

Aldrich y Leng (1974) manifiestan que en las deficiencias de fierro, las hojas superiores adquieren un color verde pálido hasta ponerse casi blancas entre las nervadura, se ve afectada la longitud total de las hojas.

## 2.2.6.- Niveles normales de fierro y zinc en el suelo y la planta

### A).- Concentraciones en la planta

Melted et al 1969 citado por Gamboa (1980) en el Cuadro dos definen que el nivel critico en maíz, para la hoja opuesta a la mazorca y en el momento en que aparece la inflorescencia masculina los niveles de fierro y zinc son:

**Cuadro 2** Los niveles críticos para fierro y Zinc en maíz, para la hoja opuesta a la mazorca y en el momento en que aparece la inflorescencia.

Microelemento	Concentración en ppm
Fierro	25
Zinc	15

### B).- Concentraciones en el suelo

Villarroel (1979) asegura que el contenido del zinc en el suelo varia de 10-330 ppm con valores ocasionalmente superiores o inferiores (Kalwar 1976; Nuñez y laird 1976; Chapman 1973), sin embargo solo una pequeña fracción 0.5-20 ppm se encuentra en forma

asimilable (soluble o intercambiable), el resto esta en forma de carbonatos.

Según Bowen (1981) el ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en presencia de oxígeno se oxida fácilmente a ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), cosa muy importante ya que al parecer las plantas acumulan el ion férrico selectivamente. Esta tasa de conversión de ion férrico a ferroso, es inversamente proporcional a la concentración de iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) en el suelo es decir del pH, y cuando más bajo sea, más estables serán los iones  $\text{Fe}^{3+}$ ; El Fierro es fisiológicamente activo en forma ferrosa, por eso el  $\text{Fe}^{3+}$  absorbido debe ser reducido en las células de las raíces a la forma ferrosa. La solubilidad tanto del ion férrico como del ferroso en el suelo dependen del pH (ver Cuadro 3), la máxima solubilidad del  $\text{Fe}^{3+}$  se da a un pH de 3 a 5, en tanto que el  $\text{Fe}^{2+}$  es suficientemente soluble hasta un pH de 7.0.

**Cuadro 3** Solubilidad del ion ferroso en función del pH del suelo.

pH DEL	SOLUBILIDAD DEL $\text{Fe}^{2+}$ ppm
6.3	1,000.0
6.5	352.0
7.0	35.0
7.5	3.5

C).- Concentraciones de fierro y zinc en diferentes etapas de desarrollo de la planta.

Gamboa (1980) comenta que la concentración de nutrientes en la hoja no es constante durante la vida de la planta, ni tan siquiera, a lo largo de la planta misma. Casi todos los investigadores coinciden en hacer el análisis al momento de la floración sobre una de las hojas, aunque difieren sobre que hoja ha de analizarse.

Morvedt et al (1972) agregan que la concentración de fierro en plantas jóvenes puede ser extremadamente alta, alcanzando niveles en exceso de 300 a 400 ppm. Gorsline et al (1965) encontraron valores de fierro de 350 ppm en plantas jóvenes de maíz, los cuales disminuyeron a menos de 100 ppm justo antes de la floración. Sin embargo algunos de los valores elevados que se han presentado pueden ser por contaminación con suelo. Jones (1970) noto que el fierro tiende a acumularse en cierto grado en los márgenes de las hojas de maíz; además citaron a Gorsline et al (1965) el cual encontró que la concentración de zinc en hojas de maíz disminuía con la madurez; Jones (1970) manifiesta que en uno de sus experimentos observo que la concentración de zinc en las hojas superiores del maíz era mayor que la observada en las hojas inferiores; usando la concentración de zinc de la nervadura media, pues fue la mitad de la encontrada en el resto de la superficie de la hoja.

## **2.3.- Efecto de Dosis altas en el Suelo**

### **2.3.1.- Toxicidad del zinc en la planta**

Rodríguez (1991) comenta que los síntomas de toxicidad en la planta son la reducción del crecimiento de la raíz y desarrollo de las hojas, seguido de clorosis. En algunas especies se han comprobado una elevada tolerancia, debido a la propiedad de fijar éste elemento en la pared celular.

### **2.3.2.- Toxicidad de fierro en la planta**

Rodríguez (1991) agrega que además se pueden presentar problemas de toxicidad en la planta, especialmente si en el suelo se dan condiciones reductoras como en el caso de los suelos inundados. En estos suelos, puede elevarse la concentración de fierro desde menos de 1 ppm hasta 50-100 ppm.

Bowen (1981) afirma que el fierro puede ser tóxico para las plantas, especialmente en condiciones de alta precipitación y drenaje deficiente. Las condiciones anerobias resultantes inhiben la oxidación del ion  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ . Por lo tanto el ion  $Fe^{2+}$  se acumula hasta alcanzar niveles dañinos. Esta condición se manifiesta en las plantas como un moteado en las hojas. Las motas son inicialmente lesiones pequeñas de color amarillo, pero crecen rápidamente y el centro adquiere un color anaranjado y finalmente un castaño oscuro.

Las plantas afectadas severamente pierden las hojas más rápidamente que las plantas sanas.

#### 2.4.- Análisis de Suelos

Wooding (1967) comenta que podemos distinguir en el análisis de suelos, 2 finalidades primordiales. Primero la finalidad práctica de descubrir las deficiencias de nutrientes para hacer recomendaciones. El otro es la especificación exacta y cuantitativa de un suelo a fin de conocer su constitución y de compararlo con otros suelos, este propósito es fundamentalmente científico.

Worten y Aldrich (1959) comentan que con respecto al primer propósito, los análisis pueden permitir la separación de los suelos con fertilidad baja, media y alta; pero no pueden determinar de modo preciso la cantidad de fertilizante a aplicar, aunque puede servir de base para decidir si no se aplicara nada o se aplicara cierta cantidad.

Bowen (1981) agrega que el análisis de suelos podría usarse para determinar la deficiencia de fierro. sin embargo, en la práctica, los métodos actuales para analizar el fierro en el suelo no miden con precisión el fierro disponible. Por lo tanto, el análisis de suelos es de poca utilidad.

Tisdale y Nelson (1970) aseguran que se han aplicado muchas

clases de soluciones extractoras en un esfuerzo por relacionar los resultados de los muestreos de suelos con el crecimiento de las plantas. pero si se considera que la solución extractora está en contacto con el suelo por unos minutos solamente, la tarea se complica mucho más.

La importancia de los análisis de suelos es vital por tal motivo Kayode (1985) hizo estudios en suelos calcáreos del suroeste de nigeria, este estudio indica, que la adición de NPK y Mg fue necesaria para elevar la producción de maíz en suelos boscosos derivados de materiales sedimentarios, mientras que, en suelos de bosques y sábanas formados por un complejo basamento de rocas, inclusiones de Mg, Fe, Cu y Zn en adición de NPK requerido. Estos son después confirmados por los análisis de tejidos de hojas bandera y suelos.

#### **2.4.1.- Calibración de las pruebas de suelo**

Vázquez (1988) comenta que la relación entre resultados de análisis de suelos con experimentos de campo sobre fertilizantes es necesaria para evaluar las aplicaciones de fertilizantes en los cultivos. Esto es porque los niveles de muchos factores no pueden controlarse en el campo, ni tampoco los análisis de suelo dan una idea exacta de la cantidad de nutrientes utilizados por las plantas, por lo que la calibración de los análisis de suelos debe ser hecha con las aportaciones de experimentos de campo.

## 2.5.- Análisis de Tejido Vegetal

Inglet y Aldrich (1970) aseguran que hace casi 20 años que se utilizan los análisis de tejido vegetal, como una herramienta entre varias para diagnosticar los problemas que afectan los cultivos, Los análisis de tejidos muestran cuando hay deficiencias o abundancia de nutrientes en la planta según sea el caso se dirige la atención hacia otras causas del crecimiento no satisfactorio de la planta; confirman un diagnóstico de deficiencia de nutrientes sobre la base de síntomas visibles, si se analizan los tejidos solamente una vez, el mejor momento es el inmediato posterior a la emergencia del estilo, ya que éste es el período de mayor necesidad de nutrimentos. Para interpretar los resultados es necesario conocer bien los suelos, las fuentes de fertilizantes que se estén utilizando, la absorción de ellos por las plantas, los niveles necesarios en las distintas etapas del crecimiento de las plantas y la influencia del tiempo en los días anteriores al análisis.

Tisdale y Nelson (1970) agregan que las pruebas rápidas para la determinación de elementos nutritivos en la savia de la planta o en los tejidos frescos ocupan un lugar muy importante en la diagnosis de las necesidades para el crecimiento de las plantas. En estas pruebas el jugo procedente de las células rotas es analizado para ver el nitrógeno, fósforo y potasio, no asimilados. También se usan pruebas para otros elementos como magnesio y manganeso, los resultados se expresan como muy bajo, bajo, mediano o alto.

### 2.5.1- Importancia del análisis foliar

Vidal F.C. 1965, citado por Alvares L. (1970) menciona que la planta es el medio natural de indicación de la fertilidad de los suelos ya que su funcionamiento depende de una serie de factores de los cuales uno de los más importantes son los elementos nutrientes que la planta puede obtener del suelo, encontrándose estos en forma nativa o pudiendo haber sido suministrados por medio de fertilizantes y en cantidades determinadas por las necesidades de la planta, las cuales solo pueden ser determinadas conociendo el contenido o concentración de los elementos nutritivos dentro de la planta mediante el análisis de sus tejidos.

Aunque Kayode (1985) afirma que concentraciones elevadas de nutrientes en la hoja bandera, no necesariamente garantizan altos rendimientos en maíz.

Según Vázquez (1988) los propósitos del análisis foliar pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- 1.- Diagnosticar o confirmar diagnósticos de síntomas visuales.
- 2.- Identificar problemas ocultos.
- 3.- Localizar áreas de deficiencias incipientes.

4.- Determinar si los nutrientes aplicados entraron a la planta o no.

5.- Determinar interacciones o antagonismos.

Hasta cierto punto los problemas encontrados en el uso de análisis de plantas quizás podrían ser interpretados con oportunidad, para mejorar dicho tipo de análisis en el futuro algunos de los problemas más importantes son:

- a).- Tipo de especie.
- b).- Tiempo de muestreo.
- c).- Parte de la planta.
- d).- Niveles críticos correlacionados al rendimiento.

Bould y del Rivero citados por Arriaga (1985) señalan que el análisis foliar está basado en los siguientes argumentos:

- a).- Las hojas son el principal lugar de metabolismo de las plantas
- b).- Los cambios en el abastecimiento de nutrientes se reflejan en la composición de las hojas.
- c).- La concentración de nutrientes de las hojas en etapas específicas de desarrollo se refleja en la producción. y

d).- Las fluctuaciones de los niveles de nutrientes se acusan menos en las hojas.

Por ello son las hojas la parte ideal para practicar el análisis de tejidos.

Según Vázquez (1988) explica que al mejorar las condiciones para el crecimiento de las plantas por medio de una alteración de un factor de crecimiento puede no tener efecto si un factor es limitante. Esta relación la cual se conoce como "Ley del mínimo" fue desarrollada por Sprengel, y su significancia para la producción de cultivos fue parcialmente propuesta por Justus Von Liebig, si se conoce y corrige el factor de crecimiento limitante se obtiene un incremento en el rendimiento, pero a medida que se van corrigiendo los factores limitantes los incrementos en el rendimiento comienzan a ser más pequeños.

Arriaga (1985) señala que el funcionamiento o aprovechamiento del análisis de las hojas se encuentra en la "ley del mínimo" establecida por Liebig y su versión posterior de la "ley de respuestas decrecientes" de Mitscherlich et al, según este principio, sólo cuando el nivel de un nutriente en las hojas está por debajo del subóptimo se podrá esperar una respuesta que valga la pena para la aplicación del elemento deficitario. El mayor efecto se logrará incrementando el factor mínimo. Una vez corregido, uno de los otros factores severos puede convertirse a su

vez en mínimo y seguirá aplicándose la misma ley.

Bould 1966 citado por Arriaga (1985) afirma que existe una fuerte correlación entre la concentración de los elementos en las hojas y el crecimiento, por lo que la interpretación del estado nutricional en base a la composición de las hojas, es comparable sólo con el efecto en el crecimiento y no con el medio en el cual esa composición fue obtenida.

## **2.6.- Importancia de la Fertilización Foliar**

Aldrich y Leng (1974) están convencidos que la vía más eficaz para suministrar ciertos nutrientes a algunos cultivos es la aplicación a través de la hojas. Esta "nutrición" foliar presenta una ventaja específica: escapa a la capacidad de los suelos para fijar ciertos nutrientes bajo formas químicas no asimilables por las plantas (La capacidad de fijación de ciertos suelos puede evitarse formando un "quelato" con el nutriente); La nutrición foliar, se adecua principalmente a los micronutrientes que se requieren en cantidades muy pequeñas y son eficientemente absorbidos por las hojas. Hasta el momento la nutrición foliar no ha resultado económica para la aplicación de macronutrientes en maíz, ya que este necesita cantidades tan grandes de nitrógeno, fósforo y potasio, que deberían realizarse entre 10-20 aplicaciones separadas para suministrar una cantidad suficiente de nutrientes e impedir la quemazón de las hojas. Aunque el maíz absorbe nitrógeno,

fósforo y potasio durante todo su ciclo de crecimiento, las necesidades de potasio se satisfacen un poco antes. Las curvas de absorción de nutrientes son interesantes pero ellas no indican específicamente el momento en que deben aplicarse el fertilizante. Cuando la planta de maíz tiene una altura de 15 cm, las hojas no retienen más de un 5 % de la pulverización; cuando la planta tiene 60 cm, la cifra probablemente sea menos del 25%. en otras palabras, la mayor parte del fertilizante de una aplicación foliar, en realidad caerá al suelo.

De acuerdo con Jelenic et al (1986) se ha utilizado con mucho éxito aspersiones foliares de Hierro y Zinc como biorreguladores del crecimiento en vid, en un experimento de campo, injertos de vid fueron sumergidos en soluciones de Agrostemin y sales de Mn, Zn o B adicionados al suelo, en el segundo año, estos tratamientos fueron aplicados como sprays foliares, Las vides mostraron un incremento en su crecimiento y en los contenidos de B, Mn, y Zn, otro de los resultados fue al aplicar los sprays foliares conteniendo N, Fe o Zn, sobre el crecimiento y los contenidos de N, K, Fe o Zn en los maíces que crecen bajo riego en ausencia de N, Fe o Zn; el Zinc foliar mostró algo de movimiento hacia las raíces, los cambios en la actividad exo-osmótica de la raíz se estuvieron midiendo. Cuando las raíces intactas de peral fueron puestas dentro de un frasco conteniendo soluciones de Fe, Zn, Mn o Cu, el Fe, Zn y Mn mostraron poco incremento en las hojas.

Gamboa (1980) en diagnosis foliar se usa el termino de nivel critico. Este concepto tiene diversas definiciones, pero según gamboa aquí lo usaremos como <<El umbral mínimo de contenido de nutrientes que permite conseguir el 95 % del rendimiento máximo.>>

Bould y del Rivero citados por Arriaga en (1975) mencionan que Ulrich fue el que introdujo en 1948, el concepto de " nivel critico de nutrientes" definiéndolo como el " rango de concentración en que el crecimiento de la planta es restringido en comparación con las plantas con un alto nivel de nutrientes." Considera tambien que la concentración de nutrientes en una planta esta en función de las variables que influyen en ella, de ahí se derivan las bases del análisis foliar establecidas por los conceptos "porcentaje critico de nutrientes" y " balance de nutrientes". El primero establece que para el mejor desarrollo de cualquier especie vegetal se necesita una concentración determinada de cada elemento nutritivo, cantidades superiores ocasionan un consumo excesivo sin que se traduzca a un mayor desarrollo y producción y si un efecto tóxico; en cambio valores por debajo del nivel critico significan un estado deficitario.

Walc et al Citado por Morvedt et al (1972) mencionan las siguientes ventajas del análisis foliar.

- 1.- Eliminación de las reacciones complicadas en el suelo.

- 2.- No se requiere irrigación, para movilizar los compuestos hacia la zona de la raíz.
- 3.- Una economía considerable de materiales al efectuar la aplicación foliar.
- 4.- Una respuesta más rápida del fierro aplicado, también citan algunas desventajas como son.
  - a).- Mayor oportunidad de toxicidad
  - b).- Aplicación incompleta con una respuesta subsecuente heterogénea y
  - c).- Necesidad de aplicaciones repetidas

## **2.7.- Técnicas Usadas en el Análisis de Suelo y Tejido Vegetal**

Reyes et al citados por Arriaga (1985) sostienen que en los últimos 30 años el avance en métodos instrumentales de análisis ha sido enorme. Las técnicas de análisis de precipitación y calorimetría comunes, se han visto desplazadas por las técnicas espectroscópicas de emisión de flama y absorción atómica, cuya introducción en la investigación agrícola ha traído un mayor conocimiento de la química de diversos elementos en el suelo y las plantas. Así mismo, la absorción atómica presenta algunas ventajas para el análisis de ciertos elementos sobre la emisión de flama y viceversa. El equipo de absorción atómica está diseñado para obtener la concentración de elementos considerados actualmente como esenciales para el buen desarrollo de los cultivos como son el

Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Sodio (Na).

El principio de la Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) es igual a la Espectrofotometría de Emisión de Flama (EEF), excepto que se mide la energía que absorben los átomos en lugar de medir la energía que éstos emiten. En las técnicas de EEF la muestra se eleva a un estado de excitación y se determina la intensidad de la radiación que emiten los átomos cuando éstos regresan al estado de mínima energía. En EAA se lleva a cabo el proceso inverso; el elemento de interés en la muestra no se excita, sino que se disocia en sus enlaces químicos y se coloca en un estado no excitado, no ionizado y de mínima energía bajo estas condiciones, el átomo del elemento es capaz de absorber radiación externa de la misma longitud de onda proveniente de una fuente de luz que es la que se determina. Las energías de emisión y absorción no tienen siempre la misma longitud de onda y cada elemento tiene su propio espectro de emisión y absorción. La radiación en la longitud de onda donde ocurre la emisión y absorción, son útiles en EAA y se conocen como "líneas de resonancia". La técnica de análisis por EAA utiliza la energía de emisión y absorción. Generalmente se usan lámparas de cátodo al vacío y de descarga como fuentes de luz o energía en las cuales el cátodo está fabricado o revestido por el elemento en que se va a analizar. La luz proveniente de la lámpara de cátodo al vacío pasa a través de una flama, en la cual se aspira la muestra en solución que se va a analizar. Los átomos que están químicamente

disociados y en su estado mínimo de energía, absorbe la radiación emitida en líneas discretas. La absorción es proporcional a la concentración del elemento en la muestra aspirada (Ley de Beer ) y detectores electrónicos miden el cambio en la cantidad de luz o energía que ha pasado a través de la flama. Las señales que se obtienen de los detectores se incrementan y aparecen, según el tipo de instrumentación, como porcentaje de absorción, unidades de absorvancia, directamente en concentración o en gráficas, si se utiliza un registrador. La EAA se ha considerado libre de interferencias; sin embargo ciertas características físicas de las soluciones aspiradas han producido señales de absorvancia atómica para el elemento que difieren de aquellas para cantidades conocidas en soluciones acuosas "simples". Las soluciones de muestras biológicas son más complejas que las muestras inorgánicas y su variabilidad es impredecible.

## **2.8 Influencia del pH y la CE en la Disponibilidad de Fierro y zinc**

De acuerdo con Vázquez (1988) la concentración de los iones  $H^+$  en la solución del suelo como tal tiene poca importancia sus efectos indirectos, sin embargo son muy importantes en la fertilidad del suelo, ya que afecta la solubilidad de varios nutrientes como el Fierro y zinc además del fósforo, manganeso y molibdeno.

Gamboa (1980) define al maíz como una planta relativamente sensible a la salinidad, Hussan y otros en 1970 en un ensayo

realizado en macetas, encontraron que el rendimiento decrecía con la salinidad, linealmente, especialmente cuando la conductividad eléctrica a 25°C centígrados en el extracto de saturación fue de 8 mmhos/cm.

## 2.9.- Trabajos Realizados

Vázquez et al (1991) establecieron un experimento en la localidad de Marín N.L. el 20 de julio de 1990, usando como material experimental al maíz criollo Blanco Alemán, haciendo aplicaciones foliares con sulfato ferroso y de zinc analizados bajo el diseño Experimental Plan Puebla 1, utilizando las mismas variables que se usaron en este experimento, teniendo como resultado que las variables de tipo agronómico que se analizaron, no mostraron diferencia significativa, sin embargo el nivel de Fe y Zn en las hojas, mostró diferencias altamente significativas lo cual se puede apreciar en el Cuadro 4, además de que el tratamiento que tuvo el nivel más alto de Fe, fue el 6 seguido por el 5. En cuanto al análisis foliar de Zn el tratamiento 4 fue el que mostró niveles más altos de este elemento. De acuerdo a la bibliografía el fierro se ha reportado con un nivel adecuado de 50-250 ppm mientras que el Zn fluctúa de 15-50 ppm y con una media adecuada de 31-36.6 ppm (Halim et al. 1986). En este experimento solo el testigo mostró niveles inferiores a los permisibles, pues para el fierro fue de 35.45 ppm y para el Zn 11.59 ppm, muy por debajo de los niveles sugeribles.

**Cuadro 4** Concentración de la información de análisis foliar de Fe y Zn

T	aplicaciones		Fe ppm		Zn ppm	
	Fe	Zn				
1	1	2	16.43	e	82.15	AB
2	2	1	210.11	BC	58.12	A
3	2	2	228.49	BC	77.15	AB
4	2	3	325.02	BC	105.61	A *
5	3	2	333.55	A *	90.01	AB
6	3	3	229.15	A **	80.32	A
7	3	4	229.15	ABC	80.32	AB
8	4	3	298.75	AB	104.71	A
9	0	0	35.45	D	11.59	C
Significancia			**		**	
DMS			107.93		29.46	
CV			23.88%		19.30%	

Otras de las conclusiones a que se llegaron; son que se obtuvieron resultados diferentes debido a las diferentes concentraciones de Fe el cual no daño al follaje; sin embargo el Zn causo quemaduras, además que la planta no respondió a la presencia combinada de ambos elementos, observándose una correlación baja, pues el fierro no modifico el patrón de absorbancia del Zn ni el Zn la del Fe.

Viets et al 1953 citado por Morvedt et al (1972) reportaron que la aplicación de aspersiones de  $ZnSO_4$  en maíz en la zona central de Washington estimulaba el crecimiento, pero tenía poco efecto en el rendimiento. Sin embargo, en el mismo estudio, las aplicaciones laterales de  $ZnSO_4$  no afectaron el rendimiento, aun cuando las concentraciones de zinc dentro de la planta fueron incrementados en forma notoria.

Duncan 1967 citado por Morvedt et al (1972) observo que las deficiencias de zinc en maíz en los Darling Down en Queensland Australia, podían ser efectivamente controladas si se asperjaba una o dos veces con soluciones de 0.5, 1.0 o 1.5 % de  $ZnSO_4$ , iniciándose estas 5 semanas después de la emergencia.

A partir de trabajos en california Krantz y Brown 1967 citado por Morvedt et al (1972) han concluido que los tratamientos de Fierro al sorgo y plantas relacionadas pueden alcanzarse mejor por aplicaciones de una solución al 3 % de  $FeSO_4$  como aspersion foliar en cantidades suficientes para humedecer las plantas. Los mismos autores también notaron que el  $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$ , ha sido igualmente efectivo en aspersiones en la misma concentración como  $FeSO_4$ .

Varro y Gyori (1987) estudiaron como procesos de transporte de elementos radioactivos el Fierro y Zinc, como isotopos, el transporte de los elementos traza en las hojas de maíz es investigada por la aplicación de Isotopos radioactivos como son Mn-54, Fe-59, Cu-64, y Zn-65. El coeficiente de difusión para los iones Mn y  $Fe^{3+}$  fueron  $3 \cdot 10^{-16}$  m<sup>2</sup>/seg y  $2 \cdot 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/seg respectivamente. El transporte de iones  $Cu^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  es similar y esta caracterizado por el coeficiente de difusión de  $3 \cdot 10^{-15}$  m<sup>2</sup>/seg y  $3 \cdot 10^{-13}$  m<sup>2</sup>/seg.

Fouly et al (1984) aseguran que en suelos pobres donde se ha

demostrado que el fierro es uno de los principales deficientes, tanto en cereales como en leguminosas fueron estudiados en los años 1977-1981 con 6,000 muestras de suelo y 4,000 de hojas principalmente de naranjos, uvas, cereales, leguminosas y papas, que fueron colectadas de el valle nilo y sus áreas desérticas del Delta. La mayor deficiencia de nutrientes fundamentalmente fue en Fe, Mn y Zn, las deficiencias de Fierro dominaban en suelos calcáreos, las deficiencias de Zinc en suelos arenosos, y las de Manganeso en suelos aluviales. Los cultivos más sensibles a las deficiencias de Fe fueron las leguminosas, mientras que los cereales, especialmente en maíz y Arroz fueron los más sensibles a la deficiencia de Zn.

Garg (1987) discute la significancia de fertilizantes a base de zinc en trigo y el efecto de Zn y Fe en la senescencia del frijol, con respecto a la nodulación y fijación del nitrógeno. En el control de plantas de trigo afirma que el AII y la clorofila a y b fueron las máximas a los 65 días y el área foliar y la totalidad de peso seco fue incrementado con la edad. El rango óptimo en las aplicaciones de zinc en conclusión fue de 12 mg/kg de suelo para trigo; para *P. vulgaris* 5 mg Fe + 5 mg Zn/kg de suelo. siendo la óptima para la inhibición de la senescencia de las hojas, para el máximo contenido de clorofila, actividad nitrato reductasa, numero de nódulos y componentes del rendimiento.

Un estudio hecho por Sakal et al (1988) en un cultivo de

macetas con 5 cultivares de arroz, revelo que la relación de Fe:Zn estuvo dirigida a tejidos de alta susceptibilidad al Zn, tanto el cultivar sita altamente susceptible a la deficiencia de Zn, como el cultivar UPR 238 que es tolerante, mientras crecían en ausencia de aplicaciones de Zn se obtuvo que las aplicaciones de Zn redujeron la relación Fe:Zn en sita en mayor proporción que en el cultivar UPR 238, los brotes en la producción de materia seca fueron negativamente correlacionados con la relación Fe:Zn. Para la máxima producción de materia seca el óptimo en la relación Fe:Zn en la vaina de la hoja brotes y raíces fue de 4.5, 5.2, y 40.6 respectivamente.

Elgala *et al* (1986) diseñaron experimentos en suelos de egipto, con el fin de evaluar los niveles críticos de Fe, Mn y Zn los cuales estuvieron correlacionados positivamente con estas concentraciones en las hojas de maíz (Zea maíz). Se sembraron plantas en suelos con y sin aplicaciones de Fe, Mn y Zn con sales de EDTA. Las correlaciones solamente fueron significativas para Zinc, usando el método de extracción DTPA, los niveles críticos sugeridos de Fierro en suelos aluviales arenosos y calcáreos fueron 5.6, 3.4 y 3.8 mg k<sup>-1</sup> respectivamente. Los niveles críticos sugeridos de Mn en suelos arenosos y calcáreos fueron 1.4 y 1.2 µg(microgramos) g<sup>-1</sup>(gramo) respectivamente. Los niveles críticos de Zinc en suelos aluviales y calcáreos fueron 0.9 y 0.7 µg g<sup>-1</sup>, respectivamente, pero valores no críticos fueron detectados para los suelos arenosos.

El retardo en los síntomas de clorosis estuvo observado de la sexta a la novena hoja del período de crecimiento en E. Croacia y Bosnia Por Kovacevic et al (1988) en este estudio el análisis de plantas mostró que la clorosis en el crecimiento de plantas sobre suelos ácidos estuvo inducida por la toxicidad al Aluminio y deficiencia de fósforo en suelos calcáreos por la deficiencia de Zinc y esas sobre Gleisoles por deficiencias de fósforo. Los síntomas de clorosis atípica (Amarillo verdoso de las hojas) generalmente ocurre en cambisoles y los síntomas se atribuyeron a la toxicidad al Aluminio y Fierro. Estos desordenes nutricionales como son la reducción de la planta contienen de 4.6-10 proporciones y se incremento la toma del fierro y Aluminio de 1.9-4.7 proporciones.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1.- Ubicación del Experimento

El presente trabajo se estableció en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, que se encuentra localizada en el km. 17 de la carretera Zuazua-Marín, siendo sus coordenadas geográficas 25°53' latitud norte y 100°02' longitud oeste, con una elevación sobre el nivel del mar de 367.3 m. La precipitación pluvial promedio anual es ligeramente superior a los 500 mm y la temperatura media anual es de 22°C. El clima predominante en la región es semiárido BS (h) hx (e), de acuerdo a la clasificación climática de Köpen, modificada por Enriqueta García. Los suelos son calcáreos, los cuales se encuentran cubiertos por una vegetación de matorral espinoso con espinas terminales.

#### 3.2.- Descripción del Experimento

El experimento se sembró el 7 de febrero de 1991 usando el maíz criollo Blanco Alemán con una distancia entre surcos de 80 cm y una longitud de parcela de 5 metros. El maíz blanco alemán, es una variedad criolla de polinización libre adaptada a la región, y se está utilizando porque presenta un buen rendimiento de forraje, además de un alto rendimiento de grano en comparación con otras variedades criollas o mejoradas e híbridos. El diseño fue en bloques al azar con 4 repeticiones y 8 tratamientos con un arreglo de tratamientos en una matriz experimental Plan Puebla No 1 (PPI)

esto se puede ver en la Figura 1.

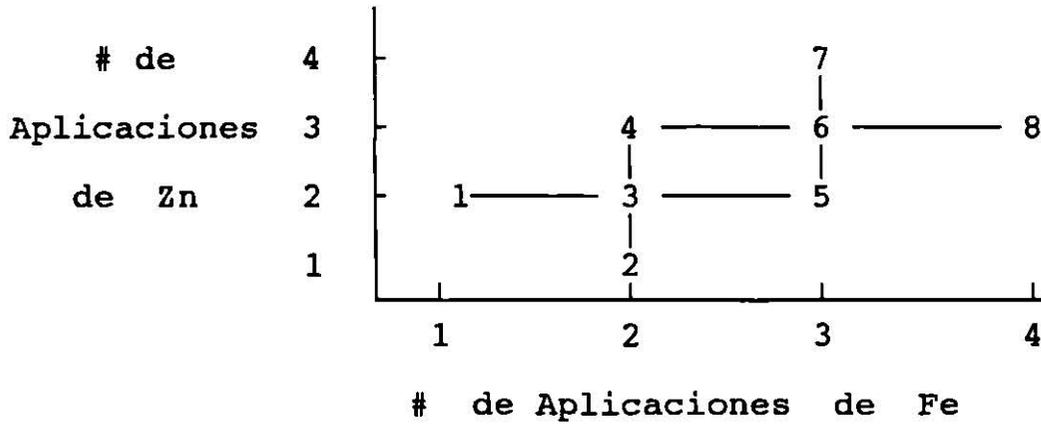


Figura 1 Espacio bivariado de exploración de la matriz PPI para el número de aplicaciones de hierro y zinc.

Cuadro 5 Selección de tratamientos de acuerdo al número de aplicaciones de Fe y Zn, conforme a la matriz PPI.

Trata.	No de apl.de		Numero Total de aplicaciones
	Fe	Zn	
1	1	2	2
2	2	1	2
3	2	2	2
4	2	3	3
5	3	2	3
6	3	3	3
7	3	4	4
8	4	3	4

En el cuadro 6, se muestra el croquis del experimento así como la distribución de cada uno de los tratamientos en el área de estudio.

**Cuadro 6.** Croquis del experimento en el cual se muestra la distribución de los tratamientos.

II	I
3	5
7	4
5	7
6	6
4	8
8	3
1	2
2	1
3	7
4	8
5	2
1	3
8	1
2	5
7	4
6	6
III	IV

Los ocho tratamientos que se seleccionaron del PPI (ver Cuadro 5) se distribuyeron en el campo en un total de 32 unidades experimentales. Cada parcela útil estaba formada por cuatro surcos de 3.0 metros de largo. Como fuentes de fertilizantes se utilizaron el Sulfato Ferroso y de Zinc, efectuando de 1 a 4 aplicaciones de cada uno .

### **3.3.- Procesamiento de la Información**

Los datos que se obtuvieron dentro de las variables medidas y los obtenidos en el laboratorio, fueron ordenados y analizados con el paquete estadístico SPSS/PC+ (Statistical Package for Social Science), primero se creó una base de datos en el paquete PW después se exportaron al paquete estadístico, realizando un análisis de varianza en bloques al azar, después con el mismo paquete estadístico se desarrolló un análisis de correlación, y con las variables que resultaron significativas posteriormente se les efectuaron regresiones por el método stepwise, lineales, cuadráticas y además se analizó el polinomio de segundo grado y dependiendo de las variables que entraran en las diferentes regresiones de acuerdo a su significancia se procedió a graficar.

#### **3.3.1.- Análisis de correlación**

Se efectuaron análisis de correlación entre todas las variables estudiadas, seleccionándose las que superaban un 60% de relación entre variables además que tuvieran importancia biológica y experimental.

#### **3.3.2.- Análisis de regresión**

A las variables que resultaron significativas en el análisis de varianza de acuerdo al arreglo de tratamientos para la matriz

experimental Plan Puebla 1 (PPI), se les practicó un análisis de regresión simple o múltiple según el caso y además se estimó los coeficientes de las variables que entrarían en las regresiones para calcular el polinomio de segundo grado, posteriormente se gráfico substituyendo las medias en el modelo de regresión estimado de cada variable.

#### Polinomio de Segundo Grado Que se Propuso

$$\bar{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 (X_1)^2 + \beta_4 (X_2)^2 + \beta_5 X_1 X_2 + \bar{e}_k$$

Con  $K = 1, 2, \dots, 8$  Tratamientos.

#### Términos de la ecuación

—

$Y$  = Valor estimado medio del  $k$ -ésimo tratamiento.

$X_1$  = Número de Aplicaciones de Hierro.

$X_2$  = Número de Aplicaciones de Zinc.

$\beta_0$  = Intersección de la ecuación de regresión con el eje de las  $Y$ .

$\beta_1$  y  $\beta_2$  = Pendientes de los efectos lineales del Fe y del Zn respectivamente.

$\beta_3$  y  $\beta_4$  = Pendientes de los efectos cuadráticos del Fe y Zn respectivamente.

$\beta_5$  = Pendiente de la interacción entre el fierro y el zinc.

$e_k$  = Error aleatorio de la media del k-ésimo tratamiento.

Al realizar las regresiones lineales y cuadráticas, por el método de stepwise. Se calcularon además del modelo general del Polinomio de Segundo Grado los siguientes modelos de regresión de acuerdo a las correlaciones entre variables.

$$Y = B_0 + B_1 X_1$$

Regresión Lineal

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 (X_1)^2$$

Regresión cuadrática

### 3.4.- Fertilización.

Las aplicaciones se hicieron con una mochila manual a una concentración del 2 % igual para los 2 factores. Los productos que se utilizaron para llevar a cabo la fertilización fue sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) $7H_2O$  al 19 % de Hierro y sulfato de Zinc ( $ZnSO_4$ ) $7H_2O$  al 23 % de zinc a una proporción de 2 Kg/100-400 l de agua para cada uno de los elementos. La cantidad de agua se dejo a discreción para tener un buen cubrimiento del follaje en las etapas avanzadas del cultivo. El calendario de aplicaciones quedo cada 5 días para dar un máximo de aplicación de cuatro por cada uno de los elementos, ver Cuadro 7. En los tratamientos que le tocaba aplicación de fierro y zinc, estos se efectuaron mezclados de acuerdo a la concentración correspondiente para cada uno.

**Cuadro 7** Calendario de aplicaciones de Fe y Zn de acuerdo al número de aplicación por cada tratamiento.

FECHA	TRATA	PRODUCTO
13-MAR.-91	8	Fe
13-MAR.-91	7	Zn
18-MAR.-91	8	Fe, Zn
18-MAR.-91	7	Fe, Zn
18-MAR.-91	6	Fe, Zn
18-MAR.-91	5	Fe
18-MAR.-91	4	Zn
23-MAR.-91	8	Fe, Zn
23-MAR.-91	7	Fe, Zn
23-MAR.-91	6	Fe, Zn
23-MAR.-91	5	Fe, Zn
23-MAR.-91	4	Fe, Zn
23-MAR.-91	3	Fe, Zn
23-MAR.-91	2	Fe
23-MAR.-91	1	Zn
28-MAR.-91	8	Fe, Zn
28-MAR.-91	7	Fe, Zn
28-MAR.-91	6	Fe, Zn
28-MAR.-91	5	Fe, Zn
28-MAR.-91	4	Fe, Zn
28-MAR.-91	3	Fe, Zn
28-MAR.-91	2	Fe, Zn
28-MAR.-91	1	Fe, Zn

### 3.5.- Conducción del Experimento

Las aspersiones se iniciaron a los 47 días después de la siembra, usando aspersora de mochila y buscando un cubrimiento total y se efectuaron por la tarde para evitar daños por quemaduras.

A continuación se enlistan las variables que se tomaron en el presente experimento:

X01.- Número de aplicaciones de Fe

- X02.- Número de aplicaciones de Zn
- X03.- Altura de la planta a la hoja bandera a los 62 días
- X04.- Altura de la planta a la hoja bandera a los 78 días
- X05.- Altura de la planta a la hoja bandera a los 88 días
- X06.- Altura a nivel del elote (cm) a los 98 días
- X07.- Peso por elote (gr)
- X08.- Peso de espata por elote (gr)
- X09.- Peso promedio por parcela (gr)
- X10.- Número de elotes por hectárea
- X11.- Diámetro basal del tallo en (cm)
- X12.- Diámetro de tallo a la altura del elote (cm)
- X13.- Peso seco de forraje por hectárea
- X14.- ppm de Zn en la planta
- X15.- ppm de Zn en el suelo
- X16.- ppm de Fe en la planta
- X17.- ppm de Fe en el suelo

El muestreo al follaje fue al azar por parcela útil por tratamiento, tomándose las muestras de hojas después de iniciada la floración en el estrato medio superior hasta la altura de la hoja bandera para la identificación del fierro y zinc. La determinación se hizo mediante Absorción Atómica .

El muestreo de suelo se hizo al momento de la toma de muestras de tejido vegetal tomándose una muestra de suelo de 0-30 cm por parcela analizando después las concentraciones de Fierro y zinc por

medio de Absorción Atómica, además de pH por medio del potenciómetro y conductividad eléctrica por el puente de Wheatstone.

### **3.6.- Métodos de Análisis de Suelos y Hojas.**

#### **3.6.1.- Análisis de las concentraciones de los elementos en las hojas.**

Procesamiento de las muestras de tejido vegetal; después de haber secado al aire las muestras de hojas, cada uno de los tratamientos y repeticiones fueron molidas independientemente en una licuadora limpiando después de someter a las muestras al molido para evitar su contaminación, luego de igual manera se tamizo cada muestra con un tamiz #20 para evitar impurezas y tener una muestra homogénea, se guardaron en bolsas de plástico, y posteriormente se peso de 2-4 g de tejido vegetal molido y tamizado y se depositó en bolsitas de papel encerado.

#### **3.6.2.- Procedimiento de extracción de nutrientes en planta.**

La determinación de Fe y Zn se realizo por el método de digestión en seco (Incineración). Se peso 1 g de tejido vegetal en una balanza analítica (Molido y tamizado) y se depositó en un crisol de porcelana. Se hizo cenizas en una mufla a 470-500°C por 4 horas, se enfrió y se paso las cenizas a un vaso de precipitado

de 50 ml, se humedecieron las cenizas (gotas) con agua destilada, agregando después 2 ml de HCL concentrado, se evaporó en una plancha caliente hasta que el ácido clorhídrico desapareció. Finalmente se le agregó 25 ml de una solución de HCL (1N) y luego se filtró en tubos de ensayo usando papel filtro (W #2) y embudos de plástico. A este le llamamos filtrado original y es el que se utilizó para la determinación de Fe y Zn analizando los elementos por absorción atómica.

### 3.6.3.- Análisis de los elementos del suelo pH Y CE.

Procesamiento de las muestras de suelo; Después de haber colectado las muestras de suelo fueron secadas al aire durante varios días para que perdieran humedad, cada una de ellas fue tamizada con un tamiz #20 y guardadas en bolsas de plástico.

Preparación de la solución extractora; Para esta prueba se utilizó el método de Olsen modificado pesando 0.5 Normal de  $\text{NaHCO}_3$  (Bicarbonato de sodio), 0.01 Molar de EDTA con 0.5 g de superfloc 127 por 10 litros de preparación. Procedimiento:

- a).- Disolver 420 g de  $\text{NaHCO}_3$  en agua destilada.
- b).- Disolver 37.2 g de EDTA (sal disódica).  $\text{C}_{10} \text{H}_{14} \text{N}_2 \text{Na}_2 \text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en agua destilada.
- c).- Disolver 0.5 g de Superfloc 127 en 200-400 ml de agua destilada.

Después de haber disuelto cada una de las mezclas en vasos de precipitado con el agitador magnético y espátula, se mezclan con agua destilada y se llevan a volumen de 10 l. se ajusto el pH a 8.5 con NaOH y luego se guardo la solución en un frasco de polietileno. Esta solución es llamada "Olsen modificada", la cual no requiere refrigeración.

#### **3.6.4.-Procedimiento de extracción de nutrientes del suelo.**

Se colocaron 2.5 g de suelo y 25 ml de la Solución Extractora de Olsen modificada y un poco de carbón activado en un frasco de reactivos y se agito a una velocidad lenta (aproximadamente a 400 rpm ) durante 10 minutos. después se Filtro en tubos de ensaye usando un papel filtro (Watman #1) y embudo de plástico. Este filtrado es usado en las futuras determinaciones.

#### **3.6.5.-Determinación de fierro y zinc.**

Estos elementos se determinaron directamente del filtrado original utilizando el espectofotómetro de absorción atómica, determinando la concentración para estos elementos a partir de la curva preparada para cada elemento con los estandares recomendados.

#### **3.6.6.-Determinación del pH por medio del potenciómetro.**

1.- Se pesaron 10 gramos de suelo secado al aire y pasado por un tamiz de 2 mm y se ponen en un vaso de precipitado.

2.- Se miden 20 ml de agua destilada y se le agrega al suelo, se agita la suspensión vigorosamente y se deja en reposo la muestra por 30 minutos.

### 3.- Estandarización del Potenciómetro

a).- Colocar los electrodos en la solución Buffer y después de 5 minutos de calentamiento el botón principal se cambia a pH.

b).- Se toma la temperatura de la solución Buffer y se ajusta el aparato a temperatura ambiente.

4.- Después de que se estandarizó el aparato se hacen las lecturas de las muestras problema, agitando las muestras antes de introducir los electrodos.

5.- Se introducen los electrodos y se cambia el botón de REF a pH, se toma la lectura y se cambia de pH a REF, se sacan los electrodos y se enjuagan con agua destilada por medio de una pizeta se secan y de esta manera se seguirán haciendo las lecturas a las otras muestras (1).

### 3.6.7.- Determinación de la conductividad eléctrica por el puente de wheatstone.

Preparación de la pasta saturada donde se siguen los siguientes pasos:

1.- Se pesaron 225 g de suelo secado al aire y pasado por un tamiz #20, y se depositan en un vaso de plástico de 400 ml, se le agrega agua destilada con una bureta para saturar la muestra

y con una espátula se mezcla o agita el suelo, de vez en cuando debe consolidarse la muestra golpeándola ligeramente sobre la mesa o con la mano; se sigue a gitando hasta que se llega al punto de saturación, el cual muestra las características sig:

- a).- La pasta refleja la luz y refleja brillo.
- b).- Fluye ligeramente si se inclina en el recipiente.
- c).- No se adhiere a la espátula, excepto en suelos arcillosos
- d).- No debe de presentar agua que éste sobre la superficie.
- e).- Si se agrega una gota de agua resbalara sin ser absorbida sobre la superficie lisa del suelo.

2.- Una vez que se obtuvo la pasta de suelo saturado, en el vaso de precipitado se tapo éste con un vidrio de reloj y se dejó reposar de 1 a 12 horas según sea la muestra, anotándose los casos siguientes:

3.- Al terminar el período de reposo, la muestra no debe presentar agua que éste sobre la superficie o bien que este en exceso, ni deberá estar dura o que se note seca o falta de agua. En ambos casos se podrá corregir la muestra agregando suelo o agua respectivamente, para alcanzar el punto de saturación.

## Extracto de saturación y conductividad eléctrica.

- 1.- Se adapta el Kitasato a la bomba de vacío, se coloca el papel filtro en el embudo de Büchner, teniendo cuidado que esté bien adherido al embudo, para lo cual se humedece con una pizeta, luego se aplica al vacío; esta operación se hace en un matraz kitasato.
- 2.- En un matraz Kitasato limpio y seco se transfiere la pasta saturada con al ayuda de la espátula, teniendo puesto el vacío.
- 3.- La muestra se distribuye en el embudo de tal manera que se tenga un buen vacío, teniendo cuidado de no romper el papel filtro con la espátula.
- 4.- El extracto que se recoge será de unos 10 ml.aproximadamente
- 5.- Si el filtrado es turbio, se filtrará de nuevo, si presenta una coloración café obscura o clara podrá considerarse normalmente para la determinación, esto ocurre en algunos suelos debido a la materia orgánica.
- 6.- Se identifica cada tubo en donde se guarda el extracto y se le pone tapón de hule, y si no se puede analizar en ese momento se guarda en el refrigerador.

### Conductividad eléctrica del extracto de saturación.

- 1.- El puente de Wheatstone se conecta a la corriente y se deja estabilizar por 5 minutos, se enjuaga la celda 2 o 3 veces con agua destilada y una vez con acetona, procurando que la celda quede seca lo más que se pueda.
- 2.- Se toma la temperatura de la muestra y se marca ésta en la escala de conductividad del aparato.
- 3.- Se llena la celda de conductividad con el extracto; se hace contacto y se lee en la escala; tomando como lectura cuando se tiene el ángulo máximo de sombra en el ojo mágico, se expresa la conductividad en milimhos/cm a 25°C y se anota su caracterización agronómica correspondiente.
- 4.- Una vez que se han hecho las lecturas, se enjuaga la pipeta con agua destilada y se deja llena de agua, si tiene la celda una constante de 0.5; y con otras constantes podrá guardarse seca (1).

#### IV RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1.- Resultado de pH y Conductividad Eléctrica de las muestras de Suelo Tomadas en el Campo.

**Cuadro 8** Resultado de pH, medidas con el potenciómetro en el laboratorio de suelos, de las diferentes muestras de suelo tomadas en el campo.

Tratamiento	REPETICION				MEDIAS
	I	II	III	IV	
1	7.6	7.2	7.5	7.3	7.4
2	7.6	7.4	7.6	7.5	7.5
3	7.6	7.6	7.6	7.5	7.6
4	7.6	7.7	7.7	7.6	7.6
5	7.6	7.5	7.5	7.6	7.5
6	7.6	7.6	7.7	7.5	7.6
7	7.6	7.6	7.6	7.3	7.5
8	7.7	7.6	7.5	7.5	7.6

Para el crecimiento y buen rendimiento del maíz se recomienda un pH de 6 o mayor (Bowen); en el cuadro 8 se puede ver que el pH promedio de las de las muestras de suelo es de 7.5.

En el caso del fierro es soluble a pH de 3 hasta un poco más de 5 como ion férrico, a un pH neutro o ligeramente superior predomina el ion ferroso, la máxima solubilidad de ion ferroso se encuentra a un pH de 7, en tanto que la del ion ferrico se da entre un pH de 3 a 5, (Arriaga), por lo tanto podemos concluir que existen deficiencias de fierro en el suelo debidas directamente al pH.

En el caso del zinc generalmente esta mas disponible en suelos ácidos que alcalinos, la disponibilidad mínima se da a un pH de entre 6 y 7, las deficiencias ocurren a un pH entre 6.5 y 8 (Morvedt); debido a lo anterior se concluye que en este caso el pH esta afectando directamente la disponibilidad del zinc.

En este caso no solo debe considerarse al pH como un factor que afecta la disponibilidad tanto de fierro como de zinc, sino que también hay que considerar otros factores como son por ejemplo las características físicas y químicas del suelo además de su manejo como entre las mas importantes que en conjunto son las que determinan las fuertes deficiencias tanto de fierro como de zinc.

**Cuadro 9** Resultados de Conductividad Eléctrica del extracto de saturación del suelo en (mmhos/cm), de las diferentes muestras tomadas en el campo.

Tratamiento	REPETICION				MEDIAS
	I	II	III	IV	
1	8.5	3.4	4.0	3.4	4.8
2	3.4	5.3	6.0	5.0	4.9
3	2.8	2.8	2.6	2.9	2.8
4	4.8	1.4	2.2	3.3	2.9
5	4.5	2.6	5.0	4.9	4.2
6	5.0	4.2	6.0	3.5	4.6
7	9.0	3.3	4.0	5.0	5.3
8	5.8	1.8	4.0	3.6	3.8

En el Cuadro 9 se puede apreciar que la conductividad eléctrica promedio del extracto de saturación en las muestras de suelo recolectadas es de 4.1, por lo tanto la conductividad eléctrica del suelo muestreado se considera medianamente salino y en el solo

prosperaran cultivos con cierto grado de tolerancia salina (Aguirre C.). Como se sabe los rendimientos del maíz decrecen en forma lineal con el aumento de la salinidad, Hussan et al 1990, comprobó que este decremento se llevaba especialmente cuando la conductividad eléctrica a 25°C en el extracto de saturación era de 8 mmhoms/cm, (Gamboa); en este caso la conductividad eléctrica no llega a estos límites pero sí puede afectar en pequeña proporción el crecimiento y rendimiento de grano.

#### **4.2.- Resultados de los Análisis de Varianza de las Variables Cuantificadas.**

En los análisis de varianza no hubo significancia en ninguna de las variables que se midieron, excepto en las aplicaciones de fierro (X16) donde la concentración en ppm de fierro en el tejido vegetal resulto altamente significativa con una  $F_{cal} = 5.96^{**} > F_t = 0.01$ , sin embargo esto no altero el peso del elote y por lo tanto tampoco modifico el rendimiento de grano ni de forraje, además no se obtuvo significancia en las variables fenotípicas como son altura total y al nivel de la mazorca, así como el diámetro de tallo basal y a la altura de la mazorca, esto posiblemente pudo deberse a que la variedad es muy estable en estas características, como antes concluyo Vásquez et al en 1990.

##### **4.2.1.- Resultado del análisis de varianza por variable.**

Con respecto al número de aplicaciones de Fierro y de Zinc, se

sugiere por lo menos hacer una aplicación si se busca economizar, en cuanto a las variables fenotípicas como son altura de planta a la hoja bandera a los 62, 78 y 88. y al nivel del elote a los 98 días después de la siembra no obtuvimos significancia en el análisis de varianza.

Por otro lado con lo que respecta a las variables de rendimiento como son. Peso por elote (gr), peso de espata por elote (gr), peso promedio por parcela (gr), Número de elotes por hectárea, Diámetro basal del tallo en (cm), Diámetro de tallo a la altura del elote (cm), Peso seco de forraje por hectárea, no se obtuvo significancia en análisis de varianza.

En cuanto a las variables cuantitativas medidas en el caso de ppm de zinc en la planta, en el análisis de varianza resulto no significativo, las aplicaciones de fierro y Zinc y sus diferentes combinaciones, no altero la concentración de zinc en el tejido vegetal (hojas); posiblemente la no significancia en las concentraciones de Zinc en el aérea foliar, pudo deberse a que este emigro a la raíz después de haberse aplicado foliarmente como lo demostró Jelenic et al en 1986.

En el caso de ppm de zinc y ppm de fierro en el suelo en el análisis de varianza resultaron no significativos como era de esperarse, los tratamientos no afectaron las concentraciones originales tanto de zinc como de fierro (ppm) en el suelo.

Con respecto a la variable ppm de Fierro en la planta resulto altamente significativa en el análisis de varianza, el efecto de los tratamientos tienen gran influencia en la concentración de fierro en al tejido vegetal.

El Análisis de Varianza para la variable ppm de fierro en la planta se expresa en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Análisis de varianza para la variable ppm de fierro en la planta.

Fuentes de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrados Medios	F Tabulada	F Cal
Efectos Medios	54393.206	10	5439.321	5.704	0.000
Repetición	14571.333	3	4857.111	5.094	0.008
PPM de Fe en la planta.	39821.972	7	5688.839	5.966**	0.001
Explicado	54393.206	10	5439.321	5.704	0.000
Residual	20023.954	21	953.522		
TOTAL	74417.160	31	2400.554		
					0.010 **
					0.050 *

C.V=18.05

En este análisis existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, por lo tanto se procedió a realizar una comparación de medias por el método DMS.

(Cuadro 11)

**Cuadro 11** Comparación de medias de la variable ppm de fierro en la planta, por el método DMS.

Tratamiento	Media	
3	218.8	A
2	206.68	A
4	201.7	AB
5	186.62	ABC
1	161.63	ABCD
8	143.32	BCD
7	131.75	CD
6	117.93	D
DMS = 61.8145		
SIG.= 0.01		

En el cuadro 11 se puede observar que existe diferencia estadística entre las medias, siendo la mejor, la media del tratamiento 3 que corresponde a la concentración de 218.8 ppm de fierro y la media mas baja es la que corresponde al tratamiento 6 y que tiene 117.93 ppm Fierro en el tejido vegetal.

#### 4.3.- Resultados de los Análisis de correlación.

En los análisis de Correlación únicamente se obtuvo diferencia altamente significativa de las siguientes cuatro variables. # de elotes por ha vs peso promedio por parcela (gr) con una R de (0.65\*\*), y diámetro basal del tallo en (cm).Vs diámetro de tallo a la altura del elote (cm). con una R de (0.87\*\*) respectivamente. en las demás variables no se obtuvo significancia.

#### 4.4.- Resultado de los Análisis de Regresión

**Cuadro 12** Regresión Lineal de la variable peso promedio por parcela en (g) como variable dependiente y como independiente número de elotes por ha.

Variables cuantificadas	Significancia
Múltiple R	0.65*
R cuadrada	0.42*
R cuadrada ajustada	0.40
Error standard	14.09
Variables en la ecuación	
Bo =	42.1
B1 =	0.000196505

En el cuadro 12 se puede ver como en este caso la variable cuadrática no entro en la regresión únicamente se graficará con los coeficientes anteriores y con el siguiente modelo:

(X09)  $Y = B_0 + B_1 X_{10}$ , substituyendo los coeficientes en el modelo de regresión estimado obteniéndose la siguiente información.

Es posible observar una relación positiva de las variables peso promedio por parcela (g) y número de elotes por (ha), es decir a medida que el número de elotes por hectárea se incrementa, el peso promedio por parcela en gramos es muy posible que se incremente.

**Cuadro 13.** Regresión Lineal de la Variable Número de elotes por hectárea como variable dependiente y como independiente diente peso promedio por parcela (g).

Variables cuantificadas	Significancia
Múltiple R	0.65*
R cuadrada	0.42*
R cuadrada ajustada	0.40
Error estandard	4658.41
Variables en la ecuación	
Bo=	2539.1
B1=	215.1

En el Cuadro 13 se puede ver que la variable cuadrática no entro en la regresión únicamente se graficará con los coeficientes anteriores y con el siguiente modelo.

(X10)  $Y = B_0 + B_1 X_{09}$ , substituyendo los coeficientes en el modelo de regresión estimado obteniéndose la siguiente información.

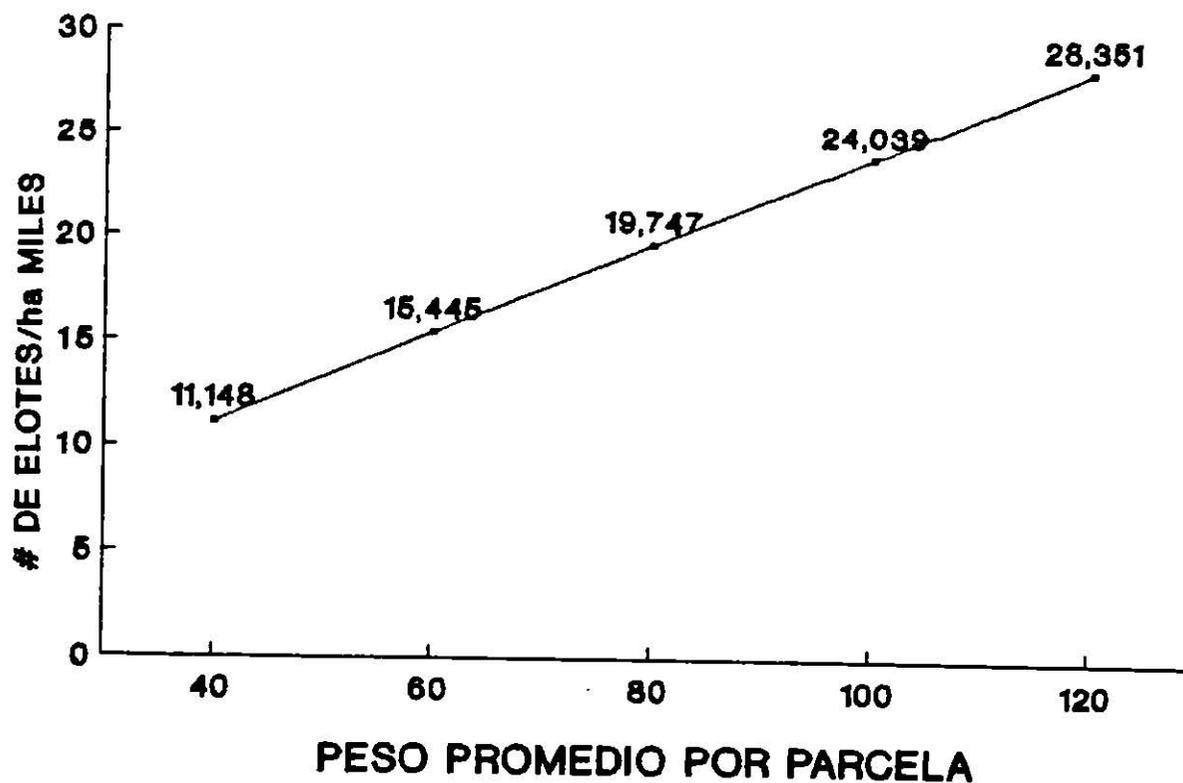


Figura 2 Regresión lineal de la variable número de elotes por ha. como variable dependiente y como Independiente peso promedio por parcela (g) teniendo una  $R^2$  de 0.42\* siendo significativa y un modelo de regresión de número de elotes por hectárea igual a 2539.1 más 215.1 por peso promedio por parcela (g).

En la Figura 2 tenemos una relación positiva entre las dos variables ya que a medida que el peso promedio por parcela en gramos se incrementa, el número de elotes por hectárea se incrementa positivamente de una manera significativa.

**Cuadro 14.** Regresión lineal de la variable diámetro basal del tallo (cm) y como variable independiente diámetro de tallo a la altura del elote.

Variables cuantificadas	Significancia
Múltiple R	0.87*
R cuadrada	0.75**
R cuadrada ajustada	0.74
Error standard	0.81
Variables en la ecuación	
Bo=	1.004
B1=	0.514

En el Cuadro 14 se puede ver que en este caso la variable cuadrática no entro en la regresión únicamente se graficará con los coeficientes anteriores y con el siguiente modelo.

(X11)  $Y = B_0 + B_1 X_{12}$  substituyendo los coeficientes en el modelo de regresión estimado obteniéndose la siguiente información.

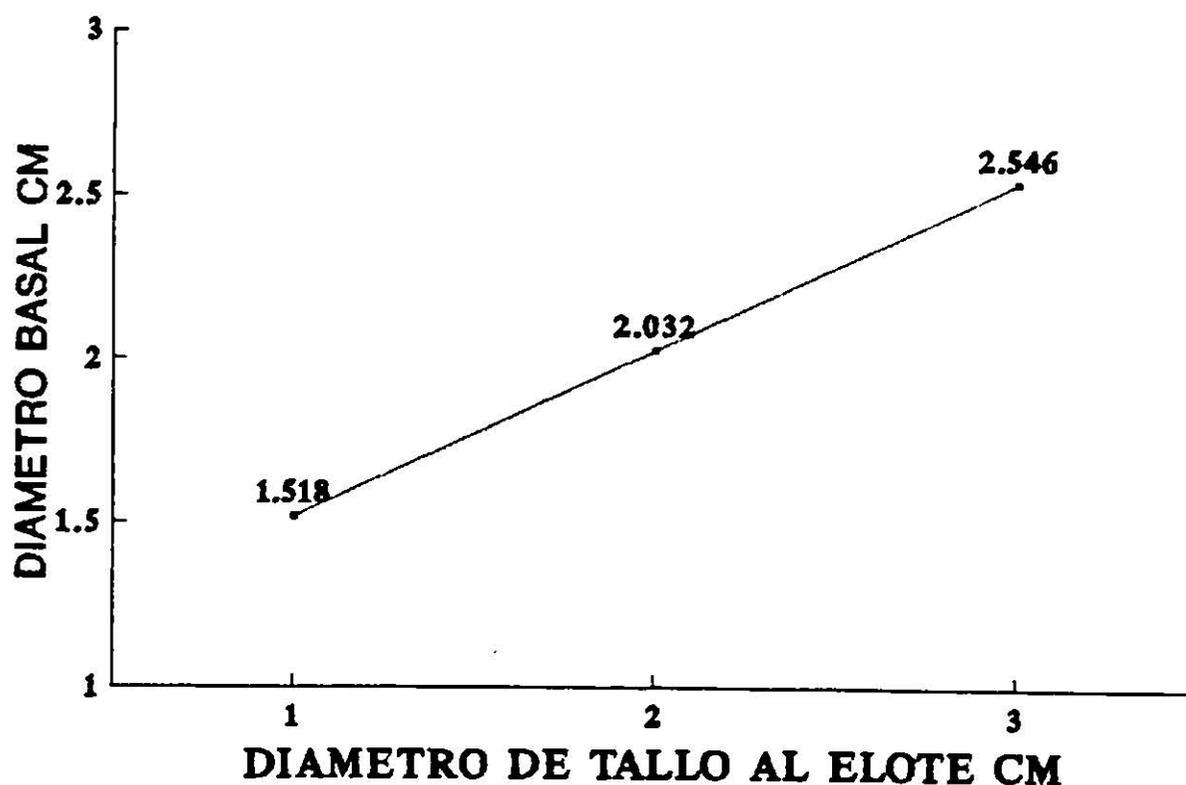


Figura 3. Regresión lineal de la variable diámetro basal del tallo (cm), como variable dependiente y como independiente diámetro del tallo a la altura del elote en (cm), teniendo una  $R^2$  de 0.75\*\* altamente significativa y como modelo de regresión tenemos a diámetro basal igual a 1.004 mas 0.514 por diámetro de tallo al elote (cm).

En la figura 3 las dos variables se encuentran altamente correlacionadas, ya que a medida que el diámetro del tallo a la altura del elote se incrementa, el diámetro del tallo en su base se incrementa de una manera altamente significativa.

**Cuadro 15.** Regresión lineal de la variable ppm de fierro en la planta y como variable independiente la interacción de número de aplicaciones de fierro y zinc.

Variables cuantificadas	Significancia
Múltiple R	0.52*
R cuadrada	0.27
R cuadrada ajustada	0.24
Error standard	42.43
Variables en la ecuación	
Bo=	215.4
B1=	-6.69

El método stepwise fue eliminando las betas o coeficientes que no tenían significancia por lo tanto no entraban en el modelo general de regresión, llegando a obtener al final el siguiente modelo reducido.

$$Y = B_0 + B_1 X_{01} X_{02}$$

Donde:

Y = ppm de fierro en la planta

X01 = # de aplicaciones de Fe

X02 = # de aplicaciones de Zn

En el Cuadro 15 se puede observar que las variables lineales y cuadráticas no entraron en la regresión por lo anterior únicamente se gráfica con los coeficientes de la interacción y substituyendo los coeficientes en el modelo de regresión reducido ver Figura 4. En esta regresión de la variable ppm de fierro en la planta como variable dependiente y su superficie de respuesta producto de la interacción de las variables Independiente número de aplicaciones de fierro y zinc mostró una  $R^2$  de un 27 % y un modelo de regresión donde las ppm de fierro en la planta se pueden predecir con un 27% de confiabilidad, lo cual es muy bajo para considerarlo importante y donde el modelo que se utilizó fué el siguiente:  $Y = 215.4 - 6.69 X01 X02$ .

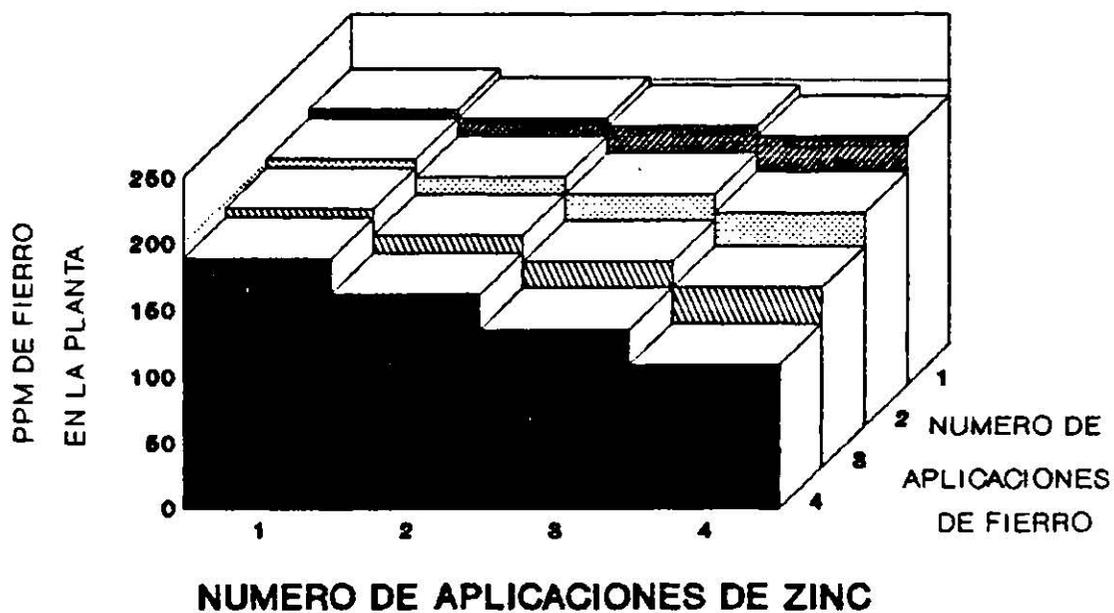


Figura 4 Superficie de respuesta producto de la regresión lineal de la variable dependiente ppm de hierro en la planta y las variables independientes número de aplicaciones de hierro y zinc.

En la Figura 4 se puede observar que la mejor combinación en el número de aplicaciones fue, una de fierro y una de zinc, teniendo una concentración promedio en el estrato medio y superior de tejido vegetal en el Maíz Blanco Alemán de 208.70 ppm de fierro. También puede apreciarse que a medida en que el número de aplicaciones de Fierro y Zinc aumenta, se produce un decremento en la concentración de fierro en las hojas.

## V. CONCLUSIONES

- 1.- Las aplicaciones foliares de Fierro y Zinc, no tuvieron efecto significativo en la altura total de la planta,
- 2.- Los diámetros basal y la altura de la mazorca, no fueron afectados por los efectos de los tratamientos.
- 3.- La mejor media en la variable ppm de fierro en el tejido vegetal la cual resulto altamente significativa en el análisis de varianza fue la tres con 218.8 ppm de Fierro, y fuera de esta medias las demás disminuyeron.
- 4.- Los componentes de rendimiento no fueron afectados por las aplicaciones conjuntas de Fierro y zinc. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Viets et al. en 1953 y por Vázquez et al. en 1990
- 5.- La planta no respondió a la presencia combinada de ambos elementos, tuvieron una correlación sumamente baja (-0.14), sin embargo, las variables # de Elotes por hectárea Vs Peso promedio promedio por parcela, tuvieron una correlación significativa (0.64 \*) y Diámetro basal Vs Diámetro al elote tuvieron una correlación altamente significativa. (0.86\*\*).
- 6.- También existe la posibilidad de que las concentraciones a que fueron aplicados los micronutrientes 2 & que aunque aumentaron

las concentraciones en las hojas, como en el caso del fierro, no fueron suficientes como para provocar un aumento en el rendimiento de grano ni forraje.

## VI. RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda hacer mas experimentos probando los microelementos fierro y Zinc, para así tener mayor confiabilidad en los datos que se obtengan.
- 2.- En trabajos futuros si se busca evaluar el efecto individual y la interacción de los microelementos Fierro y Zinc, es posible probar niveles mayores por ejemplo el 3% principalmente en fierro ya que hasta ahora no se ha visto que provoque quemaduras por toxicidad y además se ha visto que rinde buenos resultados en maíz.
- 3.- Debe de ponerse especial atención a la relación Fe:Zn debido a que se ha visto que el desbalance en esta relación puede influir en el desarrollo y producción en algunos cultivos.
- 4.- En experimentos futuros se debe buscar, no solo hacer análisis foliar, sino también buscar hacer análisis en la raíz, hojas y tallos, para poder observar el movimiento y la distribución de nutrientes en toda la planta completa, pudiendo así llegar a conclusiones mas acertadas.
- 5.- Debe buscarse nuevas fuentes de fierro y zinc para hacer aplicaciones foliares en maíz por ejemplo la aplicación de quelatos, con el objetivo de ver cual es su efecto en el desarrollo y producción del maíz.

6.- También se recomienda hacer un manejo integral en el que incluya un buen manejo del suelo, riego y fertilización.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre C., J. E. 1982. Practicas de Campo y Laboratorio para Análisis de Suelos. Universidad Autónoma de Nuevo León Fac. de Agronomía. Monterrey, N.L. pp. 43, 44, 69, 70, 71.
- Aldrich R., S. y R. Leng E. 1974. Producción Moderna del Maíz. Tr. por Oscar Martínez y Patricia L. Ed. Hemisferio Sur. Argentina. pp. 74, 158, 226.
- Alvarez L., Ma. E. 1970. Estudio Preliminar para el uso del Análisis Foliar en Maíz. Tesis FAUANL. Monterrey N.L. p. 1, 10.
- Arroyave A., J.J. 1977. Eficiencia de Distintas Técnicas de Aplicación de Roca Fosfórica Cruda y Con Diferentes Grados de Acidulación en Maíz de Temporal en la Altiplanicie Mexicana. CP. Maestría en Ciencias. Chapingo, México. p. 9.
- Arriaga C., J. C. 1985. Análisis de Concentraciones Naturales de Macro y Micro Elementos en Nogal Pecanero (Caria illinoensis) en General Teran Tesis FAUANL. Marín, N.L. pp. 20, 23, 25-27.
- Bowen J., B. y Kratky. 1983. Micronutrientes, Causas de Deficiencias y Toxicidad". En Agricultura de Las Américas. Vol. 32, #8. 5. 6-11.

- Bowen J., B. 1981. Hierro, Elemento Vital Para Las Plantas y animales. Agricultura de Las Américas. Febrero Vol. 30 No.2 y 3.
- Centro de Investigaciones Agrícolas. 1980. El Cultivo del Maíz en México. Ed. Centro de Investigaciones Agrícolas. Méx. DF. pp. 12, 13, 17.
- Díaz del P., A. 1964. El Maíz, Cultivo, Fertilización, Cosecha 2ª. Ed. Ed. Bartolomé Truco. México D.F. p. 362.
- Elgala A. M; A. S. Ismail; M. A. Ossman. 1986. Critical levels of iron, manganese and zinc in Egyptian soils. Journal of plant Nutrition. Dep. of Soil Sci., Fac. of Agric., Ain Shams Univ., Shoubra El-Kheima, Cairo, Egypt. 9: 3-7, 267-280; 15 ref., 3 fig., 4 tab.
- Ferrandon M; A. R. Chamel. 1988. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. Journal of Plant Nutrition. Lab. Biol. Veg., DRF/LBIO, Centre d'études nucleaires de Grenoble, Grenoble Cedex, France. 11: 3, 247-263; 34 ref., 2 fig., 3 tab.0
- Fouly E. L; M. M; A. F. A. Fawzi; A. H. Firgany; F. K. El Baz. 1984. Micronutrient status of crops in selected areas in Egypt. Communications in Soil Science and Plant Analysis. Bot. Lab., Nat. Res. Centre, Dokki-Cairo, 15:10, 1175-1189; 24 ref., 10.

Garg O.K.1987.Physiological significance of zinc and iron retrospect and prospect. indian Journal of Plant Physiology .Dep. Plant Physiol., Banaras Hindu Univ., Uttar Pradesh, India., 30: 4, 321-331; 26 ref.

Gamboa A.1980.La Fertilización del Maíz Boletín IIP No.5 Ed.Instituto Nacional de la Potasa. pp. 12, 13,14, 26-27.

Henry T.,R.A.1965.El Suelo y su Fertilidad. Ed. Compañía Editorial Continental S.A. Méx., D.F.pp.0 281, 283, 374.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1988. Abasto y Comercialización de Productos Básicos.Maíz. México, D.F. p. 1.

Inglet G. E. and R. S. Aldrrich (1970). Corn Culture Procecing Products, Publising.The Avi. Co. Inc. West port; conmm p. 28.

Jelenic D. B; V. Licina; B. Gajic. 1986. Improving the nutritional status of plants by Mg, B and Zn foliarfertilization with the plant growth bioregulator. Foliar fertilization. Developments in Plant and Soil Sciences Vol.22.,Univ. Belgrade, Belgrade, Yugoslavia.453-483;25 ref.4 fig.7 tab.Dordrecht, etherlands; Martinus Nijhoff Publishers.

Jugenheimer W., R.1981.Maíz Variedades Mejoradas,Métodos de Cultivo

y Producción de Semilla. Ed. Limusa. México pp. 23- 25, 39-40.

Kayode G. O. and A. A. Agboola. 1985. Macro and micronutrient effects on the yield and nutrient concentration of Maize (Zea mayis L.) in south western Nigeria. Fertilizer Research. National Cereals Res. Inst., P.M.B. Plantation, Ibadan, Nigeria. 8: 2, 129-135; 27 ref., 4 tab.

Kovacevic L; V. Vukadinovic; B. Bertic. (1988). Excessive iron and aluminium uptake and nutritional stress in corn (Zea mayis L.) plants. Journal of Plant Nutrition. Agric. Inst., Univ. Osijek, Yugoslavia. 11: 6-11 1263-1272.

Morvedt J., J.; P.M Giordano; W.L. Linsay. (1972). Micronutrientes en la Agricultura. Ed. Soil Science Society of America, Inc. Madison Wisconsin USA. Cap. XII: 309, XVI: 366, 368, XV: 393, 412.

Ortiz V., B. y C. Alberto O. S. 1980. Edafología. 3<sup>a</sup> Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. pp. 309, 310, 325.  
Rodríguez, F., H. 1991. Fertilidad de Suelos. FAUANL. Marín, N.L. Sin publicar. p. 12.

Sakal R; M.K. Verma; A.P. Singh. 1988. Effect of zinc application on Fe/Zn ratio in the tissues of some rice cultivars differing in susceptibility to zinc deficiency. Dep. Soil Sci. Rajendra

Agric. Univ., Pusa Bihar, India. *Oryza*. 1988, 25: 1, 81-83;  
9 ref.

Salazar M., R. 1986. La Compañía Nacional de Subsistencias Populares  
CONASUPO y Las Importaciones de Maíz en México: 1960-1983.  
Mex., D.F. Tesis CP. p. 2.

Thompson M., L. 1966. El Suelo y su Fertilidad. 3ª Ed. Reverte, S.A.  
Barcelona - Buenos Aires - México. pp. 259, 261, 308, 309.

Tisdale L., S. y Nelson W. L. 1970. Fertilidad de los Suelos y Ferti-  
lizantes. Tr. Jorge Balasch y Carmen P. Ed. Montaner y Simón.  
Barcelona. p. 352, 354, 491, 514.

Varro T. and Z. Gyori. 1987. Study of Transport Processes in Maize  
leaf by. Radioabsorption. International Agrophysics. Chem.,  
Lajos Kossuth Univ., Debrecen, Hungary. 3:4, 353-359; 12 ref.

Vázquez A., R. E. 1988. Manual de Fertilidad de Suelos. Unidad I:  
pp. 18, 19; II: p. 10; VI: pp. 1, 2, 4, 5; VII: p. 7.

Vázquez A., R. E.; Teniente O.; López S.; Vidales E. 1991. Sociedad  
Mexicana de Ciencias Hortícolas. IV Congreso Nacional.  
Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo,  
Coahuila. México p. 241.

Villarroel A., J. 1979. Respuesta del Maíz y Frijol a la Aplicación de Gallinaza, Estiércol Vacuno, Zinc, Manganeso y Hierro en Suelos de Ciudad Serdan, Puebla Bajo Condiciones de Campo e Invernadero. CP. Tesis Maestría. SARH. Chapingo México. pp. 14, 15, 16 -32.

Worten E. L. y S. R. Aldrich. 1959. Suelos Agrícolas su Conservación y Fertilización Tr. por José Luis de la Loma 2a Ed. México UTEHA pp. 59, 119.

Wooding R.G. 1967. Los Suelos su Origen, Constitución y Clasificación Introducción a la Edafología. Tr. José Luis Amoros. Ed. Omega Barcelona. 2ª Ed. p.482, 483.

