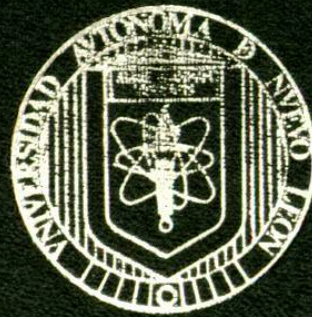


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DIAGNOSTICO DE ELEMENTOS SECUNDARIOS
Y MICRONUTRIMIENTOS EN EL CULTIVO DE
MAIZ (*Zea mays* L.) EN ANAHUAC, NUEVO LEON

POR

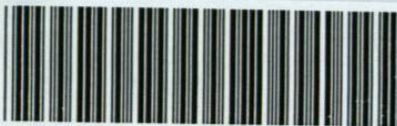
MA. DE LOS ANGELES GONZALEZ MENDEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON
ESPECIALIDAD EN PRODUCCION AGRICOLA

MARIN, N. L.

FEBRERO DE 2002

TM
SB191
M2
G649
2002
c.1



1080124386

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DIAGNOSTICO DE ELEMENTOS SECUNDARIOS
Y NUTRIENTES EN EL CULTIVO DE
MAIZ (*Zea mays* L.) EN ANAHUAC, NUEVO LEON

POR

MA. DE LOS ANGELES GONZALEZ MENDEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON
ESPECIALIDAD EN PRODUCCION AGRICOLA

MEXICO, N. L.

FEBRERO DE 2002



1
M
G 6 9
2 2

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**DIAGNÓSTICO DE ELEMENTOS SECUNDARIOS Y
MICRONUTRIMENTOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN
ANÁHUAC, NUEVO LEÓN.**

POR

MA. DE LOS ANGELES GONZÁLEZ MÉNDEZ

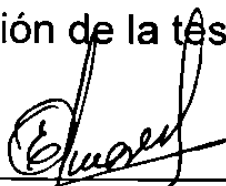
**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.**

MARÍN, N.L.

FEBRERO DE 2002

DIAGNÓSTICO DE ELEMENTOS SECUNDARIOS Y
MICRONUTRIMENTOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN
ANÁHUAC, NUEVO LEÓN.

Aprobación de la tesis



Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Asesor principal



Ph. D. Rigoberto F. Vázquez Alvarado
Co - Asesor



M.C. Maurilio Martínez Rodríguez
Co - Asesor

Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano

Director de la División de Estudios de Postgrado FAUANL

Marín, N.L. Febrero del 2002

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso

Por su amor incondicional, así como por darme el privilegio de superación, terminando una meta más en mi camino.

A mi esposo Andrés

Por su apoyo, amor y comprensión.

A mi hijo Andy

Con todo mi amor, porque es mi gran tesoro.

A mi mamá Vicky

Por impulsarme a concluir mis metas.

A mis hermanos

Rosa Ma., Germán, Isabel y Alejandro por ser los hermanos que yo hubiera escogido.

A mis suegros Silvia y Arnoldo

Por el amor, protección y cariño inmenso proporcionado a mi hijo.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo tanto económico como académico para la culminación de este trabajo.

Al laboratorio de suelos de la FAUANL así como al Ing. Landa por los servicios otorgados para la realización de los análisis requeridos para este estudio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la obtención del grado.

Al Ph D. Emilio Olivares Sáenz por dirigir este trabajo de tesis; por sus conocimientos, consejos, apoyo y gran amistad.

Al Ph D. Rigoberto Vázquez Alvarado por su participación y apoyo en el presente trabajo así como su asesoría acertada.

Al M.C. Maurilio Martínez Rodríguez por su colaboración en el presente trabajo y sus experiencias compartidas.

A mi amigo del alma Ing. Alonso Ibarra Taméz por su desinteresada ayuda en la edición de este trabajo. Mil gracias.

A mis compañeros y amigos.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Ma. de los Angeles González Méndez

Candidato para el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Producción Agrícola.

Tesis Diagnóstico de elementos secundarios y micronutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Anáhuac, Nuevo León.

Área de estudio Nutrición Vegetal.

BIOGRAFÍA

Datos personales

Nacida el 27 de Enero de 1963 en la Ciudad de León, Guanajuato.

Educación

Egresada de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León como Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, en Junio 1985.

Experiencia Profesional

i) Asistente del programa de mejoramiento en sorgo del International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics (ICRISAT/ Mesoamérica) , en el Centro Internacional de Mejoramiento Maíz y Trigo (CIMMYT) Texcoco, Edo. de México, 1986 – 1988.

ii) Coordinadora de la zona rural en los Censos de Población y Vivienda 1990. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). León, Gto. 1989-1990.

iii) Responsable del Banco de Germoplasma de Sorgo, del Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo del Centro de Investigaciones Agropecuarias. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N.L. 1990-1992.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.	X
ÍNDICE DE CUADROS EN EL APÉNDICE E ÍNDICE DE FIGURAS.	XI
RESUMEN.	XII
SUMMARY.	XIII
1. INTRODUCCIÓN.	1
Objetivos.	3
Hipótesis.	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.	4
2.1 Sistema de producción de maíz en Anáhuac, N.L.	5
2.2 Características de elementos secundarios y micronutrientes.	8
2.2.1 Elementos secundarios (Ca y Mg).	8
2.2.2 Micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn).	11
2.3 Necesidades de micronutrientes en maíz.	15
2.4 Interacciones de los micronutrientes más importantes en maíz.	17
2.4.1 Interacción (P-Zn).	18
2.5 Técnicas de diagnóstico de deficiencia.	20
2.6 Método DRIS.	21
2.7 Comparación del método DRIS con otras técnicas.	24
2.8 Comparación de normas DRIS internacionales con normas DRIS locales.	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	28

	Página
3.1 Localización.	28
3.2 Clima.	28
3.3 Características de la región.	28
3.3.1 Hidrología.	28
3.3.2 Suelos.	29
3.4 Muestreo de suelo planta y rendimiento.	29
3.4.1 Análisis de suelo.	30
3.4.2 Procesamiento de las muestras de planta y análisis.	30
3.4.3 Soluciones estándar para cada nutrimento.	30
3.5 Determinación de Fe, Mn, Cu y Zn en suelo.	32
3.6 Determinación de Ca y Mg en suelo.	32
3.7 Determinación de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn en planta.	32
3.8 Metodología para determinar normas DRIS.	32
3.8.1 Definiciones.	33
3.8.2 Determinación de índices DRIS.	34
3.8.3 Requerimiento nutricional.	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	36
4.1 Niveles críticos.	36
4.2 Comparación de concentración de micronutrientes en tejido vegetal en poblaciones de altos y bajos rendimientos.	38
4.3 Normas DRIS.	40
4.3.1 Evaluación nutricional utilizando normas DRIS.	40
4.4 Correlaciones entre nutrimentos y características del suelo.	43
4.5 Correlaciones entre nutrimentos.	44

	Página
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	45
6. BIBLIOGRAFÍA.	47
7. APÉNDICE.	52

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estadísticas de siembra en el Distrito de Riego 004 "Don Martín".	6
Cuadro 2. Niveles de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn en la hoja de la mazorca al Inicio de emisión de estigmas de acuerdo con Benton, et al. (1991).	36
Cuadro 3. Porcentaje de muestras en los rangos de bajo, suficiente y alto Comparadas con las normas de Benton, et al. (1991).	37
Cuadro 4. Promedio de concentración de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn en las poblaciones de alto y bajo rendimiento.	39
Cuadro 5. Normas DRIS establecidas y normas DRIS observadas.	41
Cuadro 6. Número de muestras del total de 66 con deficiencia y exceso relativo de acuerdo al orden de requerimiento para cada nutrimento.	42
Cuadro 7. Correlaciones entre nutrimentos, conductividad eléctrica, materia orgánica y pH.	43
Cuadro 8. Coeficientes de correlación y valores de (p) entre nutrimentos.	44

ÍNDICE DEL APÉNDICE

	Página
Cuadro 1 A. Concentración de nutrimentos en el tejido vegetal, índices DRIS, orden de requerimiento nutrimental, índice de desbalance nutrimental (IDN) y rendimiento para cada una de las muestras.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura. 1. Distrito de Desarrollo Rural Anáhuac.	4
Figura 2. Distrito de Riego 004 "Don Martín".	5

RESUMEN

Diagnóstico de elementos secundarios y micronutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Anáhuac, Nuevo León.

El presente trabajo se llevó a cabo en el Distrito de Riego 004 (Don Martín) ubicado al norte del estado de Nuevo León, con el objeto de realizar un diagnóstico nutrimental para Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn, mediante análisis foliares de muestras recolectadas regionalmente. Aunado a esto se determinaron normas preliminares DRIS. El muestreo regional consistió en la identificación de 72 lotes en donde se tomaron muestras foliares de la hoja de la mazorca del maíz al inicio de la floración, y posteriormente en el mismo sitio se determinó el rendimiento del cultivo. Las muestras se dividieron en dos poblaciones de acuerdo a alto y bajo rendimiento y se compararon las concentraciones de los nutrimentos antes mencionados por medio de análisis de varianza. Utilizando esta técnica de diagnóstico nutrimental se encontró que bajos niveles de Cu estuvieron asociados a lotes de bajos rendimientos, indicando que este elemento pudiera estar limitando el rendimiento del maíz. Mediante el análisis DRIS, se encontró que el Mn y el Cu tuvieron concentraciones menores a las esperadas, comparadas con las determinadas para Fe, Zn, Ca y Mg. El orden de requerimiento nutricional fue: Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg. Como información complementaria se encontró que el Ca, Mg, Mn y Zn estuvieron positivamente correlacionados entre ellos. En el trabajo también se presentan las normas preliminares DRIS para la relación de los elementos antes citados.

SUMMARY

Nutritional diagnosis of secondary elements and micronutrients in maize (*Zea mays* L.) at Anahuac, N. L., Mexico

The present work was carried out at the irrigation district number 004 (Distrito de Riego 004, Don Martín), located at the north of the Nuevo Leon State in Mexico. The purpose of this work was to study the nutritional status (Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn) of corn fields by means of foliar samples taken in the studied region. Preliminary DRIS norms were also obtained. The regional sampling was carried out in 72 corn fields. In each field, leaf samples were taken at the beginning of flowering and yield was measured in the same place at the end of the cycle. Samples were divided in two populations according with high and low yield. Nutrient concentration was compared among the two populations by means of analysis of variance. Results of analysis of variance showed that low levels of Cu were associated to low yield fields. DRIS diagnostic showed that Mn and Cu had less concentration than expected compared with concentrations of Fe, Zn, Ca and Mg. The nutritional requirement order was Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg. Preliminary DRIS norms are also presented in this work.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la crisis que vive México, en el sector agropecuario, es necesario llevar a cabo investigaciones para optimizar la producción agrícola; y uno de los temas a resolver es desarrollar técnicas de producción que les permitan a los agricultores ser competitivos a nivel internacional, por lo que hay que orientar dichas técnicas a incrementar la rentabilidad de los cultivos.

El cultivo del maíz es de suma importancia en el país, y en el mundo. Es además un cereal que tiene una amplia adaptabilidad a diversas condiciones ecológicas y edáficas, de ahí que se cultive en casi todo el mundo en una superficie de 106 millones de hectáreas, con rendimientos promedio de 2.5 ton ha⁻¹ (INIFAP, 1994).

En el municipio de Anáhuac, en el estado de Nuevo León, México, en el año de 1995 el maíz fue el cultivo de mayor importancia (seguido del trigo, avena y sorgo), ya que en el ciclo primavera-verano se sembraron alrededor de 5,500 ha. de las 24,000 ha con que cuenta el Distrito de Desarrollo Rural 0004 (Distrito de riego Don Martín, Coahuila) (SAGAR,1995). Datos más recientes señalan que en el ciclo otoño-invierno de 1999/2000, los cultivos de más superficie sembrada bajo condiciones de riego fueron el sorgo de grano y el cártamo seguidos por el maíz (SAGAR,2000).

En el Distrito de Desarrollo Rural 004, por más de 20 años consecutivos se ha utilizado la misma dosis de fertilización para maíz (120-70-00), así como las mismas fuentes de fertilización, a excepción del amoníaco anhidro que se utiliza como complemento sin análisis previos tanto de suelo como foliares (SARH,1990). Esto da como resultado una ineficiencia en el uso de fertilizantes, ocasionando un fuerte gasto económico y daños ambientales .

De ahí que a pesar de la superficie importante de maíz que se siembra en este Distrito, el agua limitada, los altos costos de producción y las nuevas políticas

económicas en el campo, hacen que dicho cultivo sea poco redituable, por lo que no hay más alternativa que reducir el gasto por concepto de insumos sin bajar el rendimiento. Una manera de lograrlo es investigar las necesidades nutrimentales del cultivo y así poder hacer un diagnóstico para recomendar las dosis requeridas para ir eficientizando su fertilización y disminuir los costos de producción.

La aplicación de macronutrientes es común en esta zona, no así la de micronutrientes que también son requeridos por las plantas, y que en el caso del maíz la falta de cualquiera de ellos en el suelo puede limitar su crecimiento, aún cuando los nutrientes esenciales se encuentren en condiciones óptimas (Paul,1990).

Al respecto existen nuevas tecnologías para detectar deficiencias nutrimentales de los cultivos, entre las cuales se encuentra el método DRIS por sus siglas en inglés (Diagnostic Recommendation Integrated System), que es considerado un método potencial para detectar deficiencias y definir los requerimientos futuros para una buena producción (Soltanpour, *et al.*,1995).

Por lo que enseguida se plantean los objetivos tanto general como particulares, así como la hipótesis experimental.

Objetivo General:

Hacer un diagnóstico nutrimental para Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn en maíz para la región de Anáhuac, N.L.

Objetivos Particulares:

1. Realizar un diagnóstico nutrimental en maíz utilizando niveles críticos y análisis DRIS.
2. Establecer normas preliminares DRIS locales para Ca, Mg, Mn, Fe Cu y Zn en maíz.
3. Correlacionar el rendimiento del cultivo del maíz con las concentraciones de Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn en planta y algunas características del suelo.

Hipótesis:

Algunos nutrimentos como Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn pueden estar limitando el rendimiento del maíz en Anáhuac, N. L., y con la técnica del DRIS pueden diagnosticarse las deficiencias causantes de la disminución del rendimiento.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La estructura de la producción agrícola en el Distrito de Desarrollo Rural Anáhuac (Figura 1), está determinada fundamentalmente por cultivos básicos. Así se tiene que durante 1986 estos cultivos ocuparon el 83% de la superficie total sembrada. El cultivo del sorgo ocupó el primer lugar en cuanto a superficie (15,000 ha) seguido del maíz (6,000 ha) y el trigo (4,284 ha). El resto de los cultivos lo conformaron los cultivos forrajeros, frutales y hortalizas, que en conjunto alcanzaron una superficie de 4,356 ha (SARH, 1992).

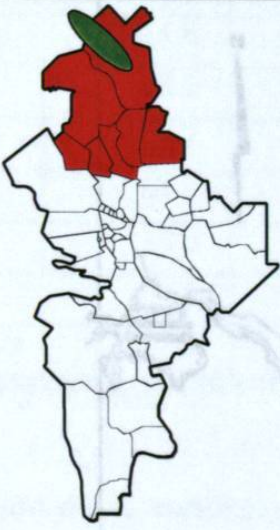
DISTRITO DE DESARROLLO RURAL ANÁHUAC	CENTROS DE APOYO PARA EL DESARROLLO RURAL	MUNICIPIOS QUE COMPREDEN
	I. Anáhuac	1.- Anáhuac
	II. Lampazos	2.- Lampazos
	III. Sabinas Hidalgo	3.- Sabinas Hidalgo
		4.- Bustamante
		5.- Villaldama
	IV. Vallecillo	6.- Vallecillo
		7.- Parás

Figura. 1. Distrito de Desarrollo Rural Anáhuac, N.L. (SAGAR, 2000)

En términos generales, la SARH (1992) reporta que el comportamiento de la superficie sembrada y la producción, es bastante irregular, al depender fundamentalmente de la disponibilidad de agua, tanto en los almacenamientos de las presas, como de los escurrimientos de los ríos Salado, Sabinas y Álamo,

corrientes en las cuales se encuentran los principales aprovechamientos del Distrito, debido a que las precipitaciones oscilan entre los 400 a 600 mm anuales.

2.1 Sistema de Producción de Maíz en Anáhuac, N.L.

En el Distrito de Riego 004 "Don Martín" (DDR 001) que se observa en la Figura 2, existen aproximadamente 24,000 ha, de las cuales en el ciclo primavera - verano de 1995 se sembraron alrededor de 5,500 ha de maíz, superficie que varía en función de la disponibilidad de agua en las presas.

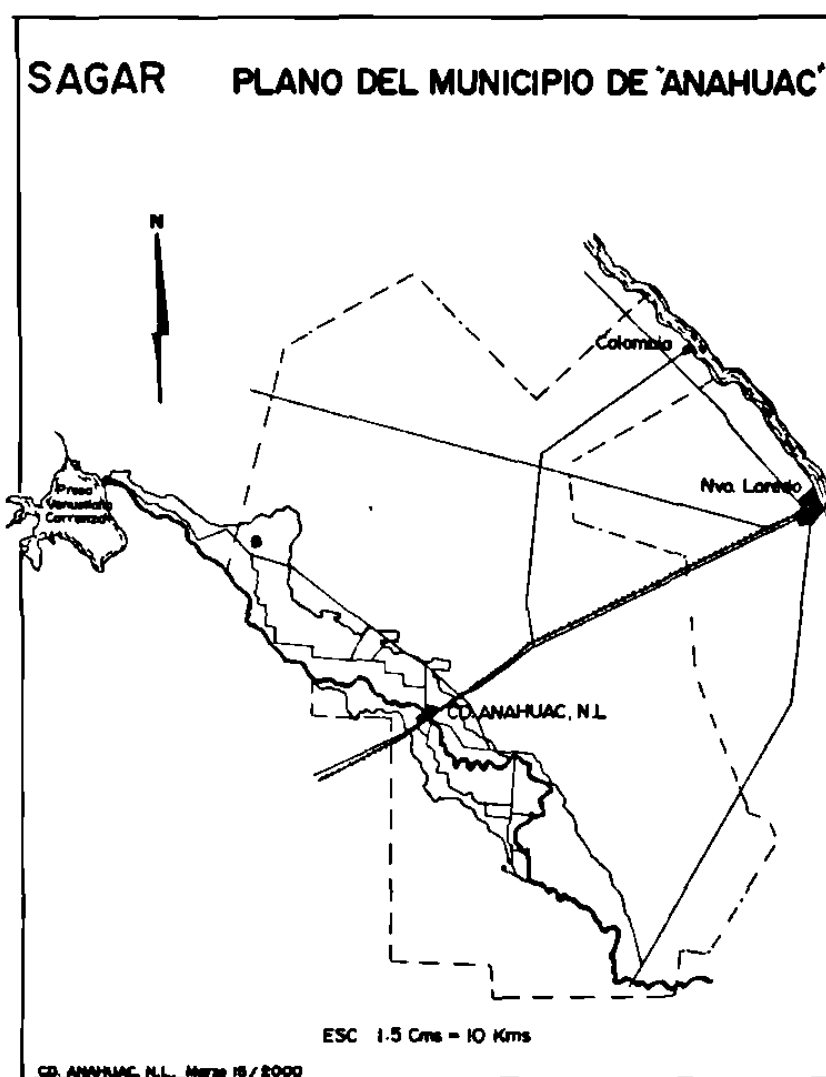


Figura 2.- Distrito de Riego 004 "Don Martín".

Actualmente, sin embargo, por la escasez de agua en las presas se siembran menos hectáreas de maíz (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticas de siembra por cultivo en el Distrito de Riego 004.

Cultivo	Ciclo O-I 1999/2000.		Modalidad Riego		
	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Precio / ton (\$)
Trigo	810.0	810.0	2592.0	3,200	1,300.00
Cártamo	1,850.0	1,850.00	1,500.1	810	1,500.00
Avena F.	55.0	55.0	440.0	8,000	800.00
Cebada M.	255.0	255.0	510.0	2,000	1,500.00
Sorgo G.	9,111.5	9,000.0	28,800.0	3,200	850.00
Sorgo F.	421.6	421.6	3,794.4	9,000	600.00
Sorgo E.	23.0	23.0	39.1	1,700	1,500.00
Maíz	367.7	367.7	1,029.5	2,800	1,100.00
Frijol	51.0	0.0			
Melón	23.0	23.0	575.0	25,000	2,000.00
Sandía	4.0	4.0	60.0	15,000	2,000.00
Calabacita	7.0	7.0	45.5	6,500	1,500.00

(SAGAR,2000).

Preparación del terreno: Se hace uso del barbecho, rastreo, nivelación del suelo y bordeo para facilitar la penetración del aire y agua, para una distribución uniforme de la semilla y una mejor germinación, emergencia y desarrollo radicular.

Semilla: En dicho Distrito se utilizan semillas mejoradas de maíz (híbridos) de diferentes empresas como son PRONASE, PIONEER, ASGROW, etc.

Época de siembra: Para el ciclo otoño-invierno (temprano) la siembra comprende el período del 20 de enero al 15 de febrero. En el ciclo primavera-verano (tardío) la siembra se realiza entre el 15 de julio y el 15 de agosto.

Profundidad de siembra: Esta varía con el tipo y condiciones del suelo. En condiciones normales la profundidad está entre 3 y 5 cm.

Densidad de siembra: La densidades oscilan entre 50,000 y 70,000 plantas ha⁻¹, dependiendo de las recomendaciones de las compañías que distribuyen los híbridos que se siembran en la región.

Riego: La recomendación ideal es de cuatro riegos, uno de presiembra y 3 riegos de auxilio, para el ciclo temprano y para el tardío se recomiendan sólo tres riegos, sin embargo la escasez del agua generalmente no lo permite.

Plagas: Las principales plagas en esta región son la gallina ciega, gusano cogollero, gusano elotero y araña roja, siendo las siembras tempranas las que sufren menos daño.

Enfermedades: Son comunes en esta región las enfermedades como carbón común, pudrición negra del tallo, mildéu veloso y pudrición de la mazorca y del tallo.

Fertilización: Este cultivo necesita de una fertilización adecuada, dependiendo ésta de la fertilidad natural del suelo, la secuencia de cultivos anteriores y del manejo del suelo. Para suelos arcillosos y migajón-arenosos, la dosis de macronutrientes es de 120-70-00. Se aplica el nitrógeno (N) antes de la siembra y el fósforo (P) antes o al momento de la siembra. En ocasiones se hace uso del hierro (Fe), ya que la clorosis es común en esta zona (SARH,1990).

Cosecha: La cosecha se realiza en forma mecánica cuando el grano alcanza su madurez fisiológica (14 -16 %) de humedad. De esta manera se reducen pérdidas por manejo (SARH, 1985 ; SARH, 1990).

2.2 Características de Elementos Secundarios y Micronutrientos.

Se conocen 16 elementos químicos esenciales para el crecimiento de las plantas y se dividen en dos grupos principales que son: no minerales y minerales.

No minerales: Se consideran nutrientes no minerales el carbono (C) , hidrógeno (H) y oxígeno (O); éstos se encuentran en la atmósfera y en el agua y son utilizados en la fotosíntesis (Mengel y Kirkby, 1982).

Minerales: Son los que provienen del suelo y se dividen en tres grupos: primarios, secundarios y micronutrientos.

a) Nutrientes primarios: Son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).

b) Nutrientes secundarios: Calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg).

c) Micronutrientos: Boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn) (Mengel y Kirkby, 1982).

En este trabajo se estudia al Ca y Mg, (elementos secundarios), así como los micronutrientos Cu, Fe, Mn y Zn.

2.2.1 Elementos secundarios (Ca y Mg).

Este nombre no significa que tengan un papel secundario en el crecimiento de las plantas, son tan importantes para su nutrición como los elementos primarios o macronutrientos; si bien esto es cierto, las plantas no requieren tanto de ellos.

Sin embargo la deficiencia de un microelemento o elemento secundario, puede reducir el crecimiento de las plantas, tanto como la deficiencia de un elemento primario (Paul, 1990).

Así, enseguida se resumen varias de sus características y su papel en las plantas.

Calcio (Ca)

Funciones:

- a) Regula la presión osmótica de las células.
- b) Juega un papel importante en la permeabilidad de las membranas.
- c) Actúa en la división mitótica de las células.
- d) Interviene en el crecimiento de los meristemas (Paul, 1990; Jones, 1998).

Deficiencias:

- a) Existe un menor desarrollo radicular.
- b) Formación de raíces oscuras y fraccionadas.
- c) Clorosis en hojas jóvenes y forma de garfio.
- d) Muerte de meristemas.
- e) Pudrición del tejido conductivo de la base del tallo (Finck, 1988).

Toxicidad: Altos contenidos de Ca provocan una deficiencia en Mg o K, dependiendo de la concentración en el tejido vegetal (Jones, 1998).

Formas disponibles : El Ca existe en la solución del suelo en su forma catiónica Ca^{2+} y como Ca intercambiable en los coloides del suelo. Es usualmente el catión de más alta concentración en el suelo, tanto en su forma soluble como intercambiable, en suelos con pH mayores de 8. Estos suelos tienen grandes cantidades de Ca como carbonato de calcio (CaCO_3) y sulfato de calcio (CaSO_4).

Sin embargo la deficiencia de un microelemento o elemento secundario, puede reducir el crecimiento de las plantas, tanto como la deficiencia de un elemento primario (Paul, 1990).

Así, enseguida se resumen varias de sus características y su papel en las plantas.

Calcio (Ca)

Funciones:

- a) Regula la presión osmótica de las células.
- b) Juega un papel importante en la permeabilidad de las membranas.
- c) Actúa en la división mitótica de las células.
- d) Interviene en el crecimiento de los meristemos (Paul, 1990; Jones, 1998).

Deficiencias:

- a) Existe un menor desarrollo radicular.
- b) Formación de raíces oscuras y fraccionadas.
- c) Clorosis en hojas jóvenes y forma de garfio.
- d) Muerte de meristemos.
- e) Pudrición del tejido conductivo de la base del tallo (Finck, 1988).

Toxicidad: Altos contenidos de Ca provocan una deficiencia en Mg o K, dependiendo de la concentración en el tejido vegetal (Jones, 1998).

Formas disponibles : El Ca existe en la solución del suelo en su forma catiónica Ca^{2+} y como Ca intercambiable en los coloides del suelo. Es usualmente el catión de más alta concentración en el suelo, tanto en su forma soluble como intercambiable, en suelos con pH mayores de 8. Estos suelos tienen grandes cantidades de Ca como carbonato de calcio (CaCO_3) y sulfato de calcio (CaSO_4).

El rango de suficiencia para el cultivo del maíz, está entre 0.21 – 1.00 % (Jones, 1998).

Movimiento en el suelo: El Ca en el suelo se mueve por difusión, pero la disponibilidad puede ser afectada por la baja humedad del suelo, ya que se reduce la evapotranspiración y por lo tanto la planta no puede tomarlo (Mengel y Kirkby, 1982). El Ca es de baja movilidad en la planta y en el suelo es media. (Narro, 1995, citado por García, 2000).

Magnesio (Mg)

Funciones:

- a) Es un componente de la molécula de clorofila por lo que interviene en la fotosíntesis.
- b) Ayuda al metabolismo de los fosfatos.
- c) Interviene en la respiración de la planta.
- d) Está presente en numerosos sistemas enzimáticos (PPI-PPIC- FAR, 1991).

Deficiencias:

- a) Produce clorosis intervenal en las hojas viejas (muy móvil).
- b) Hojas con coloración amarillenta, bronceadas o rojizas.
- c) Los síntomas aparecen en hojas jóvenes cuando la deficiencia es muy severa (Jones, 1998).

Toxicidad: No existen síntomas específicos de toxicidad, sin embargo un alto contenido de Mg produce un desbalance con Ca y K, reduciendo el desarrollo (Jones, 1998).

Formas disponibles: El Mg se encuentra en el suelo en forma de catión Mg^{2+} y en forma intercambiable en la solución del suelo. Es el segundo catión más

abundante en el suelo, después del Ca, cuando el suelo tiene un pH entre ligeramente ácido a neutral. La disponibilidad baja cuando el pH está por debajo de 5.4. El rango de suficiencia para el cultivo del maíz está entre 0.20 – 1.00 % (Jones, 1998).

Movimiento en el suelo : El movimiento de Mg por la raíz depende de la intercepción de ésta con el elemento y por difusión. La deficiencia de Mg puede ocurrir en suelos con muy poca humedad (Jones, 1998). La movilidad del Mg en la planta es alta y en el suelo es media (García, 2000).

2.2.2 Micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn).

Los micronutrientes son requeridos en concentraciones relativamente bajas por las plantas, en comparación con los elementos mayores. Pueden ser expresados en partes por millón (ppm), miligramos por kilogramo (mg kg^{-1}) o bien en milimoles por kilogramo (mmol kg^{-1}) (Paul, 1990).

Enseguida se consignan sus características y papel en las plantas.

Cobre (Cu)

Funciones:

- a) Interviene en el sistema de transporte de electrones.
- b) Participa en el metabolismo de carbohidratos y proteínas.
- c) Es importante en la fijación del N_2 (Jones, 1998).

Deficiencias:

- a) Provoca crecimiento lento en las hojas jóvenes.
- b) Necrosis en meristemas apicales.
- c) Reduce el crecimiento de frutos jóvenes.
- d) Hojas con coloración azul-verdoso, antes de volverse cloróticas. (PPI- PPIC- FAR, 1991).

Toxicidad: Un exceso de Cu provoca una deficiencia de Fe y por lo tanto clorosis. Es el Cu mucho más tóxico que el Al para el desarrollo de las raíces. Estas toxicidades son poco comunes (Rodríguez, 1982).

Formas disponibles: Existe en el suelo en su forma catiónica Cu^{2+} y está presente en muy pequeñas cantidades en la solución del suelo.

Movimiento en el suelo: Los suelos orgánicos tienen mayores probabilidades de sufrir deficiencias de Cu a diferencia de los suelos arcillosos. La presencia de Fe, Mn, Al, etc. afectan la disponibilidad del Cu para el crecimiento de las plantas. Esto es independiente del tipo de suelo (PPI- PPIC- FAR, 1991.)

Muchos suelos son capaces de mantener Cu^{2+} en la solución del suelo siempre que se incremente el pH (Jones, 1998).

Fierro (Fe)

Funciones:

- a) Interviene en la síntesis de anillos pirrólicos que constituyen la molécula de clorofila.
- b) Actúa como transportador de oxígeno.
- c) Es requerido para la reducción de nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}).
- d) También es importante para la producción de energía. (PPI- PPIC- FAR, 1991 ; Jones, 1998).

Deficiencias:

- a) Presenta una clorosis intervenal en hojas jóvenes, ya que es poco móvil.
- b) Cuando la deficiencia es severa los síntomas llegan a hojas viejas (Mortvedt, *et al.*, 1983).

Toxicidad: La toxicidad de Fe no está muy definida, en ocasiones se aprecian las hojas de color bronce con puntos cafés. Esto se ha visto en cereales principalmente (Jones, 1998).

Formas disponibles: Es absorbido por la planta en forma ferrosa (Fe^{2+}) o férrica (Fe^{3+}) también en forma de quelatos, los cuales se afectan por el grado de aireación del suelo (Jones, 1998). El ión requerido más frecuentemente por las plantas es el (Fe^{2+}) y la eficiencia de absorción está en relación con la capacidad que tiene la planta de transformar el ión Fe^{3+} a Fe^{2+} . Algunas plantas acidifican el pH o bien secretan sustancias que reducen el ión Fe^{3+} a Fe^{2+} (Mortvedt, *et al.*, 1983).

Cuando el suelo tiene un pH alto, la disponibilidad del Fe disminuye ya que la forma férrica (Fe^{3+}) tiende a formar óxido férrico el cual es insoluble (García, 2000).

Movimiento en el suelo: El Fe es movido en el suelo por difusión. El Cu, Mn y Ca competitivamente interfieren con la absorción de Fe, así como los altos niveles de fósforo (Jones, 1998).

Manganeso (Mn)

Funciones:

- a) Está involucrado en los procesos de oxidación reducción.
- b) Juega un papel importante en la fotosíntesis ayudando en la síntesis de clorofila.
- c) Acelera la germinación y la madurez (Narro, 1995).

Deficiencias:

- a) Se presenta clorosis intervenal en hojas jóvenes, (poco móvil).
- b) La mayoría de los cereales desarrollan puntos grises en las hojas inferiores (Mortvedt, *et al.*, 1983).

Toxicidad: El exceso de este elemento produce puntos cafés en las hojas, rodeados por círculos cloróticos (Jones, 1998).

Formas disponibles: Este elemento existe en el suelo en las formas de Mn^{2+} , Mn^{3+} y Mn^{4+} , siendo Mn^{2+} la forma más común de absorción por la planta.

La disponibilidad del Mn se ve afectada cuando existe un alto pH, bajas temperaturas en el suelo y por altos contenidos de materia orgánica. La solubilidad del Mn disminuye a medida que el $CaCO_3$ aumenta, ya que se absorbe al $CaCO_3$ o bien se forma MnO_2 (Mortvedt, *et al.*, 1983).

Movimiento en el suelo: Es absorbido por la planta por difusión e interceptación de raíces. Los suelos con bajas temperaturas y tensión de humedad reducen su absorción. Algunas plantas realizan exudados en la raíz para reducir Mn^{4+} a Mn^{2+} incrementándose la disponibilidad del Mn en la planta (Finck, 1988).

Zinc (Zn)**Funciones:**

- a) Está involucrado en los sistemas enzimáticos, al igual que el Mg y el Mn.
- b) Interviene en los sistemas de crecimiento.
- c) Está relacionado con el metabolismo del N de la planta (Mortvedt, *et al.*, 1983).

Deficiencias:

- a) Clorosis intervenal en hojas jóvenes (poco móvil).
- b) Las hojas forman entrenudos cortos (arrosetado).
- c) Las hojas terminales son demasiado pequeñas.
- d) Se forman manchas amarillas y necróticas en las hojas.
- e) En casos extremos se inhibe la formación de frutos (Mengel y Kirkby, 1982).

Toxicidad: Con niveles muy altos de Zn, las plantas particularmente sensitivas al Fe, se vuelven cloróticas (Narro, 1995).

Formas disponibles: Existe en la solución del suelo en forma de Zn^{2+} , como Zn intercambiable y como un complejo orgánico de Zn. Su disponibilidad disminuye al incrementarse el pH del suelo y cuando existen niveles altos de P disponibles en el suelo (Mortvedt, *et al.*, 1983).

Movimiento en suelo: El Zn entra en contacto con las plantas por difusión. Elementos como el cobre (Cu) y el amonio (NH_4^+) inhiben la disponibilidad del Zn, otros factores son el pH, el lixiviado y los suelos fríos (Jones, 1998).

2.3 Necesidades de Micronutrientes en Maíz.

El estudio de los micronutrientes en el maíz, presenta mayor reto y dificultad que el de los elementos mayores, ya que el margen entre eficiente, límite y deficiente es pequeño (Finck, 1988).

Las deficiencias en su mayoría se encuentran en el rango del hambre oculta y se reflejan en el rendimiento del maíz. Si alguno de los micronutrientes se presenta en pequeñas cantidades, se dificulta su medición (PPI – PPIC - FAR, 1991).

Tanto los elementos secundarios como los micronutrientes difieren de los macroelementos en que son deficientes en regiones y suelos específicos, por lo que no son requeridos en las fórmulas de fertilizantes utilizados en el maíz, sin embargo, en muchas áreas se ha encontrado que uno o más de estos nutrientes han elevado los rendimientos en maíz (Aldrich y Leng, 1965).

En la actualidad se ha dado gran importancia a la investigación de elementos secundarios y micronutrientes como alternativa para aumentar la producción de suelos donde los macronutrientes (N, P, K) se han aplicado y sus producciones ya no varían debido a la fertilización (PPI – PPIC - FAR, 1991).

En el maíz, los problemas con micronutrientes se presentan comúnmente con el Zn, Fe y Mn, siendo el más importante el del Zn (Halliday, *et al.*, 1992).

Dawood, *et al.* (1992) hicieron aplicaciones foliares de micronutrientes a dos variedades de maíz (Gza y TWC 350) en Egipto, aplicando 70, 100, 130, 160 y 190 kg de N, con y sin aplicación de microelementos, así como 50, 34, y 17 ppm de Zn, Mn y Fe, respectivamente. El rendimiento de grano más alto fue en la variedad TWC 350, con aplicación de 130 kg de N y micronutrientes.

Soliman, *et al.* (1992) vieron la influencia del S y el N sobre la toma de micronutrientes como son el Fe, Mn y Zn en plantas de maíz, obteniendo que éstos fueron tomados satisfactoriamente, usando 3 g de S kg^{-1} y 400 mg de N kg^{-1} de suelo, con lo cual se logró incrementar el rendimiento en suelos calcáreos de Gottingen.

Barnard, *et al.* (1994) experimentaron con la variedad de maíz PIONEER 6564 y se observó que la aplicación de productos con micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) como son el oxicoal, oxiproduct y oxifulic, incrementaron las concentraciones de Mn, Cu y Zn, en forma significativa, principalmente con el oxiproduct y el oxifulic.

Zhang, *et al.* (1994) desarrollaron plantas de maíz en una solución de cultivo y aplicaron Fe, Mn y Zn en soluciones de EDTA al 0.3% , así como sulfato a hojas de plantas desarrolladas, sin la aplicación de microelementos. Todos los microelementos aplicados tuvieron una mayor influencia en el desarrollo de las plantas.

Kang, *et al.* (1993) hicieron estudios sobre Mn aplicado en maíz, en soluciones que contenían de 0 – 55 mg l⁻¹ en macetas, aplicando de 0 – 5 g de MnSO₄ por kg de suelo, o en campo con aplicaciones de 0 – 1500 g de (MnSO₄) /m². Hubo diferencia significativa en el desarrollo de raíces y en el rendimiento de grano, arriba de 55 mg de Mn /litro en solución, y arriba de 5 g de MnSO₄ /kg de suelo.

Por otra parte Tong, *et al.* (1995) hicieron estudios sobre el desarrollo y rendimiento del maíz en la variedad Shi 1243, en donde aplicaron Cu SO₄ tanto a suelo como a la semilla, encontrando que el Cu estimuló el metabolismo, fotosíntesis y desarrollo de la planta, así como un incremento en el rendimiento entre un 6 y 15 % .

También se ha visto que al aplicar Cu en suelos tropicales tiene efectos positivos, Ojeniyi y Koyade (1993) aplicaron diversos tratamientos de Cu y S en una variedad de maíz Fars # 34 en Guinea, donde los tratamientos para Cu fueron 0, 1, 3, 6 y 9 kg CuO ha⁻¹ y los de azufre fueron de 0, 10, 20, 40 y 80 kg de S ha⁻¹ encontrándose que el rendimiento se incrementó consistentemente con 1 kg de CuO ha⁻¹, siendo que los niveles más altos disminuyeron o no tuvieron efecto en el rendimiento. Para el caso del azufre el mejor tratamiento fue el de 10 kg de S ha⁻¹ .

2.4 Interacciones de los Micronutrientos más Importantes en Maíz.

Interacción se define como una acción mutua o recíproca de un elemento sobre otro en relación al crecimiento de las plantas (Finck, 1988). También puede definirse como la respuesta diferencial de un elemento, en combinación con

niveles variables de un segundo elemento aplicado en forma simultánea (Mortvedt, *et al.*, 1983).

La metodología DRIS considera el uso de las relaciones entre nutrimentos, para calcular los índices que reflejan deficiencias, excesos relativos o bien un balance adecuado (García, 2000).

Es importante considerar que la interacción entre los nutrimentos es un factor que afecta o altera el contenido y el estado nutricional de las plantas (Howeler, 1983, citado por García, 2000).

2.4.1 Interacción (P –Zn).

Entre las interacciones más frecuentes está la de fósforo- zinc (P- Zn), la cual ha sido estudiada en muchos experimentos desde 1936. Esta interacción se designa como deficiencia de Zn, inducida por P (Mortvedt, *et al.*, 1983).

En numerosas especies de plantas se ha demostrado la interacción P – Zn . Niveles altos de uno de los nutrimentos pueden reducir la absorción del otro, así como la aplicación de uno de ellos en suelos bajos en ambos nutrimentos, puede inducir la deficiencia del otro. Cabe considerar que el pH del suelo juega un papel muy importante en las interacciones (PPI – PPIC - FAR, 1991).

Goyal, *et al.* (1990) trabajaron con una variedad de maíz en suelos no calcáreos deficientes en fósforo. Aplicaron dosis de (0, 20, 40, 80 y 120 ppm) de P y (0, 5, 10, 20 y 40 ppm) de Cu. Los rendimientos de materia seca se incrementaron con la aplicación del P, pero no así con el Cu. Sin embargo, las concentraciones de Mn y Zn se vieron disminuidas en el tejido por la aplicación del P.

Stasauskaite y Navaitiene (1995) hicieron un experimento en hidroponia, donde se estudiaron los efectos de 0.2, 0.5 y 1.0 mg de Cu litro^{-1} , así como 0.5,

2.5 y 5.0 mg de Zn litro^{-1} sobre la actividad de la fosfatasa y el contenido de P en las raíces del maíz (var. Bukovina 3) . En el desarrollo de la raíz, la fosfatasa tuvo la actividad más alta con 0.5 mg de Cu y la actividad más baja fue con 1.0 mg de Cu. Los contenidos de P en la raíz se incrementaron con el Cu pero se redujeron con la aplicación del Zn.

Cshato y Lasztity (1995), en suelos calcáreos tipo chernozem, investigaron el efecto de fertilizantes, especialmente el P, sobre una rotación de cultivos maíz-trigo, trigo-maíz-maíz-trigo-chícharo. El nitrato de amonio, superfosfato y cloruro de potasio fueron usados como fertilizantes. Las altas tasas de fósforo redujeron progresivamente los rendimientos ocasionando un bajo contenido de Zn en la etapa de floración, ésto como consecuencia de deficiencia de Zn inducida por P. El rendimiento se redujo de 1.5 – 2.0 ton ha^{-1} con 200 kg de P, comparado con 50 kg .

Kitaeva y Kitajeva (1996) condujeron un experimento en la región de Penza, en Rusia, con los cultivos de maíz y cebada para observar el contenido de formas móviles de P y de Zn en el suelo. Las aplicaciones de Zn fueron de (0.98, 1.7, 3.6 y 4.7 kg ha^{-1}) al suelo, donde los niveles de P fueron bajos, intermedios y altos. Se concluyó que con un incremento en el contenido de P en el suelo, el rendimiento de materia verde de maíz y cebada aumentó con aplicación de dosis bajas de Zn; pero un incremento en las dosis de Zn redujo fuertemente el efecto del P.

Chaudhry, *et al.* (1992) aplicaron 0, 20, 40,60 y 80 ppm de P, como superfosfato simple (SSP), Polifosfato de Amonio (APP) y NPK. También se agregó 0 y 5 ppm de Zn como ZnSO_4 . Los rendimientos se incrementaron con cantidades mayores de 60 ppm de P. El orden de las fuentes fue SSP, AAP y NPK. Sin embargo, la disponibilidad del P fue notablemente baja en los tratamientos de Zn en el orden siguiente: APP, NPK y SSP.

Existen otras interacciones entre nutrimentos que se presentan con menor frecuencia en el cultivo del maíz.

2.5 Técnicas de Diagnóstico de Deficiencia.

Una forma de detectar la deficiencias nutrimentales de los cultivos es utilizar tecnologías nuevas para el diagnóstico nutricional, por lo cual se logra ser eficientes en la producción, al aplicar dosis de fertilización óptimas.

En el norte de México se carece de tecnología adecuada para el diagnóstico nutricional, por lo que en ocasiones se utiliza la tecnología clásica de diagnóstico, la cual se basa en comparaciones de la concentración foliar de nutrimentos en la muestra, contra un nivel crítico (NC) o rango de suficiencia (RS), no obstante esta técnica cuenta con varias desventajas, ya que pueden variar estos valores con condiciones climáticas locales, labores culturales, así como con la edad y porción de la muestra de la planta (Escano, *et al.*, 1981).

La concentración de nutrimentos cambia entre las variedades de la misma especie. Diferencias en concentración de fósforo han sido encontradas en maíz (Barber y Olson, 1968), en soya (Bernard y Howell, 1964) y en alfalfa (Hill y Jung, 1975). La concentración diferencial de nutrimentos entre variedades invalida el uso de la técnica del nivel crítico para diagnosticar deficiencias nutricionales en los cultivos.

La concentración de nutrimentos en los tejidos de las plantas varía debido a la etapa fenológica del cultivo. Mengel y Kirkby (1982) mencionan que una concentración de 0.2 % de P en la materia seca de paja de cereales puede considerarse alta, mientras que en una planta joven, esta concentración sería baja para un buen crecimiento. En general las concentraciones de N, P y K disminuyen con el crecimiento de la planta, mientras que las concentraciones de Ca, Mg, Mn y B se incrementan. Por lo que para hacer un buen diagnóstico de deficiencia es

importante hacer el muestreo del tejido vegetal en una etapa fenológica bien definida.

También, Sumner (1979) menciona la desventaja del método, ya que hay variación en la concentración de nutrimentos de la materia seca basada en la edad de la planta. Existen diferencias debido a la parte de la planta muestreada, por lo que cuando se utiliza el nivel crítico para diagnosticar deficiencias es importante definir la parte de la planta muestreada. Tanaka y Yamaguchi (1981) encontraron que el contenido de fósforo era mayor en las hojas superiores de la planta y disminuía hacia las hojas de abajo; por el contrario, el contenido de potasio era bajo en hojas superiores y alto en las hojas más bajas.

Otra fuente de variación es la interacción entre nutrimentos en las plantas. Los nutrimentos pueden interactuar en el suelo, en la rizósfera o en la planta misma, y las correlaciones pueden ser ambientales o genéticas. Backer, *et al.* (1983) encontraron que en variedades de maíz seleccionadas por alto y bajo contenido de P, las concentraciones de éste estaban correlacionadas positivamente con N y B y negativamente con Fe, Al y Mn.

Las desventajas del Nivel Crítico para el diagnóstico del estatus nutricional de los cultivos descritos anteriormente, son superadas por la técnica DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System).

2.6 Método DRIS.

Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), originalmente llamado Diagnóstico Fisiológico, ha sido desarrollado desde los años 1950's por el Dr. Beaufils, cuando desarrolló su metodología para recomendar la fertilización en árboles de hule (*Hevea brasiliensis*). Esta metodología fue modificada por él mismo en el año de 1973, en la Universidad de Natal en África del Sur (Soltanpour *et al.*; 1995).

Este método usa una comparación de la relación de concentración de pares de nutrimentos en el tejido de la hoja, con normas desarrolladas de poblaciones de altos rendimientos, para diagnosticar deficiencias nutrimentales (Beaufils, 1973).

Escano, *et al.* (1981), mencionan que el DRIS asume todas las posibles relaciones de concentraciones de nutrimentos en el tejido de la planta, siendo éstos, parámetros para determinar el rendimiento.

Sin embargo, Beverly (1991) define al DRIS como un método en donde se involucran relaciones en cada par de nutrimentos, de tal manera que se investiga la adecuación de cada nutriente en relación a todos los otros.

El DRIS ha sido frecuentemente aplicado a varios cultivos, tanto perennes como anuales. Este sistema representa un método holístico de la nutrición mineral de los cultivos y es un integrador de normas de calibración que representa la composición del tejido de la planta, del suelo, de parámetros ambientales y de prácticas culturales, como funciones del rendimiento de un cultivo en particular (Sumner, 1979).

El método DRIS evalúa relaciones de nutrimentos que pueden parecer confusos al principio, pero son realmente simples. Cada relación de nutrientes de una muestra de tejido de interés (valores observados) es comparada con su relación correspondiente (valores normales). Estos son derivados de una población favorable de altos rendimientos del mismo cultivo (Sumner, 1979).

En la práctica las normas regionales se hacen bajo suelos y condiciones climáticas locales, siendo estas condiciones las más apropiadas. Los valores de relaciones observados son numéricamente comparados con los valores normales mediante el cálculo de valores de función y, éstos se usan para calcular los valores de índice (Sumner, 1979).

El DRIS difiere de métodos de diagnóstico estándares, principalmente en la interpretación de resultados analíticos, ya que considera cada concentración de un nutrimento en particular y evalúa las relaciones entre nutrimentos, por lo que es un sistema que ha logrado superar grandemente la técnica del Nivel Crítico (Beverly, 1991).

Entre las ventajas del método DRIS se encuentra que puede utilizarse en cualquier etapa de desarrollo del cultivo y enlista los nutrimentos limitantes en orden de importancia en el rendimiento del cultivo. Dicha ventajas hacen que este método sea único, ya que es un método de recomendación correctiva (Sumner, 1979).

Walworth y Sumner (1987) mencionan que otra ventaja del DRIS, a diferencia de los métodos convencionales, es que está menos sujeto a cambios en la concentración de nutrimentos causados por condiciones locales de clima, variedad, edad de la planta y posición de la hoja. De ahí su éxito en tantos países y en gran diversidad de cultivos.

Sumner (1979) utilizó la técnica DRIS para evaluar la condición nutrimental de plantas de soya, utilizando tejidos de siete diferentes estados de desarrollo y en tres diferentes posiciones de la planta (parte baja, media y alta). Los resultados mostraron el mismo orden de requerimiento en todas las etapas y en todas las posiciones, concluyendo que el DRIS puede ser usado en cualquier etapa de desarrollo del cultivo y en cualquier posición de la planta.

La técnica DRIS es insensible a la variación de concentración de nutrimentos entre variedades. Sumner (1979) estudió la condición nutricional de diferentes variedades de soya utilizando el DRIS en tres diferentes tipos de suelo. Encontró en las tres localidades el mismo orden de requerimiento de las tres variedades.

También se evaluaron los estatus de fertilización de soya para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mo, B y Al, en 3500 muestras con el método DRIS, identificando no sólo el elemento nutricional más limitante, sino el orden en el que son limitantes (Beverly, *et al.*, 1986).

2.7 Comparación del Método DRIS con Otras Técnicas.

Walworth y Sumner (1987), citados por Soltanpour, *et al.* (1995) hicieron una comparación del método DRIS con el NSR (Nutrient Sufficiency Range) para el diagnóstico de análisis de plantas en maíz, concluyendo que el DRIS era superior al NSR por estar menos sujeto a cambios en la concentración de nutrimentos causado por la edad de la planta, así como por la posición de la hoja.

Escano, *et al.* (1981) consideraron que el método de diagnóstico DRIS, comparado con el del Nivel Crítico (NC), produce diagnósticos más exactos. Cuando evaluaron dichos métodos en un suelo Hydric Dystrandepsts en maíz, concluyeron que el DRIS fue un 8 % más exacto que el método convencional (NC) para diagnosticar deficiencia de N; sin embargo, ambos métodos fueron adecuados para P.

El método DRIS fue evaluado al compararlo con el Rango de Suficiencia (RS) en los cultivos de trigo, maíz y alfalfa; se determinó que el método DRIS evaluó satisfactoriamente requerimientos para el S, mientras que ambos métodos fueron adecuados para N, P y K (Beverly, 1993).

Así mismo, Sumner (1990) revisó los problemas asociados al uso del método NC y del DRIS usando datos de cultivos como maíz, trigo, papa, caña de azúcar y durazno. Concluyó que el DRIS reduce o elimina muchos de los problemas del método convencional, permitiendo hacer diagnósticos sin importar la variación en la edad del cultivo, proporcionando un rango de los nutrimentos en orden de limitancia para el rendimiento.

Sin embargo, Hallmark y Beverly (1994) realizaron un estudio sobre el diagnóstico de semillas de soya usando el NC y el DRIS. Este diagnóstico se hizo para N, P, K, Ca y Mg. La correlación de los análisis indicó que usando las concentraciones de nutrimentos del NC, hubo más variabilidad en el rendimiento, que utilizando la relación entre nutrimentos del método DRIS.

Otra comparación de métodos la realizaron Roberts y Rhee (1993) usando el NC y el DRIS en hojas y granos de maíz de altos rendimientos; observaron que las concentraciones críticas establecidas y los rangos pueden ser usados para diagnosticar maíz de altos rendimientos. Además, los índices DRIS para N, P, K, S y Cu indicaron ser los más limitantes basados en las normas publicadas.

2.8 Comparación de Normas DRIS Internacionales con Normas DRIS Locales.

En la actualidad existen normas DRIS para varios cultivos, considerando datos de grandes regiones y en ocasiones a nivel mundial.

Se han realizado trabajos donde es evidente que el uso de normas generales dan estimaciones poco precisas. Escano, *et al.* (1981) compararon sistemas de diagnóstico de la fertilidad en un suelo Hydric Dystrandepsts en maíz, concluyendo que cuando se utilizaron las normas publicadas, la técnica DRIS fue incorrecta para N y P, sin embargo, al utilizar las normas locales, se incrementó en forma considerable la precisión de la estimación del diagnóstico de la fertilidad del suelo para estos nutrimentos.

Así mismo, Islam (1990) utilizó las normas estándar y las normas locales para maíz en Dakota del Sur para dar un diagnóstico nutricional en N, concluyendo que los índices de balance nutricional indicaron mayor variabilidad en las normas estándar que en las normas locales.

Beaufils, citado por Elwali y Gascho (1985), evaluó ampliamente la técnica DRIS para el cultivo del maíz publicando normas DRIS para 11 nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu y B) considerando más de 1000 muestras en la mayoría de los casos. Sin embargo, estas normas no han sido eficaces para diagnosticar desbalances nutrimentales en todos los casos, por lo que es de suma importancia determinar normas locales para cada región en particular.

En estudios realizados en maíz por Syed, *et al.* (1992) se evaluaron dos métodos de diagnóstico, DRIS y NC, haciendo análisis para N, P, K, Mg, S, Mn, Zn, y Cu. Los índices de los nutrimentos fueron calculados usando normas generales y normas locales desarrolladas para Dakota del Sur. Los índices de regresión del balance de nutrimentos indicaron mayor variación en las normas generales que en las normas locales, concluyéndose que el método NC sobrestimó los requerimientos de N y que los índices DRIS calculados de las normas generales fueron menos usados que los desarrollados en las normas locales.

Por otra parte, Dara, *et al.* (1992) compararon dos métodos de diagnóstico SL y DRIS usando muestras de hojas de maíz para analizar N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn y Cu. Utilizaron normas generales o estándar y normas locales. Como conclusión obtuvieron que el método SL fue inadecuado para diagnosticar el N, a diferencia del método DRIS. Por otra parte, las normas generales mostraron una gran variabilidad en cuanto a rendimiento, comparadas con las normas locales.

En soya, también se han realizado estudios de este tipo, los cuales han sido reportados por Beverly, *et al.* (1986) quienes evaluaron los niveles nutrimentales de soya para N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo, B, y Al, en 3500 muestras con el método DRIS, identificando diferencias geográficas en las normas DRIS, por lo que sugieren que la derivación de diagnóstico de valores regionales debe ser necesaria.

Las normas DRIS regionales se han desarrollado para otros cultivos, Mackay, *et al.* (1987) establecieron normas DRIS locales para el cultivo de papa en Alberta y Nueva Escocia en Canadá, para determinar N, P, K y Ca. Ellos se basaron en las normas establecidas para Sudáfrica, pero estas fueron insatisfactorias para dichas áreas de Canadá, por lo que se recomiendan desarrollar normas DRIS locales .

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización.

El presente trabajo se llevó a cabo en el municipio de Anáhuac, N.L., específicamente en el Distrito de riego 004 "Don Martín", en Coahuila y Nuevo León. Dicho Distrito es uno de los más antiguos del país, inició sus operaciones en 1932, beneficiando con riego a una superficie de 65,000 ha, para esto se construyó la presa "Venustiano Carranza", con capacidad de 1,385 millones de m³; sin embargo, en 1941 debido a los erráticos escurrimientos del Río Sabinas y Nadadores se redujo la superficie regable a 29,605 ha. El Distrito se ubica en los extremos norte del estado de Nuevo León y noreste del estado de Coahuila dentro de los municipios de Juárez, Coah. (2,163 ha) y Anáhuac (27,442 ha), quedando comprendido entre los 27°01' y 27°30' de latitud norte, así como 99°57' y 100°35' de longitud oeste (SARH, 1992).

3.2 Clima.

El clima según la clasificación de Thornwaite, es semiárido con vegetación de estepa y humedad deficiente en todas las estaciones del año. La temperatura media anual es de 21.6°C, siendo en promedio en el mes de enero de (14°C) y el promedio durante el mes de julio de (28.4°C). El período de heladas se presentan en los meses de noviembre a febrero, siendo más frecuentes en enero. La precipitación se presenta de manera irregular, siendo mayo (60.3 mm) y septiembre (93.2 mm) los meses más lluviosos, el mes menos lluvioso es diciembre (18.4 mm). La precipitación media anual es de 402 mm (SARH, 1992).

3.3 Características de la Región.

3.3.1 Hidrología.

La principal fuente de abastecimiento con que cuenta el Distrito 004, es la presa "Venustiano Carranza", la cual tiene una capacidad de 1,385 millones de m³, con un volumen útil de 1,368 millones de m³. Las principales afluentes de la presa

son los ríos "Sabinas" y "Nadadores," pertenecientes a la cuenca del Río Salado, con una superficie de 35,726 km² dentro de la región hidrológica número 24 (SARH, 1992).

El Distrito cuenta además con un vaso regulador que se alimenta de la misma presa, conocido como "Laguna de Salinillas", con capacidad de 19 millones de m³. Dentro del Distrito también se opera un sistema de bombeo para aprovechar las aguas del Río Salado, con las cuales se riegan 1,083 ha (SARH, 1992).

3.3.2 Suelos.

De acuerdo a la clasificación de la FAO-UNESCO, modificada por DETENAL, el Distrito se identifica por tener suelos de tipo xerosoles, con una capa superficial clara, muy pobre en humus, con contenido bajo de N y tendencia a ser salinos, así como poco susceptibles a la erosión (SARH, 1992).

En el estudio agrológico del Distrito, las características son las siguientes: suelos con topografía ondulada accidentada, las texturas dominantes son las medias y las arcillosas de profundidad variable, de origen calizo y colores claros (SARH, 1992).

3.4 Muestreo de Suelo, Planta y Rendimiento.

Los datos a considerar pertenecen a lotes de maíz sembrados en el ciclo O-I de 1995-1996. Del total se seleccionaron 76 lotes al azar considerando como marco muestral todos los lotes del Distrito sembrados con maíz, sin embargo, sólo se procesaron estadísticamente 66 muestras debido a datos faltantes en una o más variables de las 10 muestras no incluídas.

Dentro de cada lote se seleccionó al azar un área de cinco surcos de 10 m de largo, donde se seleccionaron 10 plantas al azar. De estas plantas se muestreó la hoja de la mazorca en la etapa fenológica de inicio de espigamiento, evitando orillas y áreas de desarrollo irregular del cultivo.

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0-30 cm, en cada área seleccionada. La cosecha del área seleccionada (cinco surcos de 10 m de largo) se realizó a mano y se tomó su peso.

3.4.1 Análisis de suelo.

Las muestras de suelo fueron secadas y pasadas por un tamiz. Posteriormente se hizo análisis para determinar el pH usando un potenciómetro; las sales solubles se analizaron por medio del puente de Wheaststone para medir la conductividad eléctrica, y finalmente se analizó la materia orgánica utilizando el método de Walkley y Black.

3.4.2 Procesamiento de las muestras de planta y análisis.

Las muestras de la hoja de la mazorca de las plantas muestreadas en cada lote se secaron en una estufa a 65 °C por 48 horas y se molieron para facilitar el manejo de las mismas.

3.4.3 Solución estándar para cada uno de los nutrientes.

Las soluciones estándar para los elementos secundarios se explican a continuación.

Solución estándar de calcio (Ca)

Solución stock 1000 mg litro⁻¹. Se disolvieron 2.497 g de CaCO₃ en 5 ml de HCl concentrado y se aforó a un litro. Esta solución tenía una concentración de 1000 mg litro⁻¹ ó (ppm) de Ca. Para la curva de calibración se hicieron soluciones de 100, 10, 1.0, 0.1, 0.01 mg litro⁻¹ de Ca.

Solución estándar de magnesio (Mg)

Solución Stock $1000 \text{ mg litro}^{-1}$. Se disolvió 1 g de Mg en 10 ml de HCl y se aforó a 1 litro, esta solución contiene $1000 \text{ mg litro}^{-1}$ de Mg. Para la curva de calibración se hicieron soluciones de 10, 1.0, 0.1 y $0.01 \text{ mg litro}^{-1}$ de Mg.

Para los micronutrientos se procedió de la manera siguiente.

Solución estándar de hierro (Fe)

Solución stock $1000 \text{ mg litro}^{-1}$. Se disolvió 1 g de Fe en 6 ml de HCl concentrado y se aforó a 1 litro. esta solución tiene $1000 \text{ mg litro}^{-1}$ de Fe. Para la curva de calibración, se hicieron soluciones de concentración conocida de 100, 10, 1.0, 0.1 y $0.01 \text{ mg litro}^{-1}$ de Fe.

Solución estándar de cobre (Cu)

Solución Stock $1000 \text{ mg litro}^{-1}$. Se disolvió 1 g de Cobre electrolítico en 3 ml de HNO_3 y se aforó a 1 litro, esta solución tiene $1000 \text{ mg litro}^{-1}$ de Cu. En la curva de calibración se hicieron soluciones de 100, 10, 1.0, 0.1 y $0.01 \text{ mg litro}^{-1}$ de Cu.

Solución estándar de manganeso (Mn)

Solución Stock $1000 \text{ mg litro}^{-1}$. Fueron disueltos 3.602 g de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en agua y se aforó a 1 litro. Esta solución contiene $1000 \text{ mg litro}^{-1}$ de Mn. Para la curva de calibración se hicieron soluciones de 10, 1.0, 0.1 y $0.01 \text{ mg litro}^{-1}$ de Mn.

Solución estándar de Zinc (Zn)

Solución stock $1000 \text{ mg litro}^{-1}$. Se disolvió 1 g de Zn metálico en 2 ml de HCl y se aforó a un litro, esta solución tiene $1000 \text{ mg litro}^{-1}$ de Zn. Se hicieron soluciones de 10, 1.0, 0.1 y $0.01 \text{ mg litro}^{-1}$ de Zn para la curva de calibración.

3.5 Determinación de Fe, Mn, Cu y Zn en Suelo.

Se colocaron 2.5 g de suelo en 25 ml de solución extractora de Na HCO_3 en un matraz Erlenmeyer, agitando a una velocidad media por 10 min y se filtró con papel Whatman No. 40. Esto para cada muestra (Rodríguez, 1991).

3.6 Determinación de Calcio y Magnesio en Suelo.

Se tomaron 10 ml del filtrado aforados a 100 ml, agregándose 10 ml de cloruro de lantano y 1 ml de HCl (Woerner, 1989). Cada uno de los nutrimentos se determinó directamente usando el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.7 Determinación de Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn en Planta.

Se colocó 1 g de material vegetal en un crisol y se introdujo a la mufla por dos horas a una temperatura de 550 °C, quedando la muestra de color blanco (acenizada).

La muestra acenizada se colocó en un vaso de precipitado y se le agregó 50 ml de agua regia ($2\text{HCl} + \text{HNO}_3$). Las cenizas se disolvieron calentando hasta que el volumen quedó de 10 ml. Posteriormente estas muestras se aforaron a 100 ml con agua bidestilada. La lectura de las muestras se llevó a cabo en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Para llevar a cabo la lectura con el espectrofotómetro, fue necesario hacer una curva de calibración previa a la lectura de las muestras para cada nutrimento, utilizando las diluciones de la solución stock de cada elemento (Rodríguez, 1991).

3.8 Metodología para Determinar Normas DRIS.

El primer paso para aplicar la metodología DRIS es entender los términos usados.

3.8.1 Definiciones.

R, S y T: Es la representación simbólica de la concentración de elementos de la planta. Ejemplo R = Concentración de Nitrógeno.

Media: Es la suma de todos los valores individuales y divididos entre el número total de observaciones. Se representa como (\bar{X}) Ejem: La media de la relación de dos concentraciones de elementos se representa como sigue $(\bar{X} R/S)$

C. V.: El Coeficiente de Variación es la medida de la variabilidad de muestras individuales respecto a la media del grupo. Se determina dividiendo la desviación estándar (SD) entre la media de la población.

Forma de expresión: Para dos elementos R y S, las posibles formas de expresión son : R_S , S_R y (R/S) .

Norma: La media \bar{X} y el coeficiente de variación (C.V.) para una población favorable (de altos rendimientos) se seleccionan como Normas de diagnóstico para relaciones entre elementos que afecten el rendimiento.

Función: Es un valor numérico calculado para comparar una relación particular en una muestra de tejido correspondiente a la norma y se denota como $f(R/S)$.

Índices: Es un valor numérico para un elemento en particular que representa un balance en la muestra de tejido y se compara con todos los otros elementos involucrados. Es la media de todos los valores de función en donde

interviene un determinado elemento (R) . Ejem: $IR = \frac{f(R_S) + f(S_R)}{2}$

3.8.2 Determinación de los índices DRIS.

Una vez calculadas las Normas DRIS de los análisis foliares de la muestra se determina que: si el valor medio de la relación de la muestra (R/S) es mayor que la media de la relación de la Norma (r/s), se utiliza la siguiente ecuación:

$$f(R/S) = 100 \left(\frac{R}{S} - 1 \right) \frac{10}{CV}$$

Donde $f(R/S)$ = función de la relación entre nutrimentos. Ejem: $f(Ca/Mg)$.

Si el valor medio de la relación de la muestra (R/S) es menor que la media de la relación de la Norma (r/s), se utiliza la siguiente ecuación:

$$f(R/S) = 100 \left(1 - \frac{r}{R} \right) \frac{10}{CV}$$

Ya estimadas las funciones de cada relación se calculan los índices para cada nutrimento involucrado, de la manera siguiente:

$$I(Ca) = [f(Ca/Mg) + f(Ca/Fe) + f(Ca/Cu) + f(Ca/Mn) + f(Ca/Zn)] / 5$$

$$I(Mg) = [-f(Ca/Mg) + f(Mg/Fe) + f(Mg/Cu) + f(Mg/Mn) + f(Mg/Zn)] / 5$$

$$I(Fe) = [-f(Ca/Fe) - f(Mg/Fe) + f(Fe/Cu) + f(Fe/Mn) + f(Fe/Zn)] / 5$$

$$I(Cu) = [-f(Ca/Cu) - f(Mg/Cu) - f(Fe/Cu) + f(Cu/Mn) + f(Cu/Zn)] / 5$$

$$I(Mn) = [-f(Ca/Mn) - f(Mg/Mn) - f(Fe/Mn) - f(Cu/Mn) + f(Mn/Zn)] / 5$$

$$I(Zn) = [-f(Ca/Zn) - f(Mg/Zn) - f(Fe/Zn) - f(Cu/Zn) - f(Mn/Zn)] / 5$$

Cada índice representa la media de todas las funciones de relaciones en donde está involucrado el nutriente. Si el nutriente calculado está en el numerador, la función tendrá signo positivo, pero si está en el denominador será negativo (Beverly, 1991).

3.8.3 Requerimiento nutricional.

La suma de los índices tomando en cuenta el signo, debe ser cero, lo que indica un balance entre nutrientes de la muestra analizada. Los signos de los índices determinan: deficiencia, suficiencia o excesos relativos, siendo más deficiente el más negativo (Walworth y Sumner, 1987).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Niveles críticos.

Los niveles críticos de concentración de nutrimentos en la hoja de la mazorca al inicio de la emisión de estigmas se presenta en el Cuadro 2, de acuerdo con resultados reportados por Reuter y Robinson, (1986).

Cuadro 2. Niveles de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn en la hoja de la mazorca al inicio de emisión de estigmas de acuerdo con Reuter y Robinson, (1986).

Elementos secundarios	Bajo	Suficiente	Alto
	%	%	%
Ca	0.10-0.20	0.21-1.0	>1.0
Mg	0.10-0.19	0.20-1.0	>1.0
Micronutrimentos	ppm	ppm	ppm
Fe	10-20	21-250	251-350
Cu	2-5	6-20	21-70
Mn	10-19	20-200	201-300
Zn	15-24	25-100	101-150

En el Cuadro 3 se presenta el porcentaje de muestras que están en los rangos de bajo suficiente y alto, comparadas con las normas de Reuter y Robinson,(1986).

De acuerdo con dicho Cuadro los resultados de los análisis foliares mostraron que los niveles de Ca y Mg son muy bajos, ya que el 65 % y 98%, respectivamente, de las muestras analizadas estuvieron en el rango de concentración baja. Los suelos en donde se realizó el experimento son calcáreos

con altos niveles de carbonato de calcio, alcalinos con pH en el rango de 7.5 a 8.0, por lo que se esperarían niveles altos de estos elementos en el tejido vegetal.

Cuadro 3. Porcentaje de muestras en los rangos de bajo, suficiente y alto, comparadas con las normas de Reuter y Robinson, (1986).

Elementos secundarios	Bajo	Suficiente	Alto
	%	%	%
Ca	65 *	35	0
Mg	98 *	2	0
Micronutrientes	ppm	ppm	ppm
Fe	11	88 *	1
Cu	100 *	0	0
Mn	2	98 *	0
Zn	19	81 *	0

Para Fe, Mn y Zn, la mayoría de las muestras estuvieron en el rango de suficiencia, con porcentajes de 88, 98 y 81 % respectivamente, aunque también se encontraron algunas muestras con niveles bajos, 11 % para Fe, 2 % para Mn y 19% para Zn. La condición alcalina del suelo hace que la concentración de estos nutrientes en la solución del suelo sea baja debido a la precipitación de compuestos muy poco solubles, tal como lo menciona Brown y Kratky (1983). Sin embargo, bajo estas condiciones de suelo las plantas tienen mecanismos para solubilizar compuestos a nivel de la rizósfera, lo cual pudiera ser en el caso del maíz.

Existen mecanismos que están relacionados con las raíces de las plantas para absorber nutrientes bajo condiciones adversas, como lo es la alcalinidad del suelo. Entre esos mecanismos están:

- a) Los iones hidrógeno (H^+) son excretados por las raíces para bajar el pH de la rizósfera y solubilizar algunos compuestos que contienen nutrimentos.
- b) Las raíces excretan compuestos reductores para cambiar el estado de oxido-reducción de algunos elementos como Fe y Mn, quedando en forma disponible para las plantas.
- c) Las raíces pueden excretar ácidos orgánicos que cambian la composición química de la rizósfera propiciando mayor concentración de iones de elementos esenciales.
- d) Las raíces excretan compuestos orgánicos que incrementan la actividad de los microorganismos en la rizósfera promoviendo la descomposición de moléculas orgánicas y liberando micronutrimentos Brown y Kratky (1983).

Los resultados de los análisis foliares para los micronutrimentos mostraron que el Cu fue el más limitante considerando el criterio de los niveles críticos de Reuter y Robinson,(1986), debido a que el 100% de las muestras foliares estuvieron en el nivel bajo de la clasificación para este elemento. En suelos alcalinos el Cu también es un elemento de baja solubilidad y puede presentar niveles deficientes en la concentración de los tejidos vegetales. En este caso, es interesante los bajos niveles encontrados, comparados con los otros micronutrimentos que también se consideran insolubles en suelos alcalinos.

4.2 Comparación de la Concentración de Micronutrimentos en el Tejido Vegetal entre Poblaciones de Altos y Bajos Rendimientos.

Se hicieron análisis de varianza para identificar los nutrimentos y relaciones nutricionales que discriminen entre las poblaciones de alto y bajo rendimiento, en donde se encontró que no hubo diferencia significativa entre poblaciones, para Ca, Mg, Fe, Mn y Zn (Cuadro 4). Sin embargo, las poblaciones fueron significativamente diferentes para Cu. En la población con rendimientos más altos

se obtuvieron concentraciones mayores de cobre en la hoja de la mazorca, lo que indica que este nutrimento pudiera estar limitando el rendimiento de maíz en la región de Anáhuac, N. L.

Este resultado coincide con la interpretación de los análisis foliares usando los niveles críticos, dado que todas las muestras mostraron concentraciones de Cu menores que el nivel crítico reportado por Reuter y Robinson,(1986). En el Cuadro 4, también se observa una diferencia numérica entre los niveles de Fe en las poblaciones con mayor concentración en la población de altos rendimientos; sin embargo, el análisis de varianza no reportó diferencia significativa.

Cuadro 4. Promedio de concentración de Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn en las poblaciones de alto y bajo rendimiento.

Elementos Secundarios	Bajo rendimiento	Alto Rendimiento
	%	%
Ca	0.18	0.17
Mg	0.14	0.140
Micronutrientos	ppm	ppm
Fe	71.47	87.84
Cu	12.90	22.58 *
Mn	70.02	66.62
Zn	49.82	47.63

Diferencia significativa $p < 0.05$

4.3 Normas DRIS.

Considerando la información de la concentración de nutrimentos y las relaciones entre ellos en la población de altos rendimientos, se determinaron las normas preliminares DRIS que se presentan en el Cuadro 5.

4.3.1 Evaluación nutrimental utilizando normas DRIS.

La concentración de nutrimentos en el tejido vegetal, índices DRIS, orden de requerimiento nutrimental, índice de desbalance nutricional (IDN) y rendimiento, para cada una de las muestras tomadas se presentan en el Cuadro 1A del apéndice. En este cuadro se observa la concentración de nutrimentos en la hoja, en donde el Ca varió de 0.06 a 0.55 %, el Mg de 0.1 a 0.18 %, el Fe de 2.81 a 209.7 ppm, el Mn de 21.5 a 109.9 ppm, el Cu de 2.18 a 42.4 ppm y el Zn de 15.4 a 78.6 ppm.

En cuanto a los índices DRIS, se observó que el mayor índice negativo para Ca fue -5.21 y el mayor índice positivo fue de $+59.17$, para el caso de Mg no hubo índices negativos, siendo el menor índice positivo de $+11.39$ y el mayor índice positivo de $+186.15$, para Fe el mayor índice negativo fue de -81.3 y el mayor índice positivo de $+45.3$, para el caso del Mn el mayor índice negativo fue de -252.5 y el menor índice negativo fue de -0.71 , no hubo índices positivos. Para el Cu el mayor índice negativo fue de -108.2 y el mayor índice positivo fue de $+63.9$, y finalmente para Zn el mayor índice negativo fue de -11.24 y el mayor índice positivo fue de $+52.3$.

Las medias generales de los índices fueron: Ca $+21.3$, Mg $+48.79$, Fe $+4.08$, Mn -67.33 , Cu -17.01 y Zn $+9.86$. De acuerdo a estos resultados el orden de requerimiento para el cultivo del maíz fue el siguiente: Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg.

Cuadro 5. Normas DRIS establecidas y observadas.

Relación	Normas Beverly (Media)	Normas Beverly (%CV)	Normas Obtenidas (Media)	Normas Obtenidas (%CV)
Mg/Ca	0.465	1.76	0.69	52.17
Ca10/Fe	0.410	46.09	0.06	166.6
Mg10/Fe	0.190	51.50	0.04	225.0
Mn/Ca10	1.048	64.50	29.87	38.90
Mn/Mg10	2.485	71.62	47.49	30.25
Mn/Fe	0.405	61.48	1.5	131.3
Ca10/Zn	1.919	56.64	0.06	33.3
Mg10/Zn	0.830	60.72	0.03	66.6
Fe/Zn	4.464	41.15	1.83	68.30
Mn/Zn	1.716	68.47	1.46	28.08
Ca10/Cu	6.022	58.30	0.29	103.44
Mg10/Cu	2.768	69.90	0.17	94.11
Cu/Fe	0.079	45.56	0.64	209.37
Cu/Mn	0.260	66.92	0.43	134.88
Cu/Zn	0.356	56.17	0.68	173.52

En el Cuadro 6 se presenta el número de muestras del total de 66 para cada nutrimento, ya sea como deficiente o bien con exceso relativo de acuerdo al orden de requerimiento para cada muestra.

Cuadro 6. Cantidad de muestras del total de 66 con deficiencia y exceso relativo, de acuerdo al orden de requerimiento para cada muestra.

Elementos secundarios	Muestras con deficiencia	Muestras con excesos
Ca		1
Mg		57
Micronutrientes		
Fe	3	4
Mn	48	
Cu	15	1
Zn		3

El diagnóstico realizado para cada nutriente de acuerdo con el orden de requerimiento, en cuanto al primer lugar con deficiencia o exceso relativo para cada muestra, tuvo mucha similitud con el obtenido por las medias de los índices DRIS, siendo el siguiente: Mn>Cu>Ca>Zn>Fe>Mg.

Por medio de los índices DRIS se obtuvo el diagnóstico siguiente: deficiencias con Mn y Cu así como excesos relativos con Fe, Zn, Ca y Mg.

La deficiencia de Mn es bien conocida en condiciones de suelo con pH alcalino y alto contenido de carbonatos, ya que la forma disponible de este nutriente (Mn^{2+}) se convierte en Mn tetravalente (MnO_2) que es su forma estable (Cook y Millard, 1953; Tisdale y Nelson, 1982; Halliday, *et al.*, 1992).

Las deficiencias de Cu también pueden atribuirse al alto pH de los suelos calcáreos, ya que la cantidad de Cu intercambiable disminuye a medida que aumenta el pH (Jones, 1998; Finck, 1988).

Los contenidos de Fe y Zn no mostraron deficiencias como en el caso de Mn y Cu, sino que se encontraron en cantidades suficientes para el cultivo.

Las grandes cantidades de Ca y Mg pueden explicarse, ya que existe gran cantidad de estos nutrimentos en suelos de origen calcáreo (Mordvet *et al.*, 1983; Halliday *et al.*, 1992).

4.4 Correlaciones entre Nutrimentos y Características del Suelo.

En el Cuadro 7 se puede observar que no se encontraron correlaciones significativas entre los nutrimentos estudiados con la conductividad eléctrica y la materia orgánica. Sin embargo, en cuanto al pH, hubo una correlación significativa y positiva con la cantidad de Ca en el tejido vegetal.

Cuadro 7. Correlaciones entre nutrimentos, conductividad eléctrica, (CE) materia orgánica (MO) y pH.

	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
CE	r= - 0.582 p= 0.622	r= 0.0007 p= 0.995	r= -0.124 p= 0.291	r= 0.144 p= 0.241	r= -.0122 p= 0.299	r= 0.1051 p= -0.376
MO	r= 0.051 p= 0.661	r= 0.016 p= 0.893	r= 0.080 p= 0.501	r= 0.087 p= 0.477	r= -0.022 p= 0.853	r= 0.0605 p= 0.611
pH	r= 0.263 p= 0.023*	r= 0.0372 p= 0.753	r= 0.1461 p= 0.218	r= -0.082 p= 0.506	r= 0.1792 p= 0.126	r= -0.065 p= 0.580

* Correlación significativa $p < 0.05$

El pH en suelos calcáreos está determinado por los carbonatos y bicarbonatos en el suelo, de tal forma que a mayor concentración de éstos, se tienen mayores valores de pH (Rodríguez, 1982). Como el carbonato está asociado al Ca, se esperaría una mayor concentración de este elemento en suelos con alto pH, como se encontró en el presente trabajo en donde se observó una correlación significativa de $r = .263$ y $p = 0.023$ entre Ca y pH.

4.5 Correlaciones entre Nutrientos.

En el Cuadro 8 se puede observar que los análisis de correlación mostraron tendencias importantes en cuanto a relaciones de concentración de nutrientes en el tejido foliar de maíz. El Ca estuvo positivamente correlacionado con Mg ($r=0.4128$; $p=0.000$). Este resultado es frecuentemente encontrado en la literatura de nutrición vegetal. García (2000) encontró una relación positiva en la concentración de Ca y Mg en hojas de papa, en un muestreo regional en suelos calcáreos, semejante al que se presenta en este trabajo. Otras correlaciones importantes del Ca con otros elementos fueron: Ca-Fe ($r=0.4173$; $p=0.000$), Ca-Mn ($r= 0.5350$; $p=0.000$) y Ca-Zn ($r=.5315$; $p=0.000$). Estas correlaciones muestran que niveles altos de Ca en el tejido vegetal tuvieron altos niveles de los metales divalentes como Fe, Mn y Zn. Resultados similares fueron reportados por García (2000) en papa.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación (r) entre nutrientes y valores de (p).

	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
Ca						
Mg	0.4128 $p=0.000^*$					
Fe	0.4173 $p=0.000^*$	0.2208 $p=0.060$				
Cu	0.0756 $p=0.540$	0.1763 $p=0.150$	-0.0564 $p=0.651$			
M	0.5350 $p= 0.000^*$	0.5923 $p= 0.000$	0.4446 $p= 0.000$	-0.0498 $p=0.687$		
Zn	0.5315 $p= 0.000^*$	0.4336 $p=0.000$	0.5582 $p= 0.000$	0.1015 $p=0.000$	0.7331 $p= 0.000$	

* Correlación significativa $p < 0.05$

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en este trabajo y a los resultados obtenidos se concluye que:

1- Se hizo un diagnóstico nutricional para los siguientes nutrimentos: Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn, estableciéndose normas preliminares DRIS para el cultivo de maíz en el municipio de Anáhuac, Nuevo León.

2- El diagnóstico nutricional por medio del sistema DRIS, indicó que existen bajas concentraciones de Mn y Cu, y que los nutrimentos como Fe, Zn, Ca y Mg están en mayores concentraciones con respecto a Mn y Cu.

3- Por medio de los índices DRIS se detectó que el orden de requerimiento nutrimental para el cultivo del maíz fue: Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg. Lo cual difirió del nivel crítico que determinó que Cu, Mg y Ca estuvieron en el rango de concentración baja, mientras que Mn, Fe y Zn estuvieron en el rango de suficiencia.

4- En la mayoría de los casos la concentración de Mn fue la más baja, debido a que en suelos alcalinos existen grandes cantidades de CaCO₃ así como un elevado pH.

5- Por otra parte prevaleció la alta concentración de Mg, ya que su disponibilidad es alta en suelos con pH elevado.

6- La concentración de Cu en las poblaciones de alto y bajo rendimiento fue diferente, indicando que este elemento pudiera estar limitando al rendimiento.

7- Finalmente se acepta la hipótesis planteada de que con el uso del DRIS es posible hacer un diagnóstico nutrimental adecuado y por lo tanto, tomando las medidas correctivas se puede incrementar el rendimiento de maíz en la zona de Anáhuac, N.L.

Considerando las conclusiones obtenidas en el presente estudio, se recomienda continuar con la acumulación de datos de análisis foliares en maíz en esa región, con la finalidad de obtener normas locales con un buen nivel de precisión.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aldrich, S. R. and E. R. Leng. 1965. Modern corn production. Edit. The Farm Quarterly, Cincinnati, Ohio. p-39
- Backer, D.E., F.J. Wooding and M. W. Johnson.1983. Chemical element accumulation by populations of corn (*Zea mays* L.) selected for high and low accumulation of P. Agron. J. 63: 404 – 406.
- Barber, S. A. and R. A. Olson.1968. In changing patterns in fertilizer use. Soil Sci. Soci. of Am. Inc. Madison Wisconsin. U.S.A.
- Barnard, L.O.; H. V. T. Watt; W. H. Mentz and H. V. H. Watt. 1994. Oxical products as micronutrient carriers: evaluation of Fe, Mn, Cu y Zn complexes on maize in sand culture. Applied- Plant- Science. 1994, 8: 1, 35-36.
- Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) . A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Soil Sci. Bull. N°. 2. University of Natal , S. Africa.
- Bernard, R. L. and S. R. Howell.1964. Inheritance of phosphorus sensitivity in soybeans. Crop Sci. 1964, 4: 298-299.
- Beverly, R. B. 1991. A practical guide to The Diagnosis and Recommendation Integrated System. (DRIS). Micro-Macro Publishing. Athens, Georgia.
- _____ 1993. Re-evaluation reveals weaknesses of DRIS and sufficiency range diagnoses for wheat, corn and alfalfa. Soil Sci. 1993,24: 5-6.
- Beverly, R. B.; M. E. Sumner; W. S. Letzsch and C. O. Plank. 1986. Foliar diagnosis of soybeans by DRIS. Soil Sci. and Plant Anal.1986, 17: 237-256.
- Brown, J. E. y B. A. Kratky. 1983. Microelementos. Causas de deficiencia y toxicidad. Agricultura de las Américas. 32 (6): 6-11.
- Chaudhry, M. L.; N. Kumar and K. L. Gulati.1992. Evaluation of new ortho and polyphosphate fertilizers for dry matter yield of maize and phosphorous availability in typical ustochrept. Anals of Biology, Ludhiana. 1992,8: 1, 39-44.
- Cook, R. L. y C.E. Millar.1953. Plant symptoms. Tissue test, soil test. Agricultural Experiment Station. Department of Soil Science. Michigan State College. P-39.

- Cshato, P. and B. Lasztity. 1995. The effect of long- term P application on the yield of maize (*Zea mays* L.) on a calcareous chernozem soil. *Acta-Agronomica- Hungarica*. 1995, 43: 3-4, 297-304.
- Dara, S. T.; P. E. Fixen and R. H. Gelderman. 1992. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen status of corn. *Agron. J.* 1992, 84: 6.
- Dawood, R. A.; K. A. Kheiralla and M. A. Gmeh. 1992. Effect of nitrogen and foliar application of some micronutrients on the yield components and quality of maize. *Assiut- Journal- of- Agricultural- Sciences*. 1992, 23: 3-17.
- Elwali, A. M. O. and J. Gascho. 1985. Supplemental fertilization on irrigated corn guided by foliar critical nutrients levels and diagnosis and recommendation integrated system norms. *Agron. Journal*. 1985, 80: 243-249.
- Escano, C. R.; C. A. Jones and G. Uehara. 1981. Nutrient diagnostic in corn growth on hydric dystrandeps: comparison of two systems of tissue diagnosis. In *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 1140-1144.
- Finck, A. 1988. Mineraldüngung, nach guter fachlicher praxis. Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel Olshausenstrabe. P-29, 95-104.
- García G., S. 2000. Establecimiento de normas DRIS. Diagnóstico nutricional y calibración de las normas obtenidas para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Coahuila y Nuevo León. Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Agronomía, Subdirección de Estudios de Postgrado, UANL. Marín, N.L.
- Goyal, N. K.; S.C. Aggarwal and A. P. Gupta. 1990. Effect of phosphorous and copper on the distribution of manganese and zinc in different parts of corn (*Zea mays* L.). *Plant Crop Research Hisar*. 1990, 3: 2, 187-193.
- Halliday, D. J.; M. E. Trenkel and W. Wichmann. 1992. International fertilizer industry association. Limburgerhof, Germany. p- 25
- Hallmak, W. B. and R. B. Beverly. 1994. Soybean seed yield and nutrient diagnoses as related to plan nutrient balance. *Soil Sci. and Plant Anal.* 1994, 25: 9-10.
- Hill, R. R. and G. A. Jung. 1975. Genetic variability for chemical composition of alfalfa. Mineral elements. *Crop Sci.* 1975, 15: 652-656.
- INIFAP. 1994. Indicadores económicos de la producción de maíz en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Programa de Economía. Publicación especial # 2. Agosto, 1994. México.

- Islam, S. D. T. 1990. The DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) as a plant analysis interpretation tool for corn management in South Dakota. In Dissertation- Abstracts- International. B. Sciences and Engineering. 1990, 50: 10.
- Jones, B. J. 1998. Plant Nutrition. Manual. CRC. Press. p- 55-76.
- Kang, L; X. J. Huang and N. F. Zhang.1993. The response of maize to different rates of manganese application. Acta- Pedagógica - Sinica. 1993, 30: 1, .26-33.
- Kitaeva, L. I. and L. I. Kitajeva. 1996. Effect of zinc fertilizers on the nutrient regime of the soil and crop yields in relation to mobile phosphorus levels in a leached chernozem. Agrokimiya,1996. Penza, Russia. No. 1: 57-63.
- Mackay, D. C. ; J. M. Carefoot and T. Entz. 1987. Evaluation of the DRIS procedure for assessing the nutritional status of potato (*Solanum tuberosum* L.) Soil Sci. and Plant. Anal. 1987, 18: 12, 1131-1353.
- PPI – PPIC – FAR.1991. Manual de Fertilidad de Suelos. Publicado por Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC) y Foundation for Agronomic Research (FAR). p-7.
- Mengel, K. and A. E. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Switzerland. P- 417-534.
- Mortvedt, J. J.; P. M. Giordano y W. L. Lindsay. 1983. Micronutrientes en Agricultura. Edit. AGT, S.A. p- 317-379.
- Narro F., E. 1995. Nutrición y sustancias húmicas en el cultivo de papa. Memorias del VI Congreso Nacional de Productores de Papa. Saltillo , Coahuila. México. P- 30-35.
- Ojeniyi, S. O. and G.O. Koyade.1993. Response of maize to copper and sulfur in tropical regions. Journal-of – Agricultural- Science. 1993, 120: 3, 295-299.
- Paul, C. L. 1990. Fertilización de cultivos. CIMMYT/ ICRISAT. El Batán, México. p-61.
- Reuter, D. J. and J. B. Robinson. 1986. Plant analysis an interpretation manual. Inkata Press. Melbourne, Sidney. Pp 173-175.
- Roberts, S. and J. K. Rhee. 1993. Critical nutrient concentrations and DRIS analysis of leaf and grain from high- yielding corn. Soil Sci.1993,24: 19-20.

- Rodríguez, F. H. 1991. Manual de laboratorio de suelos. Métodos de análisis físico-químico para suelos agrícolas y criterios de interpretación. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N.L. p-75-79.
- Rodríguez S., F. 1982. Fertilizantes. Nutrición vegetal. AGT. Editor. S.A. p-85.
- SAGAR. 1995. Estadística de avances de siembra y cosechas. Ciclo P-V 1995. Delegación SAGAR, en N.L. México.
- SAGAR. 2000. Estadística de avances de siembra y cosechas. Ciclo O-I 1999-2000. Delegación SAGAR, en N.L. México.
- SARH. 1985. Guía para producir sorgo de grano en el norte de Nuevo León y noreste de Tamaulipas. Cd. Anáhuac, N.L. México. Folleto No. 1. Abril, 1985
- SARH. 1990. Guía para producir maíz, en el norte de Tamaulipas. Folleto No. 7. Marzo, 1990. Río Bravo, Tams. México.
- SARH. 1992. Informe descriptivo del Distrito de Riego 004 Don Martín, Coahuila y Nuevo León. Distrito de Desarrollo Rural 001 "Anáhuac". Delegación Estatal de Nuevo León. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Soliman, M. F.; S. F. Kostandi and M. L. Beusichem. 1992. The influence of sulfur and nitrogen fertilizer on the uptake of iron manganese and zinc by corn plants grown in calcareous soils. Gottingen, Germany. VDLUFA-Kongresses Vom 14-19.1992.
- Soltanpour, P. N.; M. J. Malakouti and A. Ronaghi. 1995. Comparison of Diagnosis and Recommendation Integrated System and Nutrient Sufficiency Range for corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 133-139.
- Stasauskaite, S. and G. Navaitiene. 1995. Interaction of nutritious elements in plants. Department of Botany, Vilnius Pedagogical University. Biologija. Lithuania. 1995, No. 3-4, 15-17.
- Sumner, M. E. 1979. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes. Agron. J. Vol. 71: 343-348.
- _____ 1990. Advances in the use and application of plant analysis. Soil Sci. and Plant Anal. 1990, 21: 13-16.
- Syed, T. D. ; P. E. Fixen and R. H. Gelderman. 1992. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen status of corn. Agron. J. 84: 1006-1010.

- Tanaka, A. y J. Yamaguchi. 1972. Producción de material seca , componentes de rendimiento y rendimiento de granos de maíz. Segunda impresión. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Tisdale, S. L. y W. L. Nelson. 1982. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Editorial Hispanoamericana, México. P-106.
- Tong, P. Y.; L. B. Ying; G. Fulan; W. Jinhua; L. Zun Qin; D. Shunghui; B. Y. Ling; F. L. Gao; J. H. Li and Z. Q. Di. 1995. A study on the effects of copper fertilizer on the growth, development and yield structure of maize. Beijing-Agricultural- Sciences. 13: 2 , 36-39.
- Walworth, J. L. and M. E. Sumner. 1987. The Diagnosis and Recommendation Integrated System. (DRIS). Ad. Soil. Sci. 6: 151-188.
- Woerner, L. P. 1989. Manual de laboratorio de suelos. Facultad de Silvicultura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. p – 25.
- Zhang, X. K.; F. S. Zhang ; P. Lu and X. Li. 1994. The uptake an distribution of Fe, Mn, Cu and Zn applied to maize leaves in different forms. Acta-Agriculturae- Universitatis – Pekinensis. 1994, 20: 2, 213-217.

7. APÉNDICE

Cuadro 1A. Concentración de nutrientes en el tejido vegetal, índices DRIS, orden de requerimiento nutricional, índice de desbalance nutricional (IDN) y rendimiento para cada una de las muestras.

Muestra	Macronutrientes (%)				Macronutrientes en (ppm)							Índices DRIS							Número	Orden de requerimiento nutricional	IDN	Rendimiento ton ha ⁻¹
	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn				
1	0.16	0.15	6.11	67.05	2.18	43.09	20.05	53.81	-52.53	-30.53	-42.68	51.85	1	Fe>Cu>Mn>Ca>Zn>Mg	251.64	3.59						
2	0.15	0.11	25.53	21.53	2.18	15.4	73.39	149.46	7.04	-204.77	-22.23	-2.88	2	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	459.8	4.77						
3	0.2	0.13	34.63	78.03	2.18	30.55	19.78	40.39	6.36	-21.77	-49.6	4.84	3	Cu>Mn>Zn>Fe>Ca>Mg	142.75	3.72						
4	0.18	0.14	45.23	75.31	2.18	39.04	16.28	42.38	10.73	-28.28	-54.63	13.51	4	Cu>Mn>Fe>Zn>Ca>Mg	165.82	3.91						
5	0.12	0.13	56.5	72.57	2.18	37.69	8.32	44.52	17.34	-31.73	-54.09	15.62	5	Cu>Mn>Ca>Zn>Fe>Mg	171.64	4.42						
6	0.12	0.13	60.93	72.57	2.18	77.31	-5.04	41.05	25.55	-39.72	-75.19	52.35	6	Cu>Mn>Ca>Fe>Mg>Zn	227.82	4.78						
7	0.5	0.17	60.93	78.03	2.18	40.39	39.24	38.39	23.63	-27.04	-77.43	3.18	7	Cu>Mn>Zn>Fe>Mg>Ca	208.94	3.80						
8	0.33	0.14	63.76	78.03	2.18	64.3	23.88	35.06	28.15	-30.7	-82.7	26.3	8	Cu>Mn>Ca>Zn>Fe>Mg	228.82	3.72						
9	0.17	0.12	108.82	72.57	2.18	47.11	12.25	38.2	37.14	-35.25	-72.55	19.2	9	Cu>Mn>Ca>Zn>Fe>Mg	215.61	6.16						
10	0.45	0.16	108.82	112.5	2.18	83.76	23.34	21.99	30.36	-0.713	-109.26	33.28	10	Cu>Mn>Mg>Ca>Fe>Zn	217.95	5.49						
11	0.15	0.11	17.54	47.06	3.74	19.69	30.59	65.69	-3.39	-76.49	-13.72	-2.69	11	Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg	182.59	-						
12	0.19	0.11	25.53	41.09	3.74	31.1	32.18	75.34	1.75	-85.35	-13.94	1.53	12	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	218.59	4.45						
13	0.22	0.1	34.63	69.79	3.74	45.77	15.06	26.96	-1.54	-24.57	-30.03	12.82	13	Cu>Mn>Fe>Zn>Ca>Mg	109.54	-						
14	0.18	0.13	45.23	58.64	3.74	45.77	18.94	49.5	5.138	-51.86	-26.87	15.25	14	Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg	177.48	6.52						
15	0.17	0.16	56.5	69.82	3.74	57.73	9.5	43.08	7.61	-47.69	-33.96	21.44	15	Mn>Cu>Fe>Ca>Zn>Mg	163.3	5.76						
16	0.17	0.14	68.46	94.12	3.74	53.77	4.71	29.2	11.64	-22.82	-39.56	15.62	16	Cu>Mn>Ca>Fe>Zn>Mg	122.78	4.02						
17	0.31	0.14	68.46	94.12	3.74	55.09	16.5	26.35	10.23	-23.26	-41.33	11.5	17	Cu>Mn>Fe>Zn>Ca>Mg	129.19	3.04						
18	0.26	0.18	60.93	83.43	3.74	39.04	16.05	36.5	15.1	-30.09	-38.63	1.08	18	Cu>Mn>Zn>Fe>Ca>Mg	137.49	3.48						
19	0.48	0.17	60.93	72.57	3.74	52.44	30.43	36.75	13.57	-44.85	-43.18	7.37	19	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	178.26	6.16						
20	0.32	0.12	108.82	69.82	3.74	44.43	24.54	34.56	22.87	-47.46	-40.74	5.82	20	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	179.41	5.81						
21	0.38	0.11	148.34	91.46	3.74	53.77	21.82	19.1	31.94	-27.23	-53.59	7.84	21	Cu>Mn>Zn>Mg>Ca>Fe	161.63	5.11						
22	0.32	0.14	159.38	80.74	3.74	52.44	18.18	29.63	35.99	-37.62	-53.54	7.78	22	Cu>Mn>Zn>Ca>Mg>Fe	182.33	4.13						
23	0.4	0.14	209.71	91.46	3.74	78.6	17.59	20.53	45.39	-31.94	-70.5	19.82	23	Cu>Mn>Ca>Zn>Mg>Fe	204.89	3.59						
24	0.12	0.12	2.61	17.79	6.28	18.27	87.4	188.15	-55.14	-252.54	1.86	32.45	24	Mn>Fe>Cu>Zn>Ca>Mg	615.38	7.33						
25	0.36	0.14	11.02	104.67	6.28	57.73	22.48	22.15	-40.96	-14.91	-16.18	29.42	25	Fe>Cu>Mn>Mg>Ca>Zn	148.19	5.93						
26	0.18	0.12	11.02	34.81	6.28	32.23	42.26	86.57	-18.1	-122.61	-5.39	17.47	26	Mn>Fe>Cu>Zn>Ca>Mg	282.82	5.11						
27	0.14	0.12	11.02	25.05	6.28	16.64	59.17	127.08	-8.9	-175.27	-1.9	-0.37	27	Mn>Fe>Cu>Zn>Ca>Mg	372.51	3.72						

Continuación Cuadro 1A

Muestra	Macronutrientes (%)				Microelementos en (ppm)							Índices DRIS							Número	Orden de requerimiento nutricional	DIN	Rendimiento ton ha ⁻¹
	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn				
28	0.11	0.11	25.53	52.92	6.28	28.09	17.54	56.14	-1.61	-71.03	-6.57	5.53	28	Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg	159.43	6.20						
29	0.55	0.18	34.83	86.12	6.28	57.73	27.31	28.09	-6.72	-35.77	-21.11	8.2	29	Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg	127.21	2.61						
30	0.15	0.12	56.5	52.92	6.28	28.47	20.7	54.59	7.89	-73.13	-10.81	0.748	30	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	187.98	3.50						
31	0.17	0.12	68.46	25.05	6.28	18.69	57.81	122.54	15.9	-182.15	-8.2	-6.01	31	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	382.73	4.78						
32	0.25	0.17	80.93	81.46	6.28	37.68	12.35	30.21	9.96	-28.24	-20.25	-3.62	32	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	104.86	5.00						
33	0.39	0.12	83.78	84.27	6.28	64.3	26.18	34.61	11.65	-62.56	-22.55	12.65	33	Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg	170.24	4.67						
34	0.35	0.13	187.47	72.57	6.28	62.99	18.48	28.51	32.42	-54.68	-33.1	8.36	34	Mn>Cu>Zn>Ca>Mg>Fe	175.99	6.40						
35	0.2	0.16	68.46	90.74	10.96	43.09	9.48	33.24	4.73	-42.33	-6.51	1.98	35	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	87.74	2.83						
36	0.21	0.15	80.83	72.57	10.96	40.39	12.63	36.6	7.46	-50.41	-6.52	2.54	36	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	113.87	7.09						
37	0.29	0.12	80.83	83.43	10.96	72.13	12.4	22.81	4.72	-44.46	-9.57	13.08	37	Mn>Cu>Fe>Ca>Zn>Mg	108.07	7.33						
38	0.35	0.12	108.82	72.57	10.96	62.99	19.36	28.11	9.68	-54.83	-10.11	7.68	38	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	130.11	7.44						
39	0.5	0.17	118.99	86.77	10.96	70.83	17.1	19.86	8.96	-35.56	-14.7	4.32	39	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	100.52	5.12						
40	0.27	0.17	133.19	75.31	10.96	61.68	11.24	33.05	13.76	-62.6	-12.08	6.51	40	Mn>Cu>Zn>Ca>Fe>Mg	123.37	5.47						
41	0.21	0.12	146.34	52.82	10.96	43.09	19.08	47.78	21.77	-82.46	-8.56	2.38	41	Mn>Cu>Zn>Ca>Fe>Mg	182.05	6.34						
42	0.15	0.13	2.81	52.82	16.04	21.1	29.65	64.69	-81.34	-54.47	-13.47	27.78	42	Fe>Mn>Cu>Zn>Ca>Mg	271.63	5.49						
43	0.15	0.13	25.53	44.11	16.04	18.27	27.33	69.5	-1.33	-80.53	6.44	-10.41	43	Mn>Zn>Fe>Cu>Ca>Mg	204.57	3.59						
44	0.11	0.13	34.83	38.03	16.04	19.69	25.18	80.96	1.98	-110.94	8.4	-5.58	44	Mn>Zn>Fe>Cu>Ca>Mg	233.07	6.63						
45	0.13	0.12	34.83	52.82	16.04	53.77	8.34	50.84	-4.11	-80.49	5.22	20.19	45	Mn>Fe>Cu>Ca>Zn>Mg	169.22	4.42						
46	0.1	0.11	34.83	25.05	16.04	21.1	44.53	121.22	3.25	-180.9	10.69	1.2	46	Mn>Zn>Fe>Cu>Ca>Mg	381.8	3.91						
47	0.18	0.2	88.46	102.04	16.04	45.77	8.08	27.38	2.87	-28.63	-1.47	-0.228	47	Mn>Cu>Zn>Ca>Fe>Mg	80.68	5.54						
48	0.46	0.16	119.86	84.27	16.04	37.68	29.13	37.22	10.98	-83.34	-3.86	-10.13	48	Mn>Zn>Cu>Fe>Ca>Mg	154.69	6.59						
49	0.49	0.17	34.83	98.41	23.85	65.61	17.14	18.49	-10.41	-33.75	-1.62	6.9	49	Mn>Fe>Cu>Zn>Ca>Mg	88.34	3.91						
50	0.24	0.17	45.23	86.12	23.85	94	1.11	25.59	-8.2	-46.58	3.62	24.45	50	Mn>Fe>Ca>Cu>Zn>Mg	108.56	5.22						
51	0.15	0.15	45.23	25.05	23.85	30.85	4.6	120.39	3.23	-187.78	12.35	5.79	51	Mn>Fe>Zn>Cu>Ca>Mg	375.98	4.57						
52	0.22	0.16	56.5	68.82	23.85	52.44	9.75	35.7	-0.21	-57.04	5.95	5.63	52	Mn>Fe>Zn>Cu>Ca>Mg	114.51	4.71						
53	0.21	0.15	80.83	86.12	23.85	86.92	1.44	24.86	2.94	-44.22	5.08	10	53	Mn>Ca>Fe>Cu>Zn>Mg	88.44	7.17						
54	0.15	0.14	83.78	28.44	23.85	19.69	39.65	105.28	16.94	-162.49	11.87	-11.24	54	Mn>Zn>Cu>Fe>Ca>Mg	347.49	5.58						
55	0.39	0.12	83.78	72.57	23.85	74.72	18.86	22.85	3.95	-66.57	3.34	9.73	55	Mn>Cu>Fe>Zn>Ca>Mg	117.15	4.65						

Continuación Cuadro 1A

Muestra	Macronutrientes (%)					Micronutrientes en (ppm)							Índices DRIS							Nº	Orden de requerimiento nutricional	IDN	Rendimiento ton ha ⁻¹
	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn					
56	0.42	0.14	93.76	75.31	23.85	60.37	19.5	25.15	4.14	-53.77	2.47	2.48	56	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	107.68	6.86							
57	0.41	0.14	133.19	75.31	23.85	78.6	16.62	23.17	8.37	-57.48	0.807	8.36	57	Mn>Cu>Zn>Fe>Ca>Mg	114.63	3.15							
58	0.19	0.15	133.19	83.43	23.85	78.6	-4.79	24.53	10.46	-49.25	4.08	14.85	58	Mn>Ca>Cu>Fe>Zn>Mg	108.09	4.30							
59	0.32	0.17	159.36	83.43	23.85	82.47	7.08	23.76	10.96	-50.76	-0.246	9.18	59	Mn>Cu>Ca>Zn>Fe>Mg	102.03	4.77							
60	0.06	0.12	8.11	21.53	42.4	34.96	7.42	141.52	-43.43	-220.6	83.94	51.16	60	Mn>Fe>Ca>Zn>Cu>Mg	528.07	7.03							
61	0.13	0.1	25.53	41.08	42.4	23.92	15.06	59.87	-3.49	-103.99	34.89	-1.57	61	Mn>Fe>Zn>Ca>Cu>Mg	218.12	5.81							
62	0.47	0.15	34.83	59.94	42.4	51.11	28.3	35.19	-7.55	-72.77	13.33	3.48	62	Mn>Fe>Zn>Cu>Ca>Mg	160.69	5.23							
63	0.18	0.18	34.83	88.79	42.4	52.44	-5.21	25.41	-7.13	-39.61	18.9	7.84	63	Mn>Fe>Ca>Zn>Cu>Mg	104.32	3.91							
64	0.39	0.14	56.5	75.31	42.4	45.77	17.49	23.01	-0.98	-51.43	14.18	-2.27	64	Mn>Zn>Fe>Cu>Ca>Mg	109.38	7.44							
65	0.41	0.16	80.93	72.57	42.4	56.41	17.01	25.87	1.59	-58.75	11.75	0.549	65	Mn>Zn>Fe>Cu>Ca>Mg	113.6	5.65							
66	0.29	0.16	146.34	109.9	42.4	57.73	0.332	11.39	8.59	-30.83	12.46	-1.96	66	Mn>Zn>Ca>Fe>Mg>Cu	65.61	6.52							
							1405.912	3220.76	269.448	-4444.123	-1122.939	650.948											

1405 912893	3220 7866	269 44866	-4444 12389	-1122 89306	650 94806
Media Índice					
Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
21.3	48.79	4.08	-67.33	-17.01	9.86



