

16970

72

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



CORRECCION DE LA CLOROSIS FERRICA DEL FRIJOL

Phaseolus vulgaris L. CON FERTILIZANTES ACIDOS

TESIS

PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGRICOLA

POR:

JOSE MIGUEL HERNANDEZ CRUZ

TM
SB327
H45
c.1



MARIN, N. L.

JULIO DE 1998



1080098276

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



CORRECCION DE LA CLOROSIS FERRICA DEL FRIJOL
Phaseolus vulgaris L. CON FERTILIZANTES ACIDOS

TESIS
PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGRICOLA

POR:
JOSE MIGUEL HERNANDEZ CRUZ

TM
SB327
H45
c.1

55

TM
SB327
H45



CORRECCIÓN DE LA CLOROSIS FÉRRICA DEL FRIJOL
Phaseolus vulgaris L. CON FERTILIZANTES ÁCIDOS

TESIS
SOMETIDA AL COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA



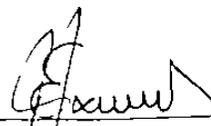
Ph. D. Rigoberto Vázquez Alvarado
Asesor Principal



Ph. D. Gilberto Salinas Garcia
Asesor



Dr. Humberto Rodríguez Fuentes
Asesor



Ph. D. Eduardo Narro Farias
Asesor Externo

Julio de 1998

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento al Ph.D. Rigoberto Vázquez Alvarado, asesor principal de mi tesis, por su valiosa dirección y apoyo. Asimismo, a los Doctores Gilberto Salinas García, Humberto Rodríguez Fuentes y Eduardo Narro Fariás, coasesores e integrantes del comité particular de tesis, por su apoyo y valiosas sugerencias que permitieron mejorar el contenido de la presente investigación.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) por las facilidades otorgadas para la realización de mis estudios.

Al personal científico y administrativo del Centro de Investigación Regional del Golfo Centro (CIRGOC) por su apoyo incondicional y facilidades otorgadas para la finalización del escrito de tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me proporcionó para la ejecución del postgrado.

Al personal del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, en particular al Ing. Jorge Landa por su ayuda en el manejo del espectrofotómetro de absorción atómica y densidad óptica. Asimismo, al personal administrativo por las facilidades en el uso del laboratorio.

A mi padre el Sr. Manuel Hernández S., mi hermano Manuel y mi cuñado Gabriel, por su invaluable ayuda en las actividades de campo.

A todos mis compañeros y amigos que con su apoyo directo e indirecto hicieron posible la realización de mis estudios.

A todo el personal académico de la Subdirección de Postgrado de la Facultad de Agronomía de la UANL.

DEDICATORIA

A Dios Padre, Dios Hijo y Dios Espíritu Santo, por el gran don de la vida.

"Dios nos guía siempre y orienta nuestra vida. Necesitamos sensibilidad para escuchar su voz y aprender a interpretarla en las mil y una circunstancias de la vida, y remontamos a las mejores alturas del Espíritu que nos anima. Procura meditar en silencio y escucha la voz de Dios, tu guía, que nunca te abandona"

(Torres Pastorino).

A mi esposa Rosa Aurora, por su amor, incondicional apoyo y palabras de aliento en los momentos difíciles de mi vida.

A mis hijos Lupita, Miguel Fernando, José Miguel (†), Eva Paola, Ma. de Jesús (†), Nelly Cristal y Jesús Santiago, quienes son mi alegría e impulso en mis anhelos de superación.

A mis padres el Sr. Manuel Hernández Sánchez y la Sra. Eva Cruz Leiva por el ejemplo de su amor, honestidad, rectitud y apoyo mutuo.

A mis queridos hermanos Lupita, Belén, Juany, Evangelina y Manuel por su apoyo y cariño que me han brindado.

A mi suegra y mis cuñados.

INDICE

Capítulo	Página
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Función del Hierro en las Plantas.....	4
2.2 Absorción del Hierro por las Plantas.....	5
2.3 El Hierro en el Suelo.....	6
2.4 Mecanismos que Favorecen la Absorción de Fe.....	7
2.5 Efecto del pH en la Absorción del Fe.....	7
2.6 Interacción del Fe con Macronutrientes.....	8
2.6.1 Interacción P x Fe.....	8
2.6.2 Interacción K x Fe.....	9
2.7 Interacción del Fe con Micronutrientes.....	10
2.7.1 Interacción Mn x Fe.....	10
2.7.2 Interacción Cu x Fe.....	11
2.7.3 Interacción Zn x Fe.....	12
2.8 Factores que Afectan la Disponibilidad del Hierro para las Plantas.....	13
2.9 Diagnóstico de la Clorosis en Suelo.....	14
2.10 Diagnóstico de Clorosis en Planta.....	16
2.10.1 Contenido de clorofila y Fe en las hojas.....	16
2.11 Corrección de la Clorosis.....	20
2.11.1 Uso de quelatos.....	20
2.11.2 Uso de materiales acidificantes y fertilizantes ácidos.....	23
2.11.3 Empleo de cultivares tolerantes a clorosis férrica...	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1 Localización.....	30
3.2 Materiales.....	31
3.2.1 Variedades de frijol.....	31

Capítulo	Página
3.2.2 Dosis de ácido sulfúrico.....	32
3.2.3 Tipos de fertilizantes.....	32
3.3 Diseño Experimental.....	33
3.3.1 Procedimientos estadísticos.....	35
3.3.1.1 Hipótesis estadísticas.....	35
3.4 Variables Cuantificadas.....	36
3.4.1 Contenido de clorofila.....	37
3.4.2 Producción de materia seca.....	38
3.4.3 Contenido de Fe, Cu, Mn y Zn en la planta.....	38
3.4.4 Rendimiento de grano.....	39
3.4.5 pH.del Suelo.....	39
3.4.6 Conductividad eléctrica.....	39
3.4.7 Contenido de Fe, Cu, Mn y Zn en el suelo.....	40
3.4.8 Escala de clorosis visual.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1 Experimento de Primavera.....	42
4.1.1 Contenido de clorofila (mg/L).....	42
4.1.2 Materia seca (g/planta).....	45
4.1.3 Fe total en la planta (ppm).....	50
4.1.4 Cu en la planta (ppm).....	51
4.1.5 Mn en la planta (ppm).....	53
4.1.6 Zn en la planta (ppm).....	56
4.1.7 Longitud de planta (cm).....	58
4.1.8 Rendimiento de grano (g/planta).....	60
4.2 Experimento de Verano/97.....	65
4.2.1 pH.....	65
4.2.2 CE (dS/m).....	68
4.2.3 P en el suelo (ppm).....	71
4.2.4 Fe total en el suelo (ppm).....	74
4.2.5 Cu en el suelo (ppm).....	77
4.2.6 Mn en el suelo (ppm).....	80

Capitulo	Página
4.2.7 Zn en el suelo (ppm).....	82
4.2.8 Materia seca (g/planta).....	86
4.2.9 Clorofila total (mg/L).....	88
4.2.10 Grado de clorosis visual.....	92
4.3 Análisis Conjunto de los Resultados.....	95
4.3.1 Variedades.....	95
4.3.1.1 Contenido de clorofila.....	96
4.3.2 Dosis de H ₂ SO ₄	97
4.3.3 Tipos de fertilizantes.....	98
4.3.4 Grado de clorosis visual.....	100
4.3.5 Rendimiento de grano.....	101
V. CONCLUSIONES.....	103
VI. RECOMENDACIONES.....	106
VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	107
VIII. APÉNDICE.....	114

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Guía para la interpretación del análisis del P, Mn, Zn, Cu y Fe extraídos con la solución de Olsen modificada (1:10).....	15
2	Concentración de micronutrientes en tejido maduro de hojas que se clasifica como deficiente, suficiente y excesivo o tóxico.....	18
3	Materia seca, concentraciones de micronutrientes en planta y Fe total en hojas.....	23
4	Características físico-químicas del suelo empleado en el experimento. Perfil 0-30 cm.....	30
5	Características agronómicas de las variedades de frijol utilizadas en el experimento. Primavera-Verano de 1997.....	31
6	Descripción de tratamientos del experimento de primavera.....	34
7	Descripción de tratamientos del experimento de verano.....	34
8	Grado de clorosis visual <i>et al.</i> 1995.....	40

Cuadro	Página
9 Comparaciones de medias para clorofila <i>a</i> y <i>b</i> en floración por variedad, dosis y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	42
10 Comparaciones de medias para clorofila <i>a</i> y <i>b</i> en madurez fisiológica por variedad, dosis y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	43
11 Comparaciones de medias para la materia seca en floración y madurez fisiológica por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	46
12 Medias de contenido de Fe total en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	51
13 Medias de contenido de cobre en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	52
14 Medias para manganeso en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	54
15 Medias de contenido de zinc en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	57

Cuadro	Página
16 Medias de rendimiento de grano por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	61
17 Medias de pH del suelo por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	66
18 Medias de CE del suelo (dS/m) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	69
19 Medias de contenido de P del suelo (ppm) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	72
20 Medias de contenido de Fe del suelo (ppm) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	75
21 Medias de contenido de Cu en el suelo (ppm) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	78
22 Medias de contenido de Mn en el suelo (ppm) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	80
23 Medias de contenido de Zn en el suelo (ppm) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	83

Cuadro		Página
24	Medias de materia seca (g/planta) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	87
25	Medias de clorofila total (mg/L), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	89
26	Medias de grado de clorosis visual, por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.....	93

CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	Página
1A Análisis de varianza para el contenido de clorofila <i>a</i> en la etapa de floración. Primavera de 1997.....	115
2A Análisis de varianza para el contenido de clorofila <i>b</i> en la etapa de floración. Primavera de 1997.....	115
3A Análisis de varianza para el contenido de clorofila <i>a</i> en madurez fisiológica. Primavera de 1997.....	115
4A Análisis de varianza para el contenido de clorofila <i>b</i> en madurez fisiológica. Primavera de 1997.....	116
5A Análisis de varianza para la materia seca en la floración. Primavera de 1997.....	116
6A Análisis de varianza para materia seca en madurez fisiológica. Primavera de 1997.....	116
7A Análisis de varianza para Fe total en la planta. Primavera de 1997.....	117

Cuadro	Página
8A Análisis de varianza para Cu en la planta. Primavera de 1997.....	117
9A Análisis de varianza para Mn en la planta. Primavera de 1997.....	117
10A Análisis de varianza para Zn en la planta. Primavera de 1997.....	118
11A Análisis de varianza para longitud de planta (cm). Primavera de 1997.....	118
12A Análisis de varianza para rendimiento de grano (g/planta). Primavera de 1997.....	118
13A Análisis de varianza para pH del suelo. Verano de 1997.....	119
14A Análisis de varianza para CE del suelo (dS/m). Verano de 1997...	119
15A Análisis de varianza para P en el suelo (ppm). Verano de 1997....	119
16A Análisis de varianza para Fe en el suelo (ppm). Verano de 1997..	120
17A Análisis de varianza para Cu en el suelo (ppm). Verano de 1997.	120
18A Análisis de varianza para Mn en el suelo (ppm). Verano de 1997.	120

Cuadro	Página
19A Análisis de varianza para Zn en el suelo (ppm). Verano de 1997..	121
20A Análisis de varianza para materia seca (g/planta). Verano de 1997.....	121
21A Análisis de varianza para clorofila total (mg/L). Verano de 1997...	121
22A Análisis de varianza para el grado de clorosis visual. Verano de 1997.....	122
23A Temperatura máxima (T° max), mínima (T° min) y precipitación (mm) en el experimento. Primavera de 1997.....	122
24A Temperatura máxima (T° max), mínima (T° min) y precipitación (mm) en el experimento. Verano de 1997.....	123
25A Coeficientes de correlación (<i>r</i>) entre diferentes variables en planta. Primavera de 1997.....	124
26A Coeficientes de correlación (<i>r</i>) entre varias características del suelo y de la planta. Primavera de 1997.....	125

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Croquis de localización de los tratamientos en el campo.....	41
2	Materia seca en la etapa de floración por variedad, dosis de ácido sulfúrico y tipo de fertilización. Primavera de 1997.....	49
3	Contenido de manganeso en la planta (ppm) por variedad, dosis y tipo de fertilización. Primavera de 1997.....	54
4	Contenido de zinc en la planta (ppm) por variedad, dosis y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	58
5	Longitud de planta (cm) por variedad, dosis y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.....	59
6	Rendimiento de grano (g/planta) por variedad, dosis de ácido sulfúrico y tipo de fertilización. Primavera de 1997.....	62
7	pH del suelo con diferentes cargas de H ₂ SO ₄ por variedad y tipo de fertilizantes. Verano de 1997.....	67

Figura		Página
8	Efecto de las dosis de ácido sulfúrico (t/ha) en el comportamiento de la conductividad eléctrica del suelo; profundidad 0-5 cm.....	70
9	Comportamiento del P en el suelo con diferentes cargas de H ₂ SO ₄ , variedades y tipos de fertilizantes. Verano de 1997.....	73
10	Contenido de Fe total en el suelo (ppm), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilización. Verano de 1997.....	76
11	Contenido de cobre en el suelo (ppm), con diferentes dosis de H ₂ SO ₄ , variedades y tipos de fertilizantes. Verano de 1997.....	79
12	Contenido de Mn en el suelo con diferentes dosis de ácido sulfúrico, variedades y tipos de fertilización. Primavera de 1997.....	81
13	Contenido de Zn en el suelo (ppm) con diferentes dosis de ácido sulfúrico, variedades y tipos de Fertilización. Verano de 1997.....	85

Figura		Página
14	Materia seca en la etapa de floración (g/planta) por variedad, dosis y tipos de fertilización. Verano de 1997.....	88
15	Contenido de clorofila total (mg/L), con diferentes dosis de ácido sulfúrico, variedades y tipos de fertilización. Verano de 1997.....	90
16	Grado de clorosis visual en las variedades de frijol con diferentes cargas de H_2SO_4 y tipos de fertilización. Verano de 1997.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS

A ₆₄₅	Absorbancia a una longitud de onda de 645 nanómetros
A ₆₆₃	Absorbancia a una longitud de onda de 663 nanómetros
AN-22 FA	Variedad de frijol Antonio Narro 22 más fertilizantes ácidos
AN-22 Q	Variedad de frijol Antonio Narro 22 más quelato de Fe-EDTA
AN-22 t	Antonio Narro 22 tratamiento testigo
Cu	Cobre
CE	Conductividad eléctrica
dS/m	Decisiemen por metro
DTPA	Ácido dietilentriaminapentaacético
EDDHA	Ácido etilendiamina di-o-hidroxifenilacético
EDDHMA	Ácido etilendiamino dihidroximetilfenilacético
FA ó fa	Fertilizantes ácidos
Fe	Fierro
Fe-EDTA	Quelato férrico del ácido etilendiamino tetracético
gran.	Fertilizantes granulados
HEDTA	Ácido hidroxí-etilendiaminotetraacético
Lag 87 FA	Lagunero 87 más fertilizantes ácidos
Lag 87 Q	Lagunero 87 más quelato férrico de Fe-EDTA
Lag 87 t	Lagunero 87 tratamiento testigo
mg/L	Miligramos por litro
Mn	Manganeso
ppm	Partes por millón
Q ó q	Quelato férrico del ácido etilendiamino tetracético
t/ha	Toneladas por hectárea
Zn	Zinc
R ²	Coefficiente de determinación

RESUMEN

Con el propósito de corregir la clorosis férrica en el cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris* L., durante 1997 se realizaron dos experimentos en el vivero de la Facultad de Agronomía de la UANL, ubicado en Marín, Nuevo León, México. El objetivo fue evaluar dos variedades de frijol en un suelo calcáreo, con diferentes tipos de fertilizantes y con diferentes cantidades de ácido sulfúrico aplicado al suelo, lo anterior para medir la relación entre el grado de clorosis de la planta y su disminución en el rendimiento de grano.

Las variedades utilizadas fueron AN-22 (Fe-eficiente) y Lagunero 87 (Fe-deficiente); las dosis de ácido sulfúrico fueron 5, 10 y 15 t/ha. Se aplicó una fertilización al cultivo con la fórmula 90-60-00, utilizando distintos tipos de fertilizantes, los cuales fueron:

1. Fertilización ácida; con urea ácida (30-0-0-5) y ácido fosfórico 85% (61.5 % P_2O_5).
2. Fertilización con quelatos Fe-EDTA (9% de Fe) con 5.6 kg/ha.
3. Fertilización granulada con urea comercial (46% N) y super fosfato de calcio triple (46% P_2O_5).
4. Tratamientos testigo sin fertilizantes.

Se llenaron macetas con un suelo donde el frijol había presentado deficiencias por Fe en el ciclo de cultivo anterior, llevándose a un peso de 15 kg aplicándose los tratamientos. Las variables en estudio para el experimento de primavera fueron el contenido de clorofila, materia seca, contenido de Cu, Mn, Zn y Fe en la planta y el rendimiento de grano. En el verano se midió el pH del suelo, conductividad eléctrica (CE), Fe, Cu, Mn y Zn en el suelo, y en la planta, materia seca, clorofila total y el grado de clorosis visual.

El diseño experimental fue un bloques completos al azar con 20 tratamientos durante la primavera y 14 tratamientos en el experimento de verano, ambos con cuatro repeticiones. Los primeros 12 tratamientos tuvieron un arreglo factorial de tratamientos (3 dosis de H_2SO_4 x 2 variedades x 2 tipos de fertilización). Además, en

la primavera se adicionaron seis tratamientos sin H_2SO_4 y los dos testigos. En el verano, solo se adicionaron los dos testigos absolutos al arreglo del factorial completo.

Los resultados muestran que las dosis de ácido sulfúrico incrementaron gradualmente los contenidos de clorofila en la planta, teniéndose en la dosis de 10 t/ha las concentraciones más altas, sin embargo, los síntomas visuales de clorosis en los genotipos en ambos ciclos de cultivo fueron estadísticamente iguales. Los fertilizantes ácidos incrementaron significativamente el Fe total en el suelo y disminuyeron el grado de clorosis en relación a los tratamientos testigo.

Las dosis de ácido sulfúrico disminuyeron el pH e incrementaron la conductividad eléctrica del suelo, sin embargo, ésta permaneció por abajo de los 4 dS/m (límite crítico de riesgo para muchos cultivos). Asimismo, se elevaron los contenidos de Mn y Zn en el suelo, permaneciendo dentro del rango óptimo aún después de los 40 días. El Fe total en el suelo se mantuvo entre un nivel deficiente y crítico. La correlación de estos metales con las dosis de ácido fue baja, oscilando entre 0.25 y 0.38.

Las dosis de ácido sulfúrico incrementaron la producción de grano en relación al tratamiento testigo, entre un 17 y 22%. Fe-EDTA, los fertilizantes ácidos y los fertilizantes granulados elevaron el rendimiento en un 24, 16 y 0.4%, respectivamente. El genotipo Lagunero 87 (Fe-deficiente) fertilizado con Fe-EDTA (5.6 kg/ha) tuvo el mayor rendimiento de grano, siendo similar a la producción de éste genotipo con 10 t de H_2SO_4 más fertilizantes ácidos. Por otra parte, los resultados de éste experimento sugieren que el ácido sulfúrico no es necesario para obtener un alto rendimiento en la variedad Lagunero 87, sin embargo, AN-22 tuvo un comportamiento diferente al incrementarse las dosis de ácido.

La variedad AN-22 utilizó el Fe solubilizado por las dosis de ácido, para producir materia seca. Su categoría de Fe-eficiente no implicó mayores rendimientos de grano respecto del otro genotipo, incluso su producción fue inferior en un 15% a la variedad Lagunero 87.

SUMMARY

With the purpose of correcting the iron chlorosis in *Phaseolus vulgaris* L. during 1997 were carried out two experiments in the nursery of the Agronomy Faculty of the UANL, located in Marín, Nuevo León, México. The objective of this experiment were to evaluate in a calcareous soil, two varieties of bean with several types of fertilizers, and with different sulfuric acid amounts of 5, 10 and 15 t/ha applied to the soil, this was in order to measure the relationship between the degree of chlorosis of the plant vs the grain yield.

The varieties used were AN-22 (Fe-efficient) and Lagunero 87 (Fe-deficient); the dose of sulfuric acid were 5, 10 and 15 t/ha. A unique fertilization was applied to the whole crop applying the formula 90-60-0, using different types of fertilizers, which were:

1. Acid fertilization; with acid urea (30-0-0-5) and phosphoric acid 85% (61.5% P₂O₅)
2. Fertilization supplied with Fe-EDTA chelated (9% of Fe) with 5.6 kg/ha
3. Granulated fertilization with comercial urea (46% N) and calcium triple superphosphate (46% P₂O₅)
4. The control treatment without fertilizers.

Pots were filled out with soil from one area where the bean crop had produced iron deficiencies in a previous crop. The pots were filled with 15 kg of soil, and after the treatments were applied. The spring experiment studied variables, were; chlorophyll content, dry matter, content of Cu, Mn, Zn and Fe in the plant and the grain yield. In the summer it was measured from the soil pH, electric conductivity (CE), Fe, Cu, Mn and Zn, and from the plant, dry matter, total chlorophyll and the degree of visual chlorosis.

The statistical design was a random complete blocks with 20 treatments during the spring season and 14 treatments in the summer experiment, both with four repetitions. The first 12 treatments had a factorial arrangement (3 dose of H₂SO₄ x 2 varieties x 2 fertilization types). In the spring were added six treatments whitout sufuric acid and two controls. In the summer, only the two controls.

The results show that dose of sulfuric acid increased gradually the chlorophyll contents in the plant, reaching the treatment of 10 t/ha the biggest amounts, however, during the spring non of the genotypes presented visual symptoms of chlorosis, nevertheless it was different during the summer, because the Lagunero 87 genotype showed a higher chlorosis level than the AN-22 genotype. The acid fertilizers treatments significantly increased the total Fe in soil and lowered chlorosis degree in relation to the controls.

The dose of sulfuric acid lowered the pH, and produced an additional increase of the Electric Conductivity, nevertheless, the E.C. remained under the 4 dS/m (where this amount is the break point for many crops). Also, the contents of Fe, Mn and Zn in the soil were increased, remaining these nutrients inside the optimal range still after 40 days. The total Fe in the soil, remained among deficient and critical level. The correlation ratio of these three metals vs the dose of sulfuric acid was low (between 0.25 and 0.38).

The dose of sulfuric acid increased the grain yield in relation to the control treatment, this was between 17 and 22%. Fe-EDTA, acid fertilizers and granulated fertilizers increased the grain yield in 24, 16 and 0.4%, respectively. Lagunero 87 genotype (Fe-deficient) had the biggest grain yield, which was fertilized with Fe-EDTA (5.6 kg/ha), however the yield of this genotype was similar when were used 10 t/ha of H₂SO₄ plus acid fertilizers. In the other hand, the results of this experiment may suggest that sulfuric acid is not necessary to obtain high yield in the Lagunero 87 variety, however the AN-22 had a different behavior with the sulfuric acid increased.

The AN-22 variety used the solubilized Fe from the dose of acid, in order to produce dry matter. The category of Fe-efficient of the AN-22 didn't imply higher yield of grain which was lower in 15% than the Lagunero 87 variety, which is Fe-deficient.

I. INTRODUCCIÓN

En la planta, el fierro tiene funciones específicas en la activación de varios sistemas enzimáticos como la hidrogenasa fumárica, catalasa, oxidasa y citocromos. La clorosis por Fe se debe a una carencia o insolubilización del elemento dentro de la planta, afectándose el mecanismo de producción de clorofila, ya que se ha observado que el contenido de ésta se relaciona con un suministro del metal. Este es un problema ampliamente difundido en los suelos calcáreos, encontrándose tanto en monocotiledóneas como en dicotiledóneas.

La mayor parte de los suelos más productivos, en las zonas áridas y semiáridas del mundo, contienen carbonato de calcio, a través de todo su perfil. En México, los suelos calcáreos ocupan aproximadamente dos terceras partes del territorio nacional, desarrollándose ampliamente en éste tipo de suelos el cultivo del frijol *Phaseolus vulgaris* L. considerado como el segundo en importancia en razón de la superficie, la cantidad de grano que se consume y la actividad económica que genera.

En Nuevo León, México durante el año agrícola 1993-94, se cosecharon 7015 ha de frijol, con un rendimiento medio de 570 Kg/ha. Los principales municipios productores fueron Galeana con el 70% de la superficie cosechada, Montemorelos (20%), Apodaca (9%) y Anáhuac con solo el 1 % (INEGI, 1995). Dentro de los factores limitantes de la producción de ésta leguminosa se encuentra la clorosis por deficiencia de fierro, pudiendo llegar a disminuir el rendimiento de grano de un 40 a un 75 %.

Generalmente, una deficiencia de Fe en la planta se debe, más que a una carencia en el suelo, a otros factores, entre los que destaca un pH elevado. Al disminuirse una unidad el pH del suelo, el fierro se absorbe con mucha mayor facilidad por las raíces de las plantas, pues la solubilidad del ion ferroso (Fe^{2+}) se incrementa.

Para corregir la clorosis por Fe, el productor de medianos y altos recursos económicos, tradicionalmente aplica quelatos y sulfato de fierro al follaje. Para el productor de recursos económicos limitados, el método más eficiente, barato y de fácil adopción es el uso de variedades tolerantes o resistentes. En México existe una amplia gama de variedades resistentes y susceptibles a la deficiencia y que requieren evaluarse en los suelos calcáreos, para medir su potencial de rendimiento.

Por otra parte, en años recientes salieron al mercado diversos tipos de fertilizantes, que aplicados al suelo producen una reacción ácida y abaten el pH del mismo, provocando una solubilización de micronutrientes. Entre estos productos se encuentra el azufre, el ácido sulfúrico, el ácido fosfórico y la urea ácida. Sin embargo, se hace necesario evaluarlos en éste tipo de suelos y determinar su efectividad en la corrección de la clorosis por Fe en la planta de frijol.

1.1 Objetivos:

- a)** Evaluar el grado de tolerancia a clorosis férrica en diferentes genotipos de frijol (Fe-eficientes y Fe-deficientes) en un suelo calcáreo.
- b)** Determinar el efecto de fertilizantes de reacción ácida sobre el suelo y en el rendimiento del frijol.

1.2 Hipótesis:

- a)** Variedades de frijol que tienen tolerancia a clorosis férrica se verán menos afectados en su rendimiento que aquellas que son susceptibles cuando son cultivadas en suelos calcáreos.
- b)** La fertilización ácida al suelo aumenta la solubilidad del hierro edáfico, por lo que disminuye la clorosis de la planta, aún en aquellos genotipos Fe-deficientes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Función del Hierro en las Plantas

El hierro es un elemento esencial debido a que forma parte de ciertas enzimas y proteínas que acarrean electrones durante la fotosíntesis y la respiración. Experimenta oxidación y reducción alternas, entre los estados Fe^{2+} y Fe^{3+} , cuando actúa como portador de electrones en las proteínas (Salisbury y Ross, 1994).

Alrededor del 63 % del Fe que está en las hojas se encuentra formando parte o unido a proteínas que se pueden dividir en los siguientes grupos:

a) Proteínas en las que se encuentra el Fe como grupo hemo: citocromos, nitrato, catalasa y peroxidasa. Representan aproximadamente el 9% del Fe de las hojas.

b) Proteínas en las que se encuentra Fe como grupos no hemo: ferredoxina, aconitasa, nitrogenasa, nitrito reductasa, sulfito reductasa, complejos del tilacoides, complejos mitocondriales. Representan aproximadamente el 19% del Fe de las hojas.

c) Feritina. Representa aproximadamente el 35% del Fe de las hojas. Se encuentra en los cloroplastos y plastos, donde cumple función de almacén y previene la toxicidad por exceso de Fe (Miller *et al.* 1984).

La mayor parte del Fe en las hojas se encuentra en los cloroplastos, los cuales son responsables de la fotosíntesis. El hierro en los cloroplastos se encuentra en diferentes formas: almacenado como un óxido hidroso en la fitoferritina involucrada en la composición de varios citocromos los que son esenciales para el transporte de electrones (Boyer *et al.* 1990).

Cuando se presenta una deficiencia de Fe, se inhibe el desarrollo de los cloroplastos, lo que disminuye su número (Marschner, 1986), asimismo, se presenta un amarillamiento en las hojas de las plantas (Emery, 1982) debido a una disminución en la síntesis de proteínas cuyo componente es el Fe, tal como las hemo y Fe-S proteínas. Posteriormente, se induce una inhibición en la síntesis de clorofila y baja capacidad de los cloroplastos para reducir el NADP y que conduce a la producción de azúcares en el Ciclo de Calvin (Bienfait, 1989).

2.2 Absorción del Fierro por las Plantas

Actualmente se consideran dos estrategias, estas son:

Estrategia I: Se presenta en dicotiledóneas, monocotiledóneas no gramíneas, gimnospermas, helechos y algas. Su característica principal es la necesidad, como paso previo a su absorción, de reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} .

Estrategia II. Presente en gramíneas, hongos y bacterias, aún cuando las dos últimas posean también algunas características de la Estrategia I. Su característica

principal es la liberación de agentes quelatantes del Fe: fitosideróforos (gramíneas) y sideróforos (hongos y bacterias) (Römheld y Marschner, 1986).

2.3 El Hierro en el Suelo

El Fe es el cuarto elemento por orden de abundancia en la litosfera, tras el O, Si y Al, encontrándose fundamentalmente en forma de óxidos e hidróxidos (Chen y Barak, 1982). Los más abundantes son: Ferrihidrita ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ amorfo) > ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ suelo) > Maghemita ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) > Lepidocrocita (γFeOOH) > Magnetita (Fe_3O_4) > Hematita ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) > Goethita (αFeOOH) (Lindsay and Schwab, 1982; Loeppert and Clarke, 1984).

Aproximadamente, del 4 al 5% de los minerales del suelo corresponden a compuestos de Fe (Crowley *et al.* 1987). por lo que es raro que una deficiencia de hierro se deba a la escasez del elemento en el suelo, reduciéndose éstos casos a suelos arenosos degradados y a los suelos turbosos (Wood y Kenny, 1968).

Por tanto, las causas casi siempre son inducidas por otros factores, entre los que destacan el pH del suelo, el exceso de iones cálcicos, el bicarbonato en la solución del suelo y las interacciones con otros elementos (Loué, 1988). En vid, se ha mencionado que la clorosis resulta de un alto contenido de agua en el suelo (Schrader, 1949), un pH elevado (Rediske y Biddulph, 1953), así como elevados contenidos de CaCO_3 (Peer, 1965).

2.4 Mecanismos que Favorecen la Absorción de Fe

Los mecanismos se pueden dividir en dos: 1) Mecanismos no específicos, entre los que se encuentran la acidificación debida a la absorción preferente de cationes, la liberación de compuestos orgánicos por las raíces, los microorganismos y fenómenos de contacto. 2) Mecanismos específicos como la acidificación, el incremento de la capacidad reductora, la liberación de fenoles, el incremento en la síntesis de ácidos orgánicos, los cambios morfológicos de la raíz, etc. (Romera y Díaz, 1991).

2.5 Efecto del pH en la Absorción del Fe

La solubilidad del Fe en suelos es controlada en gran parte por la solubilidad de los óxidos del Fe^{3+} hidratados. El pH óptimo para la reducción del Fe se encuentra entre 4 y 5; por encima de pH 7.5 apenas si existe reducción (Römheld, 1987). La actividad del Fe^{3+} en solución disminuye 1000 veces por cada unidad de incremento en el pH, asimismo, el Fe^{2+} disminuye 100 veces por cada unidad de incremento en el pH; así a pH de 7.8 el Fe^{3+} y el Fe^{2+} son iguales a una concentración de $10^{-21}M$ (Mortvedt, Giordano y Lindsay, 1983).

La disponibilidad de nutrientes a las plantas está altamente relacionada con el pH del suelo, por lo que es importante conocerlo antes de hacer recomendaciones de micronutrientes. La actividad del Fe, Mn y Al se incrementa al aumentar la acidez

del suelo. En general, el pH óptimo para la mayoría de las plantas es de 6.0 a 6.8; en este rango generalmente no hay deficiencia o exceso de Fe o Mn disponibles (Mortvedt, Giordano and Lindsay, 1983).

La alcalinidad de los suelos calcáreos inhibe la absorción del Fe, especialmente en dicotiledóneas, por la alta capacidad buffer de los suelos que contrarresta la acidificación de la rizósfera por la planta, esto trae como consecuencia una disminución en la tasa de producción de la férrico-reductasa, cuya actividad óptima ocurre con un pH bajo (Bienfait *et al.* 1987).

El fierro, el zinc, el cobre y el manganeso son menos solubles en suelos alcalinos que en suelos ácidos, puesto que se precipitan como lo hacen los hidróxidos que tienen valores de pH elevados (Salisbury y Ross, 1994); este es un problema muy difundido en el oeste de los Estados Unidos, en donde existen alrededor de 3.7 millones de acres con suelos Fe deficientes que van de moderados a severos (Mortvedt, 1975).

2.6 Interacción del Fe con Macronutrientes

2.6.1 Interacción P x Fe

Existen resultados contradictorios entre el papel del fosfato en la inducción de la clorosis férrica; estos resultados se pueden explicar en base a los diferentes

materiales vegetales y condiciones de cultivo empleados por los distintos investigadores (Romera y Díaz, 1991). Se sugiere que cantidades elevadas de P interfieren con la absorción y traslocación del Fe, ocasionando una inactivación y precipitación del Fe en las venas de plantas cloróticas, impidiendo su traslocación a las células del mesófilo (Keshirad *et al.* 1978; Ajakaiye, 1986).

El fosfato, por si solo, no parece una causa importante de clorosis, salvo en algunas especies y variedades sin embargo, parece potenciar su efecto negativo. Altos niveles de bicarbonatos en el suelo o en solución nutritiva, interfiere con la absorción del Fe por las plantas, debido a un incremento en la solubilidad del P, el cual inactiva el Fe en forma de un precipitado de fosfato férrico (Columbe *et al.* 1984).

2.6.2 Interacción K x Fe

Este tipo de interacción parece presentar aspectos contradictorios. Por una parte, se ha verificado a menudo que los órganos cloróticos presentan contenidos elevados de potasio. Por otro lado la deficiencia de potasio es a veces considerada como susceptible de favorecer (o acompañar) la clorosis de Fe. Por otro lado, en una planta deficiente en potasio y clorótica, la clorosis se incrementa con el aumento de la absorción de potasio (Loué, 1988).

El efecto del potasio, favorable para la absorción del Fe, sería el resultado de la acidificación del suelo a nivel de la rizósfera, asimismo, por el aumento en la planta del ácido cítrico, el cual eleva la movilidad del Fe dentro del vegetal (Trocmé, 1960).

2.7 Interacción del Fe con Micronutrientos

2.7.1 Interacción Mn x Fe

Es la interacción más conocida. Cantidades muy elevadas de Mn en el medio nutritivo en relación al hierro pueden inducir síntomas de clorosis de Fe (Olsen, 1972). El Mn es competitivo con el Fe en las localizaciones metabólicas ocupadas normalmente por Fe (Mengel y Kirkby, 1982). Esta inhibición puede deberse a un efecto sobre la reductasa o a una competencia directa por los electrones (e^-) liberados por las raíces, de ésta forma, el Mn^{4+} puede competir con el Fe^{3+} por los e^- , para reducirse a Mn^{2+} (Römheld *et al.* 1982).

Se aplicaron formas de Fe y Mn inorgánicas y quelatadas a estiércol deficiente en Mn y con un pH de 6.5. La aplicación de Fe-EDTA, Mn-EDTA, o ambos, disminuyó el crecimiento y la captación de Mn e incrementó la relación Fe:Mn en frijol tipo Navy. La adición de Mn-EDTA o Fe-EDTA intensificó los síntomas visibles en la deficiencia de Mn. Estos autores mencionaron que el Mn era desplazado rápidamente del Mn-EDTA por el Fe y que el Mn liberado era inactivado como un complejo orgánico por el suelo. En suelos orgánicos, la aplicación de $MnSO_4$ corrigió la deficiencia de Mn de las plantas (Knezek y Greinert, 1971).

La relación Fe/Mn, bajo cultivo hidropónico, fue buen parámetro para evaluar el estado de Fe en frambuesa (Lucena *et al.* 1990). Tanto en maíz como en girasol, la relación Fe/Mn es mayor en las raíces, lo que se explica por la acumulación de óxidos de hierro sobre la superficie de las raíces, además el índice Fe/Mn fue similar al contenido de Fe en la planta (Hernández *et al.* 1995).

2.7.2 Interacción Cu x Fe

El Cu es un metal activador de varias enzimas entre las cuales se encuentran la tirosinasa, oxidasa del ácido ascórbico y butiril Co-A de hidrogenasa. También se ha dicho que puede ser uno de los metales relacionados con la reacción de la luz en las plantas. Las deficiencias de cobre provocan una acumulación de hierro en plantas de maíz, especialmente en los nudos. Como el hierro y el manganeso, las cantidades de cobre presentes en una planta, en relación a las cantidades de otros metales pesados, son quizá de mayor importancia en el funcionamiento correcto de la planta que la cantidad absoluta de cobre (Tisdale y Nelson, 1970).

Wallace y Dekock (1966), mencionan que el Cu tiene mayor potencialidad para inducir clorosis férrica que el Mn. Estudios sobre la nutrición del tabaco con soluciones nutritivas, se observó una fuerte clorosis de Fe inducida por Cu, manifestándose ésta por una distribución anormal del Fe, con tres veces más Fe en las raíces de las plantas ricas en Cu que en plantas normales en Cu. También se podría presentar clorosis por Fe debido a una aplicación excesiva de productos fitosanitarios que contengan metales pesados, como son los fungicidas con Cu (Lindsay, 1984). Niveles

altos de Cu aplicados al suelo reducian los niveles de Fe en las hojas de los cítricos (Spencer, 1966).

2.7.3 Interacción Zn x Fe

El zinc se involucra en la formación de hormonas de crecimiento para la planta y es necesario para la producción de clorofila, asimismo, se requiere para la síntesis de proteínas, altura de planta y en la formación de grano y semilla (Baker and Cihacek, 1983). Muchas enzimas contienen zinc fuertemente unido, esencial para su adecuado funcionamiento; se conocen más de 80 de tales enzimas (Vallee, citado por Salisbury y Ross, 1994).

La mayoría de los suelos minerales contienen de 80 a 300 ppm de zinc total sin embargo, el zinc intercambiable generalmente es menor de 1 ppm, fijándose el resto en formas no disponibles para la planta. La alcalinidad es un factor que contribuye a la deficiencia de zinc, cuando el pH del suelo se incrementa por encima de 6; la arcilla podría incrementar la capacidad de fijación del elemento, particularmente cuando se tiene alta cantidad de fosfatos en forma natural. El contenido promedio de zinc en la mayoría de las plantas oscila de 30 a 50 ppm. El análisis para la deficiencia se dificulta, debido a las pequeñas cantidades encontradas en las muestras del tejido de plantas o en el suelo (Baker and Cihacek, 1983).

Se midió la relación entre la deficiencia de Zn inducida por el P en maíz y las concentraciones y movilidad del Fe y Mn dentro de la planta. Las concentraciones de hierro fueron elevadas en las hojas y tallos de plantas de maíz deficientes en zinc. El

Mn fue afectado en la misma forma pero en un menor grado. La movilidad relativa del Fe y Mn estuvo relacionada en forma inversa a la movilidad del Zn (Warnock, 1970).

En maíz dulce, se encontró que cuando las necesidades de P eran satisfechas, la deficiencia de Zn se volvía dominante y las plantas contenían niveles muy elevados de Fe. La adición de Zn aumentó el crecimiento e indujo una reducción marcada en la concentración de Fe en las plantas (Jackson, Jay and Moore, 1967).

A pesar de todo lo anterior, el papel de los metales pesados en la inducción de clorosis férrica en suelos calcáreos debe ser poco importante, pues, en estos suelos, su solubilidad es muy baja, no obstante, se pueden tener problemas en suelos con condiciones reductoras (encharcados), ya que, en estos, aumentan los niveles de Mn^{2+} en solución, al reducirse el Mn^{4+} precipitado en forma de óxidos (Lindsay, 1984).

2.8 Factores que Afectan la Disponibilidad del Fierro para las Plantas

Las causas que inducen una clorosis por Fe son diversas; se podrían agrupar de la manera siguiente atendiendo al proceso sobre el que actúan:

a) Causas que afectan la solubilidad y movilidad del Fe en el suelo: pH, características de los minerales de Fe, materia orgánica, salinidad.

b) Causas que afectan la absorción del Fe por la planta: factores genéticos, factores que interaccionan con la absorción (pH, HCO_3^- , metales pesados, etc.) y factores que inhiben el crecimiento de las raíces (compactación, encharcamiento, bajas temperaturas, herbicidas, etc.).

c) Causas que afectan la actividad del Fe dentro de la planta: pH interno, fosfato y otros (Romera y Díaz, 1991).

El hierro existe en el suelo en dos formas: Fe^{3+} (férrica), la cual es la forma oxidada menos utilizada y la forma reducida Fe^{2+} (ferrosa), que es la forma aprovechable para la planta (Uren, 1984). La mayoría del Fe en los suelos existe en forma de óxidos insolubles (Fe^{3+}) (Julian *et al.* 1983) el cual necesita reducirse a Fe^{2+} para ser utilizado por las plantas.

En suelos calcáreos y alcalinos, el hierro tiene fuerte tendencia a oxidarse, hidrolizarse y polimerizarse en óxidos insolubles en la forma Fe^{3+} (Mortvedt, 1986; Boyer *et al.* 1990). De aquí que la principal causa de la deficiencia de Fe es la baja solubilidad de los compuestos Fe^{3+} , favorecidos por niveles altos del pH (Cortinas, 1996).

2.9 Diagnóstico de la Clorosis en Suelo

Para diagnosticar la clorosis férrica se pueden hacer dos tipos de estudios: en el suelo y en la planta. El diagnóstico en el suelo determina el Fe y/o otros factores que se suponen inductores de clorosis, como la caliza, el bicarbonato y los metales pesados. Como el Fe total del suelo no es un buen indicador del Fe disponible para las plantas, se utilizan métodos que solo extraen el Fe que supuestamente sí lo es. De estos métodos el más utilizado es la extracción del Fe con el agente quelante

DTPA. El Fe extraído con DTPA suele estar bien correlacionado con el Fe asimilable por las plantas, aunque es un método sujeto a errores, sobre todo derivado del proceso de secado del suelo (Chaney, 1984).

Recientemente se ha utilizado la extracción con DTPA en base a la siguiente interpretación (CdF Chimie-Azote et Fertilisants, citado por Loué, 1988):

< 10 ppm	: Riesgo elevado de deficiencia
de 10 a 20 ppm	: Riesgo medio a bajo de deficiencia
de 20 a 150 ppm	: Contenido satisfactorio
> de 150 ppm	: Índice de un problema de estructura e hidromorfia

La solución extractora de bicarbonato de sodio (NaHCO_3), también denominada "Olsen modificada", sirve para determinar Fe, Cu Mn y Zn, aunque se ha encontrado que la correlación entre las respuestas del cultivo a P y K determinados con ésta técnica, son más efectivas que para los otros nutrientes, por lo que ha sido utilizada para determinar fósforo y potasio en el suelo. La guía para la interpretación de los análisis de suelos se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Guía para la interpretación del análisis del P, Mn, Zn, Cu y Fe extraídos con la solución de Olsen modificada (1:10).

Nutriente	Deficiente ppm	Nivel Crítico ppm	Óptimo ppm		
			20	36	80
P	2.0	12	20	36	80
Mn	0.7	5	10	15	100
Zn	0.4	3	6	9	36
Cu	0.1	1	3	3	20
Fe	1	10	20	3	80

(Rodríguez, 1997).

2.10 Diagnóstico de Clorosis en Planta

La observación de los síntomas visibles es la forma más rápida para diagnosticar una deficiencia de hierro en las plantas, se caracteriza porque éstas desarrollan una clorosis intervenal pronunciada, similar a la deficiencia de magnesio, sin embargo, la deficiencia de Fe se presenta primero en las hojas más jóvenes. La clorosis intervenal en ocasiones es seguida por clorosis de las venas, por lo que la hoja entera adquiere un color amarillo. En casos severos, las hojas jóvenes se ponen blancas, con lesiones necróticas (Salisbury y Ross, 1994).

Con la carencia de azufre también aparece clorosis en las hojas jóvenes aunque, a diferencia de la de Fe, las nervaduras también se ponen amarillas (Romera y Díaz, 1991).

2.10.1 Contenido de clorofila y Fe en las hojas

Los pigmentos verdes del mesófilo de la hoja que absorben la luz en diferentes espectros son llamados clorofilas (*a* y *b*), aún cuando existen otros pigmentos como los β -carotenos y xantofilas. La clorofila *a* difiere de la *b* al tener un grupo metilo (-CH₃) en el anillo 2 en lugar de un grupo aldehído (-CHO). En organismos como plantas, helechos y musgos, la relación de clorofila *a* a *b* es de 3, sin embargo, parece ser que la clorofila *b* no es esencial para la fotosíntesis como ocurre en mutantes de cebada que solo tienen clorofila *a* y la llevan a cabo con éxito (Gutiérrez *et al.* 1994).

Aproximadamente, 1g de clorofila *a* y *b*, están presentes en 1 kg de peso fresco en hojas. La clorofila se localiza en el cloroplasto y el espectro de absorción de la clorofila *a* ocurre en la banda azul y banda roja; la clorofila *b* absorbe luz amarilla o verde. La longitud de onda para la absorción por clorofila no es apreciable (Gutiérrez *et al.* 1994).

Evaluando el grado de clorosis en la planta, Hurley *et al.* (1986) no encontraron diferencias significativas entre cultivares de frijol Fe-eficientes y Fe-deficientes respecto a la producción de reductantes, así como también en el contenido de clorofila y la concentración de Fe en las hojas.

El contenido crítico de Fe en hojas, a partir del cual se suele presentar clorosis, está alrededor de 30 ó 40 $\mu\text{g/g}$ de peso seco, dependiendo del tipo de plantas, sin embargo, a veces las hojas cloróticas tienen contenidos muy altos de Fe, lo que se explica considerando que parte de ese Fe es inactivo (Romera y Díaz, 1991).

No se ha encontrado buena correlación entre clorosis por Fe y la concentración de hierro total en las hojas (Zaiter *et al.* 1986). De esta forma, la cantidad de hierro en la hoja parece ser un índice de poco valor para determinar la resistencia o susceptibilidad a la deficiencia férrica. Inclusive, hojas cloróticas han mostrado tener mayores contenidos de Fe que las hojas sanas, de aquí que la cantidad de hierro total no puede considerarse como un buen indicador del crecimiento (Bennett, 1945).

Por lo anterior y para tener indicadores más confiables en la susceptibilidad de la clorosis, algunos autores han empleado la relación de la clorofila total (Chl_t) y la concentración de fierro en la planta $[Fe]$, de manera que $Chl_t / [Fe]$ indica de mejor manera la utilización del Fe en la biosíntesis de clorofila (Lucena *et al.* 1988).

Existen algunos métodos que tratan de determinar solo el Fe activo en las hojas. En algunos de éstos métodos se calcula indirectamente el Fe activo, relacionándolo con algunos parámetros como la relación P/Fe, donde Fe activo = $15.78 - 3.539 P/Fe$ (Dekock *et al.* 1979).

En el Cuadro 2 se presenta una clasificación para determinar el estado nutricional de la planta mediante el análisis vegetal con valores foliares promedio en hojas maduras:

Cuadro 2. Concentración de micronutrientos en tejido maduro de hoja que se clasifica como deficiente, suficiente y excesivo o tóxico.

Micronutriente	Concentración en hojas maduras (ppm)		
	Deficiente	Suficiente	Excesivo o Tóxico
Cu	Menos de 4	20-100	200 +
Fe	Menos de 50	50-250	No conocida
Mn	Menos de 20	20-500	500 +
Zn	Menos de 20	25-150	400 +

(Benton, 1983).

En soya cultivada en suelos calcáreos, la concentración de clorofila osciló de 0.49 a 2.74 mg/g; la evaluación visual de clorosis de 0 a 3.4. La producción de

materia seca aérea fluctuó de 157 a 595 mg por maceta y el Fe total de la planta de 7.3 a 29.8 μg de Fe por maceta. Aunque el peso seco total de la planta estuvo correlacionado con el Fe total en la misma ($r= 0.83^{***}$), no fue así con la concentración de Fe ($r= -0.12$).

Lo anterior indica que la planta simplemente produce mas materia seca con mas Fe y que la eficiencia en la producción de materia seca no se afectó por la concentración de Fe en la planta. Asimismo, la concentración de clorofila en base a superficie y peso fresco tuvo alta correlación ($r= 0.97^{***}$) y significativamente correlacionada con la escala de clorosis visual ($r= -0.90^{***}$ y $r= -0.86^{***}$, respectivamente). La concentración de clorofila y la escala visual de clorosis estuvo altamente correlacionada con la producción de materia seca y Fe total en la planta.

La concentración de fierro en la planta se consideró como un pobre indicador del estres ocasionado por Fe en soya, esto debido a la falta de correlación con los parámetros del crecimiento de la planta anteriormente señalados. Por último, la concentración de clorofila en base a superficie, podría ser utilizado como un indicador primario del estres por Fe-deficiencia (Morris *et al.* 1990).

Con el propósito de evaluar la influencia de los fertilizantes para corregir la clorosis férrica en frijol, se evaluaron en el ciclo de tardío tres genotipos de frijol clasificados como tolerante (AN-22), moderadamente tolerante (Lagunero 87) y un susceptible a clorosis férrica (Canario 101). Dentro de las conclusiones destaca que la aplicación de fertilizantes con fierro en forma foliar y al suelo no incrementó el contenido de clorofila en las hojas, al igual que los fertilizantes de reacción ácida. La

variedad Canario 101 presentó menor contenido de Clorofila *a*, *b* y total, además disminuyó la proporción clorofila *a/b*, lo que ocasionó síntomas de clorosis férrica. La variedad AN-22 (Fe-eficiente) no presentó diferencia significativa en el contenido de clorofila y clorosis férrica en comparación con la variedad Lagunero 87 (Lara, 1997).

2.11 Corrección de la Clorosis

El tratamiento más común para corregir una deficiencia de Fe consiste en la aplicación de quelatos de Fe sintéticos y sales de Fe inorgánicas dirigidas tanto al suelo como a la parte aérea de las plantas, asimismo, la aplicación de materiales acidificantes del suelo como la pirlita, el azufre y el ácido sulfúrico (Mortvedt, 1986).

2.11.1 Uso de quelatos

El término "quelato" se refiere a una configuración en anillo que resulta de la combinación de un ion metálico con dos o más grupos donadores de electrones de una misma molécula, mediante enlaces de coordinación que cierran el anillo. Los metales ligados en esta forma pierden sus características catiónicas, por lo que son más estables y permanecen más tiempo en forma aprovechable para las plantas (Schüte, 1966; Resnik, 1980).

Las aplicaciones al follaje son las más utilizadas para corregir clorosis en diversos cultivos, asimismo, las aplicaciones al suelo de quelatos sintéticos podrían

ser efectivas para algunas otras especies, dependiendo de las condiciones del suelo. Para este propósito, el quelato más efectivo es el FeEDDHA [*di (ácido o-hidroxifenilacético)*]. Asimismo, el quelato FeEDTA (*quelato férrico del ácido etilendiamino tetracético*), es también algo efectivo, especialmente en niveles de pH del suelo menores que 7 (Mortvedt, Mikkelsen and Kelsoe, 1992).

El EDTA forma quelato de Fe^{3+} por debajo de pH 6.3. La competencia con Ca^{2+} crece muy rápidamente por encima del pH 6 y el quelato de Ca domina por encima del pH 6.8. Los quelatos de Fe DTPA (*Ácido dietilentriaminapentaacético*) dominan hasta alrededor de pH 7.5; el Ca^{2+} desplaza al Fe^{3+} por encima de pH 7.5.

La estabilidad del quelato DTPA de Fe decrece más lentamente en los suelos calizos que la de los otros quelatos de Fe. El quelato EDDHA es particularmente selectivo para Fe^{3+} y los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} no compiten con Fe^{3+} . Por último, el quelato HEDTA (*Ácido Hidroxi-etilendiaminotetraacético*) forma un complejo con el Fe de estabilidad inferior y menos específico para Fe^{3+} . Los quelatos Al son aquí muy importantes y dominantes de pH 4.8. El HEDTA Fe domina de pH 4.8 a 6.7 y el HEDTA Ca de 6.7 a 9. Por encima de del pH 7.5 la estabilidad HEDTA Fe es pequeña (Romera y Díaz, 1991).

Anteriormente, las aplicaciones de quelatos de fierro al suelo se recomendaban en aquellos suelos con pH por debajo de la neutralidad; en suelos alcalinos se recomendaba aplicarlos en aspersiones foliares, sin embargo, en la actualidad el FeEDDHA es un quelato que en este tipo de suelos presenta ventaja

respecto a otros como Fe-EDTA, Fe-DTPA y Fe-HEDTA, al ser más estable a pH alto (Hagstrom, 1984). Inclusive, se empieza a utilizar el Fe-EDDHMA (*ácido etilendiamino dihidroximetilfenilacético*), un derivado del EDDHA, que es aún más estable que éste en pH alto (Hjelte, 1989).

Una desventaja de los micronutrientes quelatados, en relación al sulfato ferroso, es su mayor costo tomando como base libra a libra, sin embargo, se requieren cantidades pequeñas para corregir la clorosis. Un ejemplo lo muestran los resultados de un trabajo con árboles de cítricos en Florida, en donde 2.5 libras (1.13 kg) de fierro como sulfato ferroso por árbol mostró una disminución en la condición clorótica, pero se obtuvieron mejores resultados aplicando tan solo de 10 a 50 g de Fe por árbol en forma de compuesto de fierro quelatado (Tisdale y Nelson, 1977).

Las aspersiones foliares de quelatos resultan, tal vez, más económicas que aplicarlos al suelo, debido a que se eliminan todas las reacciones adversas del suelo para la asimilación del fierro; además se aplica el elemento justo en los puntos donde se requiere para normalizar el metabolismo de la planta (Bowen, 1981).

En un experimento en invernadero con *Lolium multiflorum* y utilizando un suelo calcáreo, se probaron diferentes quelatos con el propósito de corregir la clorosis por Fe en las hojas. Los agentes quelantes fueron: EDTA, DTPA, EDDHA y Rexene. Los datos de materia seca, micronutrientes y Fe total en las hojas se presentan en Cuadro 3.

Cuadro 3. Materia seca, concentraciones de micronutrientes en planta y Fe total en hojas.

Tratamiento	Materia seca (g)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
Control	2.59	99	54	22	55.4
EDTA 1 y 2	2.62	108	52	21	52.6
EDTA	2.76	111	50	21	53.8
DTPA	2.79	118	41	19	53.2
EDDHA	2.59	99	54	22	47.0
Rexene	2.99	126	53	22	47.0
C.V.	7.31	6.29	4.79	11.05	4.71
LSD (99%)	0.193	6.7	2.3	2.3	2.4

No se observaron síntomas visuales de una deficiencia de Fe, la cual concuerda con los datos, al no haber gran diferencia entre los tratamientos. Hubo una alta correlación entre el peso y las concentraciones de hierro en la planta. El tratamiento con Rexene suplementó más Fe a la planta, en tanto EDDHA suplió las menores cantidades, similar al testigo. Fe-DTPA y Fe-EDTA tuvieron valores intermedios. En general, las concentraciones de Mn, Cu y Zn disminuyeron en todos los tratamientos en comparación al testigo (Lucena, Gárate and Carpena; 1987).

2.11.2 Uso de materiales acidificantes y fertilizantes ácidos

Una forma de corregir las deficiencias de Fe en suelos básicos es mediante la disminución del pH del suelo, incrementando con esto la solubilidad del hierro y su disponibilidad para las plantas. La acidificación se puede realizar con ácido sulfúrico (H_2SO_4), azufre elemental (S), sulfato de amonio $(NH_4)_2 SO_4$ y sulfato de aluminio Al_2

(SO₄). De estos materiales, los que más se utilizan son el S elemental y el H₂SO₄ (Gupta and Comfield; citados por Nefae and O'Connor, 1978).

El ácido sulfúrico (H₂SO₄) que se utiliza en la agricultura de riego en zonas áridas, es un producto concentrado al 93% (aproximadamente 30% de azufre). Grandes cantidades de este material se obtienen como subproducto de la fundición de algunos metales minerales y la pirita y se produce en varios estados del Oeste de Estados Unidos de América. Los efectos acidificantes del H₂SO₄ son inmediatos, contrastando con el azufre elemental que requiere de varias semanas a meses para que se realice la oxidación bajo condiciones de campo. Dependiendo del método de aplicación, características del suelo y crecimiento del cultivo, se obtienen resultados satisfactorios con el uso del H₂SO₄ en rangos que oscilan de ½ a 15 t/acre (Stromberg and Tisdale, 1979).

En un estudio preliminar en sorgo, en suelos de Nuevo México en EUA, se probaron dosis de H₂SO₄ que oscilaron de 2.2 a 56.0 toneladas métricas (TM) por hectárea, asimismo, se incluyó un tratamiento comparativo de quelatos con 5.6 kg de Fe/ha. La salinidad se incrementó con la aplicación de ácido, y en la dosis más alta (56 t/ha), fueron visibles los depósitos de sal sobre la superficie del suelo. Para las dosis de 11.2 y 22.4 TM/ha, la salinidad osciló de 2.5 a 15 dS/m.

El ácido disminuyó el pH del suelo e incrementó el Fe disponible en todos los tratamientos en diferentes grados. La dosis más baja de ácido (2.2 t/ha) tuvo el menor efecto sobre el pH y Fe-DTPA, y fue inefectivo para suplementar el Fe en cantidades suficientes para cubrir las necesidades de las plantas. En la dosis más

alta, ninguna semilla germinó. Las dosis intermedias de 11.2 y 22.4 t/ha, fueron estadísticamente iguales al tratamiento con quelatos en base a FeEDDHA y obtuvieron los mayores rendimientos (Nefae and O'Connor, 1978).

Los autores mencionan que cuando se adicionaron quelatos de Fe al suelo tratado con H_2SO_4 hubo una tendencia a enmascarar su efecto (del ácido), aplicándose éste tanto en banda como en toda la superficie. Cuando solo se comparó el efecto de los niveles de ácido sobre la producción de las macetas, este fue razonablemente claro, sin embargo, cuando se comparó el rendimiento de las macetas tratadas tanto con ácido como con quelatos, desaparece el efecto del ácido.

Con el propósito de estudiar los efectos del ácido sulfúrico en suelos Fe-deficientes y P-deficientes, se realizó un trabajo en invernadero, donde se aplicaron seis índices de ácido, estos fueron: 0, 5, 10, 15, 20 y 25 % de ATB. El ATB es un índice de la capacidad del suelo para adsorber y neutralizar compuestos acidificantes, tales como el ácido sulfúrico (Miyamoto *et al.* 1973).

De los resultados destacan, una disminución del pH del suelo; los efectos ácidos del suelo (disolviendo $CaCO_3$) se expresaron como un incremento en la salinidad del suelo. La salinidad del tratamiento testigo se incrementó de 2.8 dS/m que tenía en el primer experimento, a 5.5 dS/m en el experimento 2 ; la aplicación de H_2SO_4 incrementó el P disponible. Los autores concluyen que la disponibilidad de Fe y P fue principalmente una función de los cambios en el pH del suelo asociados con las aplicaciones del ácido, asimismo, re aplicar ácido incrementó la salinidad del suelo, sin un beneficio significativo en el estado nutricional de la planta (Khorsandi, 1994).

El efecto de las aplicaciones del ácido, sobre la disponibilidad de P del suelo, se ha estudiado por diversos investigadores en Arizona, EUA. Para esto, se evaluaron diferentes métodos de aplicación del ácido y se midió el crecimiento y absorción del P en plantas de tomates. Todos los tratamientos con ácido sulfúrico incrementaron el crecimiento y la absorción del P de las plantas de tomate. Los mayores incrementos resultaron de la aplicación de fosfato monocálcico, pero el incremento impresionante resultado de la aplicación del ácido, sugiere fuertemente que ésta técnica es efectiva principalmente para incrementar la disponibilidad de fosfatos en áreas con suelos calcáreos y alcalinos (Ryan and Stroehlein, 1973).

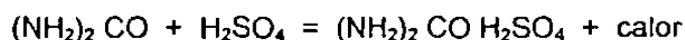
En sorgo, la aplicación de ácido incrementó la acidez del suelo, el P disponible y la producción del cultivo. Los cambios en el pH jugaron un papel importante en la disponibilidad del fósforo. Al incrementar los niveles de ácido, el P total disminuyó, atribuyéndose tal efecto a incrementos en el P inorgánico residual, descartándose la lixiviación del elemento dado que el P es generalmente inmóvil, por lo que su lixiviación se esperaría fuera insignificante (Khorsandi, 1994 b).

Otro producto utilizado para incrementar la acidez del suelo es el azufre agrícola. Cuando el S y los compuestos de azufre formadores de ácido se adicionan en cantidades suficientes al suelo, se disminuye el pH del mismo y se incrementa el P disponible y otros nutrientes. Las cantidades de material requeridas para efectuar este incremento en la acidez del suelo dependerá de las propiedades del producto para formar compuestos ácidos, la cantidad en el suelo del carbonato de calcio libre y la textura del suelo. Suelos con textura fina y altos en carbonatos, requieren una mayor

cantidad de material acidificante que aquellos suelos de textura arenosa bajos en carbonatos.

Como regla, disminuir el pH de una ha en la mayoría de los suelos de zonas áridas, resulta económicamente prohibitivo debido a las grandes cantidades que se requieren del acidificante, sin embargo, estos materiales se pueden aplicar en banda, a un costado de la semilla. Las cantidades requeridas por éste método son mucho menores y la zona del suelo con pH bajo se forma muy cerca de donde se desarrolla el sistema radicular en la cual, la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes se incrementa (Stromberg and Tisdale, 1979).

Otro de los productos empleados para acidificar el suelo es la Urea-Acido sulfúrico o urea sulfúrica. Para su manufactura, la reacción entre la urea y el ácido sulfúrico bajo condiciones apropiadas es como sigue:



Las diferentes formulaciones de fertilizantes de urea-ácido sulfúrico pesan de 11.87 a 12.80 libras por galón y tienen relativamente alta viscosidad de entre 35 a 110 centipoise. Todos los fertilizantes en base a urea-ácido sulfúrico tienen pH menor de 1. Este tipo de fertilizantes son relativamente nuevos en el mercado de aquí que se cuenta con información de campo muy limitada en relación a su uso, sin embargo, es claro su alto potencial en el mercado en muchas regiones agrícolas de zonas áridas, tanto como fertilizante como para el tratamiento de suelos y aguas agrícolas (Gregory, 1984).

Con el propósito de evaluar la urea líquida ácida en relación a la granulada, se realizó un trabajo midiendo el rendimiento del brócoli en suelos calcáreos de Marín Nuevo León. Se utilizó urea granulada al 46% de N y urea ácida líquida con las fórmulas 26-00-00-06 y 05-00-00-08 con 26 y 5% de N más 6 y 8% de azufre, respectivamente; para fósforo se empleó super fosfato de calcio triple al 46% de P_2O_5 . Las conclusiones a que se llegaron fueron de que la aplicación de urea ácida mejoró significativamente el rendimiento de brócoli y cuando ésta se acompañó de ácido fosfórico se incrementó aún más la producción. Se observó que el rendimiento de las formulaciones granuladas siempre fue inferior al de las ácidas (Vázquez, 1992).

2.11.3 Empleo de cultivares tolerantes a clorosis férrica

Desde hace más de 60 años se sabe que existen diferencias en la eficiencia de absorción de los nutrientes del suelo, en las diferentes especies de plantas cultivadas (Smith, 1934). Sin embargo, es hasta fechas recientes que ha surgido el interés por fisiólogos y mejoradores de plantas el utilizar esta alternativa.

Desde el punto de vista genético, se reporta que la resistencia a la clorosis férrica en frijol es controlada por la presencia de dos genes dominantes, Fe-1 Fe-1 y Fe-2 Fe-2. Se ha propuesto que la presencia y la activación de éste par de genes dominantes incrementan la solubilidad del Fe en la rizósfera a través de la activación de varios procesos fisiológicos tales como la reducción del hierro y/o la solubilización de compuestos Fe^{3+} inorgánicos (Zaiter *et al.* 1987).

Cortinas (1985), menciona que por efecto de la clorosis, el rendimiento unitario en el cultivo del frijol se disminuyó considerablemente, asimismo, se redujo en un 55% el número de vainas por planta, 20% el número de semillas por vaina; 9% el peso de 100 semillas y 37% la altura de la planta, en relación a una localidad donde las condiciones del suelo no permitieron se presentara la deficiencia; así, los genotipos de frijol "Mulato", "Pinto Norteño", "Fe-30-RB", "S-17-RB" y "Fe-22-RB" crearon condiciones en el suelo para solubilizar el Fe^{3+} , mostrando estabilidad a través de los años, es decir, su comportamiento no fue afectado por el ambiente. También se clasificaron como altamente resistentes a clorosis y rendidoras las variedades "Delicias 71", "Agrarista", "Ciateño", "Agramejo", "Fe-33-RB", "Adjuntas-22" "Lef-25-RB" y "S-4-RB". Como moderadamente susceptibles: "Flor de Mayo" y "Pinto 114".

Hernández *et al.* (1996), realizó dos experimentos bajo condiciones de invernadero, evaluando en el primer experimento, 21 variedades y dos líneas de frijol *Phaseolus vulgaris* L., utilizando en la solución nutritiva de Hogland, 0.1 ppm de Fe-EDTA. En el segundo experimento, se evaluaron la variedad Bayo Zacatecas (Fe-eficiente) y Garbancillo Supremo (Fe-deficiente), sometiendo a dosis de 0 y 2 ppm de Fe-EDTA en la solución nutritiva de Steinberg. Dentro de los resultados destaca que Bayo Zacatecas tuvo una mayor y más rápida acidificación de la solución nutritiva, lo que posiblemente le confiere su Fe-eficiencia, así también, presentó mayor concentración de clorofila y una mayor actividad de la nitrato reductasa al compararse con Garbancillo Supremo. Ambas variables estuvieron relacionadas con la Fe-eficiencia de las variedades.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización.

La presente investigación constó de dos experimentos. El primero durante la primavera (marzo-mayo) y el segundo en el verano (agosto-octubre) de 1997. El trabajo se realizó en el Vivero del Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. La ubicación de dicho campo es en el municipio de Marín, Nuevo León, México. La ubicación es a los 25° 53' de Latitud Norte y 100° 03' de Longitud Oeste, con una altitud de 367.3 msnm. Las características del suelo que se empleó en el estudio se presentan en Cuadro 4.

Cuadro 4. Características físico-químicas del suelo empleado en el experimento. Perfil 0-30 cm.

Característica	Valor	Método
M.O.	2.13 %	Walkley-Black
N total	0.10 %	Cálculo
P ₂ O ₅	31.3 ppm	Olsen
K	244 ppm	Morgan
CO ₃ ²⁻	36.5%	Titulación
CIC	39.5 meq/100 g	Acetato de amonio
pH	7.9	Potenciómetro (2:1)
CE	1.0 dS/m	Extracto de saturación
Arena	16.0 %	
Limo	28.0 %	Hidrómetro de Bouyoucos
Arcilla	56.0 %	
Ca ²⁺	6.9 meq/L	Titulación
Mg ²⁺	4.8 meq/L	"
Cl ⁻	4.3 meq/L	"
CO ₃ ²⁻	3.0 meq/L	"
HCO ₃ ⁻	7.0 meq/L	"
Fe	1.7 ppm	Absorción atómica
Cu	0.9 ppm	"
Mn	6.6 ppm	"

El clima de la región, según clasificación de Köeppen modificado por García (1973), es BS₁ (h') h x' (e'), donde :

BS₁ = Seco o árido con P / T = 22.9. El menos seco de los BS.

(h') h = Cálido sobre 22 °C.

x' = Con lluvias en verano y escasas a lo largo del año.

(e') = Muy extremoso.

3.2 Materiales

3.2.1 Variedades de frijol

Se utilizaron dos variedades de frijol, de hábito de crecimiento indeterminado, en base a la susceptibilidad a clorosis férrica, Lara (1996). Las características de los materiales se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características agronómicas de las variedades de frijol utilizadas en el experimento.

Variedad	Origen	Tipo	Tolerancia a clorosis
AN - 22	UAAAN	Pinto Americano	Tolerante
Lagunero - 87	PRONASE	Pinto Americano	Susceptible

3.2.2 Dosis de ácido sulfúrico

Se llenaron macetas con suelo seco que había presentado deficiencias por Fe en el ciclo de cultivo anterior, llevándose a un peso de 15 kg. La aplicación del Ácido sulfúrico se hizo posterior a un riego de saturación aplicando 5 t/ha (35.35 ml de H_2SO_4 / maceta), 10 t/ha (70.70 ml de H_2SO_4 / maceta) y 15 t/ha (106.05 ml de H_2SO_4 por maceta).

3.2.3 Tipos de fertilizantes

Se aplicó la fórmula de fertilización 90-60-00, recomendada para el cultivo.

Los tipos de fertilizantes fueron:

- 1) Fertilización ácida con urea ácida (30-0-0-5) y Ácido fosfórico 85% (61.5 % de P_2O_5).
- 2) Fertilización al suelo con 5.6 kg/ha (0.5 g/maceta) de quelato Fe-EDTA, con 9% de Fe.
- 3) fertilización granulada con urea (46% N) y Super fosfato de calcio triple (46% de P_2O_5).

En la primavera, los tratamientos 17 y 18, recibieron la dosis de fertilización 90-60-0 con Urea granulada (46% N) y super fosfato de calcio triple (46 % de P_2O_5), recibieron aplicaciones vía foliar de Kelatex-Fe en dosis de 3 g/L de agua, a los 30 y 50 días de la siembra del cultivo.

3.3 Diseño Experimental

La siembra en primavera se realizó el 1 de marzo, mientras que en verano fue el 17 de agosto de 1997. En el primer experimento, la parcela total constó de 10 macetas con tres plantas cada una y cuatro repeticiones; en el experimento de verano se utilizó solo una maceta por tratamiento repetida cuatro veces, con tres plantas cada una, en las que se realizaron los muestreos y observaciones.

El diseño experimental, en ambos trabajos, fue un bloques completos al azar. En el experimento de primavera se tuvieron 20 tratamientos con cuatro repeticiones. En los primeros 12 tratamientos, se tuvo un arreglo factorial ($2 \times 3 \times 2$). El factor A correspondió a las 2 variedades; el factor B fueron las 3 dosis de H_2SO_4 y como factor C los 2 tipos de fertilizantes. Asimismo, se adicionaron seis tratamientos sin ácido sulfúrico y los dos tratamientos testigo. Para las gráficas, se utilizó el valor promedio de las cuatro repeticiones.

En el experimento de verano, se evaluaron 14 tratamientos con cuatro repeticiones. Se tuvo un arreglo factorial de tratamientos $2 \times 3 \times 2$ (2 variedades de frijol, 3 niveles de ácido sulfúrico y 2 tipos de fertilizantes), que generan los 12 primeros tratamientos del experimento de primavera, más los dos tratamientos testigo. Los análisis estadísticos fueron hechos con el programa SAS (SAS, 1987), y las medias comparadas por la técnica de Duncan, utilizando un nivel de error tipo I al 5%. La descripción de los tratamientos del experimento de primavera y de verano se detallan en los Cuadros 6 y 7, respectivamente. La disposición de los tratamientos en campo se presenta en la Figura 1.

Cuadro 6. Descripción de tratamientos del experimento de primavera.

TRAT	GENOTIPO	FERTILIZANTE	
T-1	AN - 22	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-2	AN - 22	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-3	AN - 22	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-4	AN - 22	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-5	AN - 22	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-6	AN - 22	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-7	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-8	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-9	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-10	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-11	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-12	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-13	AN - 22	90-60-0 (Fertilización ácida)	
T-14	AN - 22	5.6 kg Kelatex-Fe (suelo)	
T-15	LAGUNERO 87	90-60-0 (Fertilización ácida)	
T-16	LAGUNERO 87	5.6 kg de Kelatex-Fe (suelo)	
T-17	AN - 22	90-60-0 (granulado) + Kelatex-Fe(3 g/l)	
T-18	LAGUNERO 87	90-60-0 (granulado) + Kelatex-Fe(3 g/l)	
T-19	AN - 22	Testigo absoluto	
T-20	LAGUNERO 87	Testigo absoluto	

Cuadro 7. Descripción de tratamientos del experimento de verano.

TRAT	GENOTIPO	FERTILIZANTE	
T-1	AN - 22	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-2	AN - 22	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-3	AN - 22	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-4	AN - 22	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-5	AN - 22	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-6	AN - 22	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-7	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-8	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (5 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-9	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-10	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (10 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-11	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 90-60-0 (Fertilización ácida)
T-12	LAGUNERO 87	H ₂ SO ₄ (15 t/ha)	+ 5.6 kg Kelatex-Fe
T-13	AN - 22	Testigo absoluto	
T-14	LAGUNERO 87	Testigo absoluto	

El modelo matemático del diseño de bloques al azar es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

donde :

Y_{ij} = observación del tratamiento i en el bloque j .

μ = efecto verdadero de la media general.

τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = error experimental.

3.3.1 Procedimientos estadísticos

3.3.1.1 Hipótesis estadísticas

a) Para las variedades de frijol:

$$H_0: (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6) = (T_7 + T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11} + T_{12})$$

H_a : Las variedades son diferentes

b) Para las dosis de ácido sulfúrico:

$$H_0: (T_1 + T_2) = (T_3 + T_4) = (T_5 + T_6) = (T_{13} + T_{14}) \text{ Vs. } H_a: \text{ Al menos una dosis}$$

diferente

Ho: $(T_7 + T_8) = (T_9 + T_{10}) = (T_{11} + T_{12}) = (T_{15} + T_{16})$ Vs. Ha: Al menos una dosis diferente

c) Para los fertilizantes ácidos:

Con Fe-EDTA

Ho: $(T_1 + T_3 + T_5) = (T_2 + T_4 + T_6)$ Vs. Ha: $(T_1 + T_3 + T_5) \neq (T_2 + T_4 + T_6)$

Ho: $(T_7 + T_9 + T_{11}) = (T_8 + T_{10} + T_{12})$ Vs. Ha: $(T_7 + T_9 + T_{11}) \neq (T_8 + T_{10} + T_{12})$

Con el tratamiento testigo

Ho: $(T_1 + T_3 + T_5) = 3T_{13}$ Vs. Ha: $(T_1 + T_3 + T_5) \neq 3T_{13}$

Ho: $(T_7 + T_9 + T_{11}) = 3T_{14}$ Vs. Ha: $(T_7 + T_9 + T_{11}) \neq 3T_{14}$

Se hizo un análisis de correlación con coeficientes de Pearson, utilizando el paquete estadístico del programa SAS (SAS, 1987).

3.4 Variables Cuantificadas

En el experimento de primavera se evaluó: el contenido de clorofila y la producción de materia seca, en la floración y madurez fisiológica; longitud de planta, contenidos de Fe, Cu, Mn y Zn en la planta y el rendimiento de grano.

En el experimento de verano, en la planta se evaluó el grado de clorosis visual, contenido de clorofila total y materia seca al momento de la floración. Se evaluó el pH, C.E. y los contenidos de P, Fe, Cu, Mn y Zn en el suelo. Las evaluaciones para los microelementos, el pH y CE se realizaron a los 40 días de haberse establecido el experimento.

3.4.1 Contenido de clorofila (mg/L)

Se recortaron las tres plantas de la maceta seleccionada a 1 cm por encima de la superficie del suelo, esto se hizo al momento de floración que ocurrió de los 35 a los 43 días después de la siembra. Las muestras de tejido vegetal para análisis de clorofila se hicieron removiendo un foliolo (foliolo central) de cada hoja, desde la quinta hoja del tallo central hacia el ápice. Los foliolos de las tres plantas se mezclaron y lavaron con agua bidestilada, para pesar posteriormente 1 g de tejido verde como muestra, por cada tratamiento, para hacer la determinación.

El contenido de clorofila de las hojas de la muestra se determinó por el método de McKinney (1941), homogenizándose en una mezcla de 80:20 de acetona:agua, utilizando para triturarlas una licuadora doméstica de alta velocidad, por un tiempo de 30 segundos. La mezcla homogeneizada se filtró con papel Whatman No. 40, transfiriéndose a un matraz de aforación de 100 ml y se dejó reposar toda la noche guardándose en refrigeración, para realizar la lectura al día siguiente.

La densidad óptica del extracto se determinó en un espectrofotómetro Turner Modelo 690, a 645 y 663 nm. La concentración de la clorofila del extracto se calculó utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg/L)} = 9.97 A_{663} - 0.78 A_{645}$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (mg/L)} = 17.67 A_{645} - 2.82 A_{663}$$

$$\text{Clorofila Total (mg/L)} = 7.15 A_{663} - 16.9 A_{645}$$

3.4.2 Producción de materia seca (g/planta)

Esta variable se midió en dos etapas fenológicas del cultivo, la primera durante la etapa de floración (43 días) y el segundo muestreo a madurez fisiológica, (70 días de la siembra). Se utilizaron tres plantas que se pusieron a secar en una estufa a 70°C por 48 horas , posteriormente, se pesaron para determinar la producción de materia seca en g/planta, para cada tratamiento.

3.4.3 Contenido de Cu, Zn, Mn y Fe en la planta

Las plantas que se utilizaron para determinar la producción de materia seca en la etapa de madurez fisiológica, se pasaron por un molino de acero inoxidable, utilizando un tamiz de 40 mesh para obtener un molido de muestra vegetal. Posteriormente, se empleó el método de incineración en seco, para esto se tomó 1 g de material vegetal y se colocó en un crisol, incinerándose en una mufla a una temperatura de 500 °C por cuatro horas.

Se enfrió la muestra y se humedeció con agua destilada, agregando 2 ml de HCl concentrado, evaporándose hasta sequedad en una plancha a 250 °C. Se agregaron 25 ml de HCl 2N y se hizo el filtrado de la solución con papel Whatman No. 40. El filtrado original se utilizó para hacer las lecturas directas con un espectrofotómetro de absorción atómica Marca Zeiss, modelo FMD4, utilizando como combustible una mezcla aire-acetileno, leyendo a cada elemento en su respectiva

longitud de onda, así Fe se leyó en 496.7 nm; Cu en 324.8 nm; Mn en 559.0 nm y Zn en 427.7 nm.

3.4.4 Rendimiento de grano (g/planta)

Se cosecharon las plantas de las macetas que tenían competencia completa (3 plantas/maceta) y se obtuvo una media de rendimiento. Esto se hizo cuando el 50% de las hojas estaban amarillas y empezaban a caerse de la planta.

3.4.5 pH del suelo

El pH del suelo se midió por el método electrométrico, que utiliza un potenciómetro con electrodo. Se colectaron de los primeros 5 cm de profundidad, de 150 a 200 g. La muestra seca, se molió en un mortero y se tamizó con una criba de 20 mesh. Posteriormente, se pesaron 10 g de suelo y se adicionaron 20 ml de agua (relación 1:2) dejándose reposar por 30 minutos.

3.4.6 Conductividad eléctrica (dS/m)

Los intervalos de muestreo para determinar la CE en el suelo fueron los mismos que para las lecturas de acidez, solo que a la muestra en la que se midió el pH, se le adicionaron 30 ml más de agua (relación 5:1), se dejó reposar por aproximadamente 30 minutos y se tomó la lectura con un conductivímetro HANNA Instruments, Modelo HI 8733.

3.4.7 Contenido de Cu, Zn, Mn y Fe en el suelo (ppm)

El tiempo de muestreo para los microelementos en el suelo fue a los 40 días después de la siembra. El Fe total se determinó por el método Olsen modificado usando bicarbonato de sodio como solución extractora (Olsen *et al.* 1954). Las lecturas fueron directas del filtrado original en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Zeiss modelo FMD4, leyendo a cada elemento en la misma longitud de onda utilizada para el análisis de microelementos en planta.

3.4.8. Escala de clorosis visual

Se utilizó la escala de clorosis visual de Carpena-Artes *et al.*(1995), que asigna valores del 1 a 5, de acuerdo al Cuadro 8.

Cuadro 8. Grado de clorosis visual.

Característica	Grado de clorosis
<u>Planta verde</u>	1
<u>Planta ligeramente clorótica.</u> Incipiente clorosis intervenal.	2
<u>Planta clorótica.</u> Típica clorosis intervenal.	3
<u>Planta muy clorótica.</u> Hojas con zonas amarillas. Incipiente caída de hojas.	4
<u>Planta extremadamente clorótica.</u> Todas las hojas amarillas y severa caída del follaje	5

Figura 1. Croquis de localización de los tratamientos en el campo.

REPETICIÓN 1

T-15	T-17	T-16	T-8	T-12	T-4	T-11	T-2	T-14	T-19	T-13	T-10	T-18	T-1	T-3	T-7	T-20	T-6	T-5
LAG-87 Urea gra H3PO4	AN-22 Urea gra SFT	LAG-87 EDTA suelo	LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 10 ton Ac. Sulf.	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	EDTA suelo	AN-22	AN-22 Urea ac. H3PO4	LAG-87 10 ton Ac. Sulf.	LAG-87 Urea gra SFT	EDTA suelo	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 Urea gra EDTA	AN-22 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 15 ton Ac. Sulf.

REPETICIÓN 2

T-17	T-8	T-18	T-5	T-19	T-6	T-4	T-13	T-1	T-20	T-15	T-10	T-2	T-12	T-14	T-7	T-11	T-3	T-9	
AN-22 Urea gra SFT	LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 Urea gra SFT	AN-22 15 ton Ac. Sulf.	AN-22	AN-22 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 10 ton Ac. Sulf.	AN-22 Urea ac. H3PO4	Urea ac. H3PO4	LAG-87 Urea gra H3PO4	LAG-87 Urea ac. H3PO4	LAG-87 10 ton Ac. Sulf.	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	EDTA suelo	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	EDTA suelo	LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 10 ton Ac. Sulf.	LAG-87 10 ton Ac. Sulf.

REPETICIÓN 3

T-10	T-16	T-12	T-5	T-13	T-2	T-19	T-8	T-4	T-11	T-15	T-20	T-7	T-9	T-3	T-14	T-1	T-18	T-17
LAG-87 10 ton Ac. Sulf.	LAG-87 EDTA suelo	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 15 ton Ac. Sulf.	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	AN-22 15 ton Ac. Sulf.	LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	EDTA suelo	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	LAG-87 Urea ac. H3PO4	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 10 ton Ac. Sulf.	AN-22 10 ton Ac. Sulf.	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 Urea gra SFT	LAG-87 Urea gra SFT

REPETICIÓN 4

T-8	T-13	T-10	T-18	T-20	T-16	T-9	T-14	T-4	T-2	T-15	T-6	T-17	T-12	T-3	T-11	T-7	T-5	T-19
LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	AN-22 Urea ac. H3PO4	LAG-87 10 ton Ac. Sulf.	LAG-87 Urea gra SFT	LAG-87 EDTA suelo	LAG-87 10 ton Ac. Sulf.	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	AN-22 10 ton Ac. Sulf.	AN-22 5 ton Ac. Sulf.	LAG-87 Urea ac. H3PO4	AN-22	AN-22 SFT	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 10 ton Ac. Sulf.	LAG-87 15 ton Ac. Sulf.	LAG-87 5 ton Ac. Sulf.	AN-22 15 ton Ac. Sulf.	AN-22 15 ton Ac. Sulf.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de ambos experimentos se presentan por separado, analizándose primero las variables del trabajo de primavera y posteriormente las del verano de 1997.

4.1 Experimento de Primavera.

4.1.1 Contenido de clorofila (mg/L)

El análisis de varianza detectó diferencias significativas para el contenido de clorofila *a* y *b* al momento de la floración (Cuadros 1A y 2A del Apéndice). Estas diferencias se tuvieron solo para las dosis de ácido sulfúrico aplicadas al suelo. Las comparaciones de medias por Duncan (5%), se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Comparaciones de medias para clorofila *a* y *b* al en floración por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Tipo de Clorofila	Variedades	Clorofila (mg/L)	Dosis t/ha	Clorofila (mg/L)	Tipo de Fertilización	Clorofila (mg/L)
<i>a</i>	Lagunero 87	7.997	15	8.425 a	Ácida	7.829
	AN-22	7.830	10	8.082 a b	Fe-EDTA	8.016
			5	7.679 b	Granulada	7.814
			0	7.686 b	Sin Fert.	7.924
			DMS = 0.409		DMS=0.605	
<i>b</i>	Lagunero 87	3.916	15	4.204 a	Ácida	3.844
	AN-22	3.808	10	3.995 a b	Fe-EDTA	3.927
			5	3.741 b	Granulada	3.720
			0	3.681 b	Sin Fert.	3.798
			DMS = 0.249		DMS=0.368	

El contenido de clorofila *a* y *b* también se cuantificó en etapa de madurez fisiológica. El análisis de la varianza (Cuadros 3A y 4A del Apéndice), no detectó diferencias estadísticas significativas para los tres factores en estudio. Las comparaciones de medias a madurez fisiológica se presentan en el Cuadro 10 y la diferencia entre tipos de fertilizantes se debe a que el método prueba la hipótesis de igualdad de medias con un error tipo I mayor al que se declara.

Cuadro 10. Comparaciones de medias para clorofila *a* y *b* en madurez fisiológica por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Tipo de Clorofila	Variedades	Clorofila (mg/L)	Dosis t/ha	Clorofila (mg/L)	Tipo de Fertilización	Clorofila (mg/L)
<i>a</i>	AN-22	8.765	0	8.897	Granulada	9.528 a
			5	8.798	Sin Fert.	9.049 a b
	Lagunero 87	8.588	15	8.448	Ácida	8.821 a b
			10	8.353	Fe-EDTA	8.232 b
		DMS = 0.613		DMS=0.907		DMS= 1.084
<i>b</i>	AN-22	4.856	0	4.942	Granulada	5.434 a
			5	4.865	Sin Fert.	5.030 a b
	Lagunero 87	4.777	15	4.689	Ácida	4.932 a b
			10	4.650	Fe-EDTA	4.496 b
		DMS = 0.417		DMS=0.612		DMS= 0.737

De los datos anteriores, se podría mencionar que las variedades de frijol Lagunero 87 y AN-22 tuvieron valores muy similares en cuanto al contenido de clorofila, siendo estos valores, en ambas variedades, mayores para la clorofila *a* que para la clorofila *b*, lo que concuerda con Gutiérrez *et al.*(1994), quienes mencionan que la clorofila más importante para que se lleve a cabo la fotosíntesis es la clorofila

a, como ocurre en mutantes de cebada; sin embargo, el valor de 3 de la relación de clorofila a a b que mencionan estos autores, es superior al encontrado en el presente trabajo, pues éste fue de 1.8 para Lagunero 87 y de 2.06 para AN-22.

El comportamiento de las variedades en el presente estudio, concuerda con lo reportado por Lara (1997), quién señala que la variedad AN-22 (Fe-eficiente) no mostró diferencia estadística significativa en el contenido de clorofila y grado de clorosis férrica al compararse con Lagunero 87 clasificada como moderadamente tolerante a clorosis férrica.

Referente al efecto de las dosis de ácido sulfúrico sobre el contenido de clorofila, se aprecia una tendencia de incremento en la clorofila de la hoja conforme se elevan los niveles de H_2SO_4 aplicados al suelo. Las dosis de 10 y 15 t/ha obtuvieron 8.082 y 8.425 mg/L de clorofila a, sin embargo, las dosis de ácido intermedia y baja fueron estadísticamente iguales al testigo sin aplicación. En clorofila b la tendencia fue similar. Estas diferencias leves en el contenido de clorofila se pierden en la madurez fisiológica.

El efecto del ácido fue un efecto indirecto sobre la clorofila en la planta. Al disminuir el H_2SO_4 el pH del suelo, dados los efectos acidificantes inmediatos (Stromberg y Tisdale, 1979), se aumenta la acidez; la actividad del Fe y otros metales se incrementa, pudiendo ser absorbidos por la planta. De esta manera, la planta, desarrolla un mayor número de cloroplastos, los cuales son responsables de la fotosíntesis. Por otra parte, un efecto de los ácidos aplicados al suelo calcáreo es la liberación de cationes de Ca y Mg; éste último forma parte de la molécula de clorofila.

Los efectos leves de los tratamientos sobre el contenido de clorofila, no permitieron observar en campo efectos visibles de clorosis férrica, por lo que la evaluación visual del grado de clorosis no se realizó. Un aspecto importante fue el buen temporal que se presentó durante la ejecución del experimento (Cuadro 23A del Apéndice) y que pudo ocasionar una reducción química de los metales pesados, entre ellos el Fe^{3+} , por lo que los síntomas visuales de clorosis férrica no se hicieron evidentes.

Lo anterior es discutido por Lindsay (1984), al mencionar que bajo condiciones reductoras (encharcamientos), se aumentan los niveles de Mn^{2+} en solución, al reducirse el Mn^{4+} precipitado en forma de óxidos, posteriormente, éste Mn reducido compite en las localizaciones metabólicas ocupadas normalmente por el Fe (Mengel y Kirkby, 1982). En este caso, las condiciones reductoras fueron temporales, dado el buen drenaje que tuvieron las macetas.

4.1.2 Materia seca (g/planta)

Los factores que contribuyeron a mostrar diferencias entre los tratamientos para materia seca en la floración, fueron las dosis de H_2SO_4 aplicadas al suelo ($p < 0.01$), el tipo de fertilización aplicada al cultivo ($p < 0.01$) y las variedades de frijol ($p < 0.05$). Al momento de la madurez fisiológica, ésta característica solo estuvo influenciada por el factor variedades (Cuadros 5A y 6A del Apéndice).

Los valores del Cuadro 11 para materia seca tanto en floración como en madurez fisiológica, muestran a la variedad AN-22 como la de mayor acumulación con 1.82 y 12.91 g/planta, respectivamente, siendo estos pesos estadísticamente diferentes a los de la variedad Lagunero 87 que rindió 1.63 g/planta en la floración y 7.18 g/planta en madurez fisiológica.

Cuadro 11. Comparaciones de medias para la materia seca en floración y madurez fisiológica por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Etapa fenológica	Variedades g/planta		Dosis t/ha g/planta		Tipo de Fertilización g/planta	
	Variedad	Medio	Dosis	Medio	Tipo	Medio
Floración	AN-22	1.82 a	15	2.11 a	Ácida	1.99 a
			10	2.04 a	Fe-EDTA	1.69 b
	Lagunero 87	1.63 b	5	1.71 b	Granulada	1.21 c
			0	1.39 c	Sin Fert.	1.33 c
		DMS = 0.14		DMS= 0.21		DMS= 0.25
Madurez Fisiológica	AN-22	12.91 a	0	10.47	Granulada	11.87
			15	10.35	Ácida	10.33
	Lagunero 87	7.18 b	10	9.95	Fe-EDTA	9.69
			5	9.34	Sin Fert.	9.19
		DMS = 1.50		DMS= 2.23		DMS= 2.66

Como se aprecia, ambas variedades continuaron acumulando materia seca aún después de la floración debido a su hábito de crecimiento indeterminado, sin embargo, ésta acumulación de rendimiento biológico (peso de hojas y tallos) de la floración a madurez fisiológica, fue en una relación mayor para AN-22 que incrementó 7.09 veces más el peso seco en comparación con Lagunero 87 que solo lo hizo en 4.4 veces. Resultados similares en rendimiento de materia seca para éstas

variedades fueron registrados por Lara (1997), quien reporta rendimientos de 8.23 g/planta para AN-22 y de 5.97 g/planta en Lagunero 87.

Debido a que la materia seca a la floración se correlacionó (Cuadro 25A del Apéndice) con la clorofila a ($r = 0.72^{***}$), clorofila b ($r = 0.74^{***}$) y que su incremento estuvo en función de la dosis de H_2SO_4 aplicada al suelo (Cuadro 11), se podría señalar que la disminución en el pH puso disponible una mayor cantidad de hierro ($r = -0.34^{**}$) y otros cationes como el magnesio, como se muestra en el Cuadro 26A del Apéndice, lo que dio como resultado concentraciones elevadas de clorofila en la planta.

Lo anterior fue reportado por Morris (1990), quién encontró que el peso seco de la planta de soya cultivada en suelos calcáreos, correlacionó con el Fe total en la misma ($r = 0.83^{***}$), señalando que la planta simplemente produce más materia seca con mayor cantidad de hierro.

Las diferencias en materia seca producidas por los niveles de ácido aplicados al suelo fueron significativas solo cuando esta variable se midió al momento de la floración (Cuadro 11), teniéndose en las dosis intermedia y alta valores de 2.04 y 2.11 g/planta, siendo diferentes al nivel inferior de ácido que registró 1.71 g/planta y éste a su vez diferente del testigo sin aplicación que solo obtuvo 1.39 g.

La menor materia seca del testigo se podría relacionar a la poca disponibilidad de Fe y de otros cationes en el suelo, debido a valores de pH relativamente altos (pH

de 7.9) que inmovilizan este elemento, concordando nuevamente con lo dicho por Morris (1990), que a mayor Fe mayor cantidad de materia seca.

El tipo de fertilización fue determinante en la cantidad de materia seca a la floración como se muestra en la Figura 2. La variedad AN-22, incrementó su materia seca al pasar de 0 a 5 t de H_2SO_4 /ha. En el rango de 5 a 10 t, los valores en el peso seco se mantuvieron muy similares para ambos tipos de fertilizantes. Solo después de las 10 t/ha incrementó su materia seca utilizándose fertilización ácida, alcanzando valores de 2.41 g/planta en el nivel más alto de H_2SO_4 . En esta misma variedad, cuando se empleó Fe-EDTA, la mayor de materia seca se tuvo con la dosis intermedia de ácido sulfúrico, con 1.98 g/planta.

En el genotipo Lagunero 87, la tendencia a ganar materia seca se incrementó conforme se elevó la dosis de ácido en el suelo; siempre fue mayor con fertilizantes ácidos que con Fe-EDTA. La mayor materia seca en ambos tipos de fertilización se mostró en la mayor dosis de H_2SO_4 , siendo de 2.41 g/planta para la fertilización ácida y de solo 1.82 g para la fertilización con el quelato Fe-EDTA.

Cuando se compararon las medias de materia seca por el tipo de fertilizante empleado (Cuadro 11), los valores más altos fueron para la fertilización ácida con 1.99 g/planta. La fertilización con Fe-EDTA alcanzó 1.69 gramos. Ambos tipos de fertilización fueron estadísticamente diferentes entre sí, así como también con el testigo sin fertilización y con el tratamiento en base a fertilización granulada, los que rindieron 1.33 y 1.21 g/planta, respectivamente.

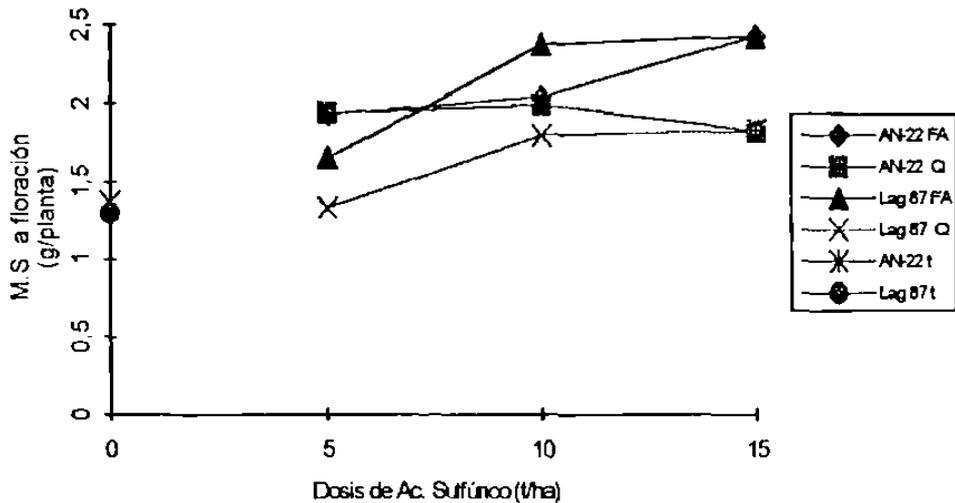


Figura 2. Materia seca en la etapa de floración por variedad, dosis de ácido sulfúrico y tipo de fertilización. Primavera de 1997.

Cabe destacar que aplicar la fórmula 90-60-00 con fertilizantes granulados y el tratamiento testigo sin fertilizar, dieron estadísticamente el mismo resultado. Probablemente, a esto se deba, que algunos experimentos de fertilización en la zona no hayan detectado una respuesta a los fertilizantes granulados.

El uso de fertilizantes de reacción ácida podría ser una mejor alternativa, sobre todo en cultivos rentables como las hortalizas, donde se requiere acumulación de materia seca, como los rendimientos obtenidos en brócoli y reportados por Vázquez (1992), en donde los fertilizantes ácidos fueron una mejor opción con respecto a los granulados.

Por último, mayor materia seca (rendimiento biológico) no implica necesariamente un mayor rendimiento económico (rendimiento de grano); aquí entra en juego la eficiencia del genotipo para traslocar los fotosintetizados de la parte biológica a la económica, como se verá más adelante.

4.1.3 Fe total en la planta (ppm)

El contenido medio de Fe total en la planta se presenta en el Cuadro 12 y el análisis de varianza, en el Cuadro 7A del Apéndice. No se detectaron diferencias significativas entre los niveles de factores en estudio, teniéndose una R^2 de 0.54, un coeficiente de variación elevado del 50.8% y una media general de 546.9 ppm de Fe en la planta.

La falta de significancia podría deberse a que no hubo diferencias importantes en la etapa en que se realizó el muestreo (madurez fisiológica), o bien, a que las condiciones generales del cultivo (principalmente la humedad), facilitaron la absorción del Fe en todos los tratamientos. Por otra parte, la igualdad estadística pudo ser el resultado de un alto coeficiente de variación, que no permitió se mostraran como significativas, las diferencias observadas.

En general los valores de Fe total en la planta se mostraron altos, lo que corrobora la ausencia de clorosis visual en los tratamientos. Estos valores de Fe en la planta son considerados por Benton (1983), como elevados, pues señala como

cantidades suficientes para Fe de 50-250 ppm, aunque apunta como cantidad no conocida el nivel excesivo o tóxico.

Cuadro 12. Medias de contenido de Fe total en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Etapa fenológica	Variedades	Fe (ppm)	H ₂ SO ₄ t/ha	Fe (ppm)	Tipo de Fertilización	Fe (ppm)
Madurez fisiológica	Lagunero 87	579.05	5	585.12	Fe-EDTA	568.7
			10	547.00	Granulada	562.9
	AN-22	516.34	0	546.19	Ácida	530.6
			15	510.06	Sin Fert.	509.3
	DMS =124.5			DMS=184.1		DMS=220.0

El análisis de la planta en esta etapa fenológica, aún cuando no presentó diferencias de Fe por dosis de H₂SO₄ y tipo de fertilización, sí permitió apreciar la capacidad de los genotipos para tomar el Fe del suelo, el cual fue puesto disponible por el buen contenido de humedad que hubo durante el desarrollo del experimento (Cuadro 23A del Apéndice).

4.1.4 Cu en la planta (ppm)

Los factores que tuvieron influencia en la cantidad de cobre en el tejido de la planta fueron el tipo de fertilización dada al cultivo ($p < 0.01$) y los niveles de ácido que se aplicaron al suelo ($p < 0.01$). El análisis de varianza (Cuadro 8A del Apéndice), indican un coeficiente de variación de 11.4% y una media general de 29.25 ppm de cobre.

La comparación de medias (Cuadro 13) indica que el contenido de cobre en la planta fue estadísticamente igual para las variedades, no así para las dosis de H_2SO_4 , con una leve tendencia a incrementarse conforme se aumentaron los niveles de ácido en el suelo.

Cuadro 13. Medias de contenido de cobre en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Etapa Fenológica	Variedades	Cu (ppm)	H_2SO_4 t/ha	Cu (ppm)	Tipo de Fertilización	Cu (ppm)
Maduración Fisiológica	Lagunero 87	29.31	15	31.12 a	Granulada	32.75 a
			10	30.50 a	Fe-EDTA	30.16 a b
	AN-22	29.19	5	28.81 a b	Ácida	28.72 b
			0	27.91 b	Sin Fert.	24.25 c
		DMS =1.49		DMS=2.21		DMS=2.64

Las diferentes dosis de H_2SO_4 fueron estadísticamente iguales entre sí, con valores de 31.12, 30.5 y 28.81 ppm de cobre, para los niveles de 15, 10 y 5 t/ha, respectivamente. La dosis menor de 5 t/ha, fue estadísticamente igual al testigo, que obtuvo 27.91 ppm. Por otra parte, fertilizar el cultivo incrementó los niveles de Cu en la planta registrándose 32.75 ppm para los fertilizantes granulados, 30.16 ppm con Fe-EDTA y 28.72 con los fertilizantes de reacción ácida. El testigo sin fertilización tuvo los contenidos más bajos en la planta con solo 24.25 ppm de Cu.

Los niveles de cobre analizados en la planta se consideran adecuados por Benton (1983), quien indica que concentraciones de cobre entre 20 y 100 ppm son

suficientes para la planta. Las cantidades de Cu presentes en la planta no interfirieron con la absorción del Fe por la misma, debido a los altos contenidos de hierro en el vegetal (Cuadro 12). Lo anterior va en contra de Wallace and Dekock (1966), quienes mencionan respecto a que el Cu tiene mayor potencialidad que el Mn para inducir clorosis férrica en la planta. A este respecto, Tisdale y Nelson (1970) señalan que más que la cantidad de cobre presente en la planta, la relación que éste guarde con respecto a otros metales pesados reviste mayor importancia para el funcionamiento de la planta.

4.1.5 Mn en la planta (ppm)

Las cantidades de Mn en la planta estuvieron influenciadas en forma altamente significativa por las dosis de ácido sulfúrico aplicadas al suelo ($p < .01$); así como también para el factor variedades y tipo de fertilización (Cuadro 9A del Apéndice). La comparación de medias por Duncan (5%), se muestra en el Cuadro 14.

El contenido de Mn en la planta (Figura 3), se correlacionó de manera inversa (Cuadro 25A del Apéndice) con respecto a las dosis de ácido aplicadas al suelo ($r = -0.72$ ***). Ambas variedades disminuyeron sus contenidos de Mn conforme se incrementó la dosis de H_2SO_4 . El genotipo AN-22 con fertilización ácida, registró 99.5 ppm en el nivel más bajo de ácido (5 t/ha), abatiéndose a 64 ppm de Mn en la mayor

dosis de 15 t/ha. Con el quelato Fe-EDTA, anotó 88.5, 75 y 47 ppm de Mn, en las dosis de 5, 10 y 15 t/ha de H₂SO₄, respectivamente.

Cuadro 14. Medias para manganeso en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Etapa Fenológica	Variedades	Mn (ppm)	H ₂ SO ₄ t/ha	Mn (ppm)	Tipo de Fertilización	Mn (ppm)
Maduración Fisiológica	Lagunero 87	107.54 a	0	127.56 a	Granulada	146.50 a
			5	100.37 b	Sin Fert.	128.00 b
	AN-22	94.24 b	10	81.94 c	Ácida	94.97 c
			15	66.19 d	Fe-EDTA	88.22 c
		DMS = 9.99		DMS= 14.78		DMS= 17.23

En Lagunero 87, la tendencia a la baja en el contenido de Mn al incrementarse los niveles de ácido, fue muy parecida. Los valores para fertilización ácida fueron de 117.25, 80.50 y 70.75 ppm; para la fertilización con Fe-EDTA de 96.25, 97.25 y 83.00 ppm de Mn, en las dosis de 5, 10 y 15 t/ha, respectivamente.

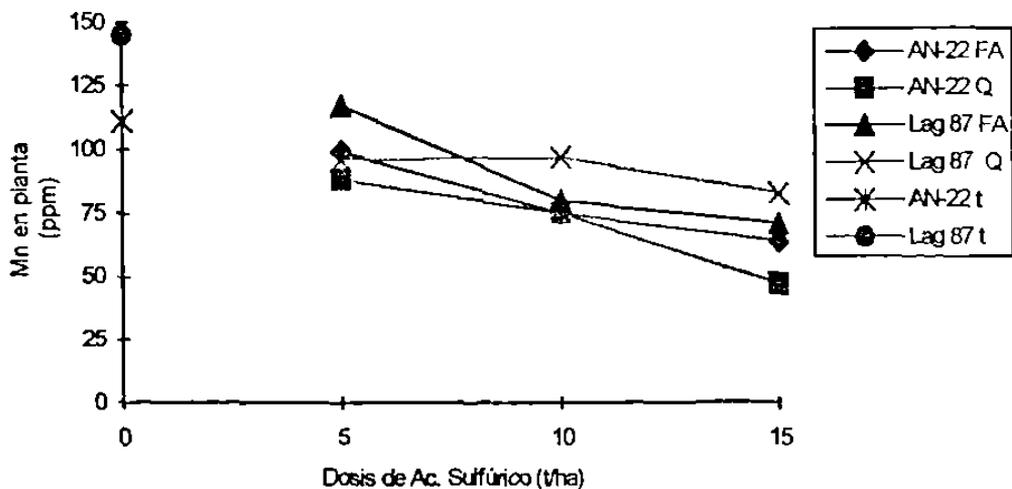


Figura 3. Contenidos de manganeso en la planta (ppm) por variedad, dosis y tipos de fertilización. Primavera de 1997.

Tomando como base la tendencia observada para las dosis de H_2SO_4 y el contenido de Mn en la planta, se podría inferir que la variedad AN-22 tuvo mayor capacidad para acidificar el entorno donde desarrollaban sus raíces, el cual es un mecanismo que favorece la absorción del Fe por la planta (Romera y Díaz, 1990), principal competidor del Mn por localizaciones metabólicas (Mengel and Kirkby, 1982) sin embargo, se requerirá llevar a cabo un trabajo experimental con esta variedad y con este mismo tipo de suelo para comprobar la hipótesis.

Por otra parte, esta respuesta de la planta a disminuir el contenido de Mn al incrementarse los niveles de ácido en el suelo, puede deberse a una mayor solubilidad del fierro como respuesta a una disminución en el pH y que la planta, al tener Fe disponible, lo acumulara en su tejido en cantidades suficientes para no exhibir síntomas de deficiencia, sin embargo, al bajar el pH en el suelo, las cantidades de Mn tienden también a incrementarse, quedando solo la posibilidad de que la planta tuviera cierta selectividad para absorber Fe^{2+} en lugar de Mn^{2+} .

De esta forma, la dosis menor de H_2SO_4 (5 t/ha) bajaría relativamente poco el pH del suelo, por tanto habría menos Fe disponible para la planta y ésta tenderá a sustituir Fe^{2+} por Mn^{2+} para llevar a cabo sus funciones metabólicas (Mengel and Kirkby, 1982), puesto que en la fertilidad natural del suelo en estudio, el Mn es más abundante que el Fe. De manera inversa, al aumentarse los niveles de ácido (15t/ha), se disminuye en forma altamente significativa el pH del suelo ($r = -0.57^{***}$; Cuadro 26A), y se incrementa el Fe total ($r = -0.34^{***}$).

4.1.6 Zn en la planta (ppm)

En el Cuadro 10A del Apéndice se presenta el análisis de la varianza para el Zn en la planta. Aún cuando se tuvo un coeficiente de variación elevado (68.8%), se detectaron diferencias significativas para las Dosis y las variedades en estudio ($p < .05$). El valor de R^2 fue de 0.40 y una media general de 12.96 ppm de Zn. Las medias comparadas por Duncan (5%) se exponen en el Cuadro 15.

En la Figura 4 se muestra el comportamiento de las variedades en relación al contenido de Zn en la planta, dosis de H_2SO_4 y tipo de fertilización. En los testigos sin aplicación, el mayor contenido de Zn en la planta fue para Lagunero 87 con 10.0 ppm de Zn. El testigo AN-22 fue el tratamiento con el contenido más bajo, solo 4.75 ppm, sin embargo, rápidamente incrementó sus contenidos con la aplicación de 5 ton/ha de ácido sulfúrico, tanto en fertilización ácida como con el quelato Fe-EDTA, a 22.75 y 17.0 ppm de Zn. El genotipo AN-22 con fertilizantes ácidos, mantiene los contenidos de zinc en planta al pasar de 5 a 10 t/ha, disminuyéndolos posteriormente a 7.5 ppm en la dosis mayor. Con Fe-EDTA, se reduce ligeramente el zinc en el tejido vegetal al incrementarse de 5 a 10 t/ha, para elevarse a 20.0 ppm al adicionar 15 t/ha de ácido sulfúrico.

El zinc se aumenta en la variedad AN-22, al bajarse ligeramente el pH del suelo por aplicación de una dosis baja de sulfúrico (5 t/ha). Cuando continúa acidificándose el suelo (10 t/ha), su valor se mantiene. Por último disminuye, probablemente a una competencia con otros metales, o bien, pasa a formar parte de

compuestos poco solubles (Baker and Cihacek, 1983) y por tanto poco aprovechables para la planta.

Cuadro 15. Medias de contenido de zinc en la planta por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Etapa Fenológica	Variedades	Zn (ppm)	H ₂ SO ₄ t/ha	Zn (ppm)	Tipo de Fertilización	Zn (ppm)
Maduración Fisiológica	AN-22	14.98 a	15	16.44 a	Granulada	15.25
			5	14.94 a b	Ácida	13.59
	Lagunero 87	10.85 b	10	14.81 a b	Fe-EDTA	13.16
			0	9.31 b	Sin Fert.	7.37
		DMS = 4.00		DMS = 5.91		DMS = 8.07

En Lagunero 87 , aun cuando el incremento relativo fue menor, los mayores contenidos se dieron al pasar de una dosis de 10 a 15 t/ha de ácido sulfúrico, con valores para los fertilizantes ácidos de 8.0 y 15 ppm de Zn; para la fertilización con quelatos, de 13.75 a 16.75 ppm, respectivamente. Estos valores se consideran bajos en relación a los reportados por Baker and Cihacek (1983), quienes indican como contenidos promedio en la planta de 30 a 50 ppm, lo que podría ser resultado del alto contenido de arcilla, o bien, de un pH por encima de 6 como lo establecen dichos autores.

Por último, la mayor longitud de la planta en la variedad AN-22, puede deberse a una mayor cantidad de Zn en el tejido (Cuadro 15). Asimismo, AN-22 debido a su hábito de crecimiento indeterminado y al mayor contenido de zinc en la planta,

continuaba la producción de vainas hasta el momento de la cosecha (82 días de la siembra), característica no deseable en una agricultura comercial.

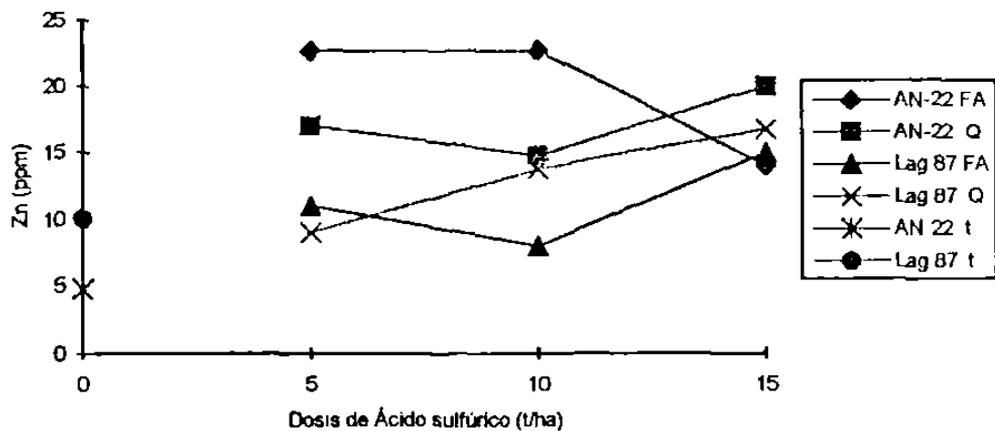


Figura 4. Contenido de zinc en la planta (ppm) por variedad, dosis y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Este comportamiento del genotipo pudo ser influido por el contenido de zinc en la planta, pues como menciona Baker and Cihacek (1983), este elemento es necesario para la formación de ciertas hormonas del crecimiento.

4.1.7 Longitud de la planta (cm)

En el Cuadro 11A del Apéndice se presenta el análisis de la varianza para esta característica. Se detectaron diferencias altamente significativas entre las variedades

en estudio ($p < 0.01$), el tipo de fertilizantes utilizados y la interacción entre variedad * tipos de fertilizantes ($p < 0.01$). La R^2 del modelo fue de 0.88, un coeficiente de variación del 17.9% y una longitud promedio general de 68.23 cm.

La Figura 5 muestra claramente las diferencias entre los genotipos. AN-22 incrementó su longitud de planta con respecto al testigo (87.4 cm), cuando se fertilizó con Fe-EDTA. La mayor longitud fue para 5 t/ha de H_2SO_4 y Fe-EDTA con 116.6 cm ; de 99.7 y 102.8 cm para las dosis de 10 y 15 t/ha de ácido. Se podría mencionar que la Fe-eficiencia de la variedad AN-22 fue factor determinante en el aprovechamiento del fierro aplicado en la fertilización con Fe-EDTA, no así para la fertilización ácida, cuya longitud fue muy similar a la del testigo, incluso menor (79.4 cm) en la dosis de 10 toneladas de ácido.

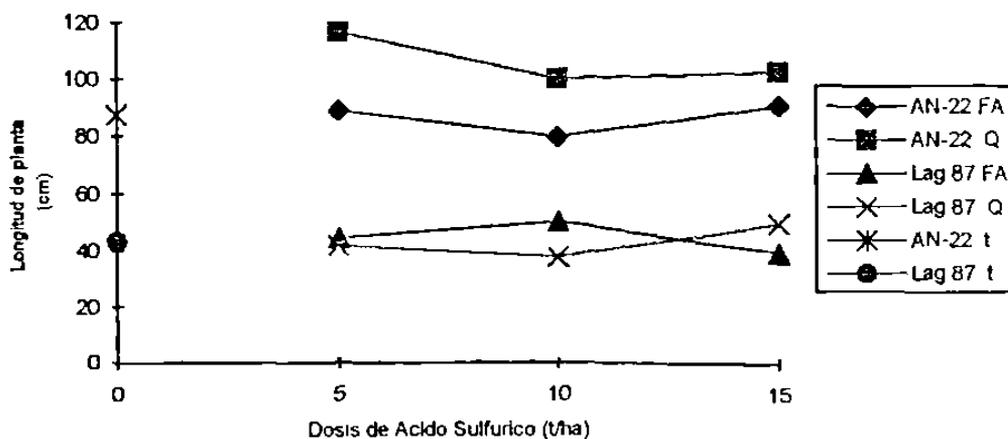


Figura 5. Longitud de la planta (cm) por variedad, dosis y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

En la variedad de frijol Lagunero 87, los tratamientos fueron muy parecidos, así se tiene que con fertilizantes ácidos la longitud para el testigo fue de 43.17 cm, en tanto que para las dosis de 5, 10 y 15 t/ha, el largo de la planta fue 44.42, 49.92 y 39.42 cm. Fertilizado con Fe-EDTA, el porte de la planta para el tratamiento testigo de Lagunero 87 (43.17 cm), fue similar al que obtuvieron las dosis de 5 y 10 t/ha de H₂SO₄, con 37.50 y 49.47 cm, respectivamente.

Se puede concluir que aún cuando ambos genotipos son de hábito de crecimiento indeterminado, se dieron diferencias altamente significativas entre las variedades, y que la significancia con los tipos de fertilización, principalmente se presentó en AN-22 quien pudo aprovechar mejor la acidez del suelo y disponibilidad del hierro (fertilización con Fe-EDTA), para una mayor acumulación de materia seca a madurez fisiológica, como se pudo apreciar en el Cuadro 11.

4.1.8 Rendimiento de grano (g/planta)

El Análisis de Varianza para esta característica, Cuadro 12A del Apéndice, detecta diferencias altamente significativas para el factor variedades y dosis ($p < .01$). El coeficiente de variación fue de 19.8%, con una media general de 15.31 g/planta. Las medias de tratamiento por factor se presentan en el Cuadro 16.

En forma general, Lagunero 87 dio el mayor peso de grano con 16.40 g/planta y fue estadísticamente diferente al genotipo AN-22 que obtuvo 14.27 gramos. Se

tuvo una relación directa ($r = 0.28^{**}$) a incrementarse el rendimiento de grano conforme se elevaba la dosis de ácido. No se tuvieron diferencias significativas entre los niveles de H_2SO_4 , solamente de estos con el tratamiento testigo.

Cuadro 16. Medias de rendimiento de grano por variedad dosis de ácido y tipo de fertilizante. Primavera de 1997.

Variedades	g/planta	H_2SO_4 t/ha	g/planta	Tipo de Fertilización	g/planta
Lagunero 87	16.40 a	15	16.73 a	Fe-EDTA	16.34 a
		10	16.36 a	Ácida	15.33 a b
AN-22	14.27 b	5	16.07 a	Granulada	13.26 b
		0	13.71 b	Sin Fert.	13.21 b
	DMS = 1.36		DMS= 2.01		DMS= 2.41

En la Figura 6 se presentan con más detalle las tendencias en el rendimiento de grano en ambas variedades. Los dos genotipos incrementaron su rendimiento al aplicarse H_2SO_4 al suelo, solo AN-22 fertilizado con quelatos, tuvo una tendencia a disminuirlos. AN-22 con Fe-EDTA y dosis de 5 t/ha de ácido, dio el mayor peso de grano para la variedad con 17.36 g/planta. en los niveles de 10 y 15 t/ha de H_2SO_4 sus rendimientos bajaron a 15.94 y 15.22 g/planta. La fertilización ácida elevó los rendimientos de grano conforme subían los niveles de H_2SO_4 . Para la dosis menor la producción de grano fue de solo 12.99 g/planta, 14.22 y 16.41 g/planta para 10 y 15 t/ha, respectivamente. El testigo AN-22 tuvo los rendimientos de grano más pobres con solo 11.38 g/planta.

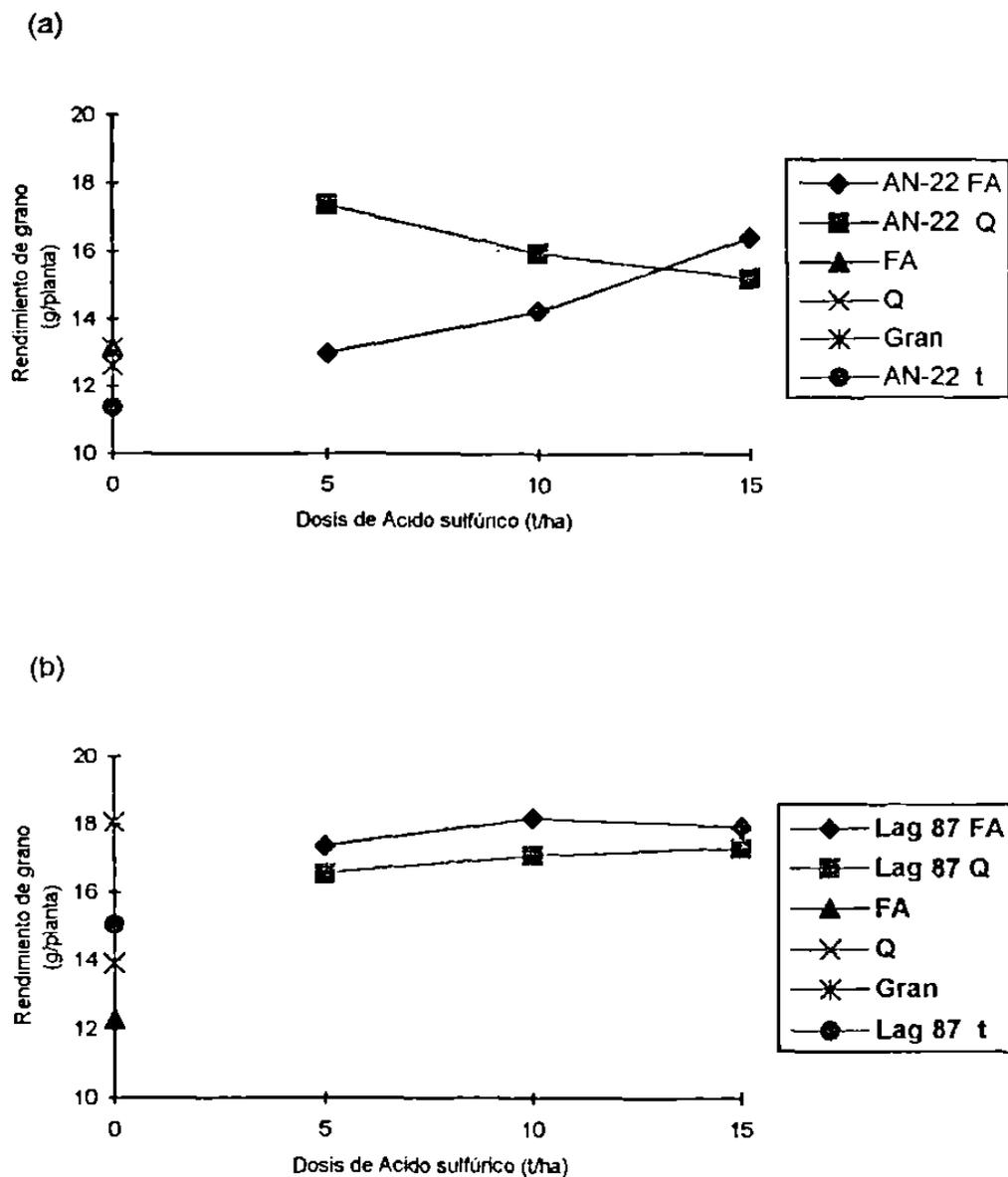


Figura 6. Rendimiento de grano (g/planta) por variedad, dosis de ácido sulfúrico y tipo de fertilización. Primavera de 1997.

La fertilización ácida (aplicación de la fórmula 90-60-0 con urea ácida y ácido fosfórico), aplicación de quelatos (5.6 Kg/ha) y la fertilización granulada convencional

(90-60-0 con urea y super fosfato de calcio triple), elevaron solo levemente el rendimiento de grano del frijol, en relación al testigo de AN-22, a 13.19 (15.9%), 13.17 (15.7%) y 12.62 (10.9%) g/planta, esto, cuando no se hicieron aplicaciones de H_2SO_4 .

El rendimiento de grano en Lagunero 87 (Figura 6), cuando se aplicó ácido, fue muy similar en ambos tipos de fertilización, con ligera superioridad para la fertilización ácida, que registró 17.36, 18.18 y 17.94 g/planta, en las dosis de 5, 10 y 15 t/ha. Los incrementos con respecto al testigo fueron de 15.4%, 20.9% y 19.3%, respectivamente. La fertilización con quelatos (Fe-EDTA) rindió 16.55, 17.08 y 17.33 g/planta en el nivel bajo, intermedio y alto de H_2SO_4 , respectivamente. Estas producciones superaron al testigo de Lagunero 87 sin aplicación, en un 10, 13.6 y 15.2 por ciento.

Es importante señalar los rendimientos de éste genotipo sin dosis de ácido sulfúrico, fertilizado solo con quelato Fe-EDTA, que alcanzó una producción de 18.06 g/planta (20.1% superior al testigo), rendimientos tan altos que permitirían eliminar, para éste genotipo, el costo que representa adicionar al suelo 10 t/ha de H_2SO_4 y los efectos colaterales que ello conlleva, como una potencial salinidad del suelo y la rápida oxidación de la materia orgánica.

Por otra parte, los rendimientos más bajos se presentaron al aplicar la fórmula 90-60-00 con fertilizantes ácidos y granulados, sin carga de ácido sulfúrico, con 12.30 y 13.91 g/planta, ambos inferiores a los rendimientos del testigo sin fertilización que obtuvo 15.04 g/planta.

En base a los resultados anteriores, el genotipo AN-22, para incrementar su rendimiento, requiere dosis de 5 t/ha de H_2SO_4 , dosis mayores, aunadas a una fertilización ácida, presentaron cierta toxicidad en las primeras hojas del frijol, esto probablemente como resultado de un incremento en las sales solubles del suelo. Estos síntomas (arrugamiento en la orilla de la hoja) tendieron a desaparecer con el tiempo, debido posiblemente a una lixiviación de dichas sales, por los riegos que se aplicaron a las macetas.

Las dosis de ácido sulfúrico de 5 t/ha para alcanzar el rendimiento máximo en la variedad AN-22, son inferiores a los reportados en sorgo por Nefae and O'Connor (1978), quienes mencionan como las mejores para alcanzar máximos rendimientos, valores de 11.2 y 22.4 t/ha, en suelos de Nuevo México, sin embargo, éstos niveles concuerdan con los requeridos para Lagunero 87 que obtuvo su producción máxima a las 10 t/ha.

Por otra parte, en la variedad Lagunero 87, la igualdad que se presentó entre el tratamiento fertilizado solo con quelato Fe-EDTA y el tratamiento con mayor producción de grano (fertilización ácida + 10 t/ha de H_2SO_4), concuerda con lo reportado por Nefae and O'Connor (1978) quienes indican que cuando se comparó el rendimiento de las macetas tratadas tanto con ácidos como con quelatos, desapareció el efecto del ácido.

Los resultados anteriores indican que para resolver el problema de clorosis en frijol, algunas líneas de investigación pudieran ser la evaluación de variedades, evaluar tanto técnica como económicamente, los requerimientos de ácido sulfúrico al

suelo, o bien, como en el presente ensayo, determinar si el ácido puede sustituirse con algún tipo de quelato sin reducciones en el rendimiento.

En variedades, debido a que como se presentó en el experimento, la variedad AN-22 considerada como Fe-eficiente y que efectivamente presentó una mayor absorción de hierro y por tanto mayor acumulación de materia seca (Cuadro 11), no pudo convertir estos fotosintetizados en un mayor rendimiento económico como se mostró en el Cuadro 16 .

El genotipo Lagunero 87, considerado como Fe-deficiente, al presentarse una precipitación pluvial de 243 mm durante la ejecución del experimento, no exhibió síntomas de clorosis, así lo indican los resultados mostrados en el Cuadro 9 en cuanto al contenido de clorofila al momento de la floración. Aún cuando su acumulación de materia seca fue menor, como se aprecia en el Cuadro 11, con respecto de AN-22, su conversión de materia seca total a grano es bastante alta, que a final de cuentas es lo que interesa al productor.

4.2 Experimento de Verano

4.2.1 pH

Los factores que influyeron sobre los valores de pH del suelo fueron las dosis de ácido ($p < .01$), las interacciones variedad * dosis y variedad * tipo de fertilizantes, asimismo la interacción variedad * dosis * tipo de fertilizantes (Cuadro 13A del

Apéndice). El coeficiente de variación fue de 1.5% y el promedio general fue de 7.54. Las medias comparadas por Duncan (5 %), se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Medias de de pH del suelo por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedad	pH	H ₂ SO ₄		Tipo de Fertilización	
		t/ha	pH		pH
Lag- 87	7.55	0	8.02 a	Sin Fert.	8.02 a
		10	7.54 b	Fe-EDTA	7.47 b
AN-22	7.54	5	7.44 c	Ácida	7.45 b
		15	7.40 c		
DMS = 0.06		DMS= 0.09		DMS=0.08	

No se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las variedades de frijol. El mayor pH se presentó en la variedad Lagunero 87 con 7.55, mientras AN-22 tuvo en promedio 7.54 (Cuadro 17). Como se observa en la Figura 7, el pH del suelo se disminuyó en ambas variedades indistintamente del tipo de fertilización empleada, de esta forma, AN-22 y Lagunero 87 con fertilizantes ácidos registraron un pH de 7.35 y 7.47 ; de 7.40 y 7.55 con Fe-EDTA, en dosis de 5 t/ha de H₂SO₄.

En la dosis de 10 t/ha, el pH se incrementa ligeramente en AN-22, así para los fertilizantes de reacción ácida fue de 7.57 en tanto que con quelato Fe-EDTA el valor fue de 7.62. Lagunero 87, en este nivel de H₂SO₄, con fertilizantes ácidos tomó valores de 7.47 y de 7.50 con Fe-EDTA. Finalmente, la dosis más alta de ácido (15 t/ha) bajó nuevamente el pH a valores cercanos a la neutralidad. AN-22 y quelatos registró 7.25, mientras que con fertilizantes ácidos, mantuvo el pH más alto (7.56)

para ésta dosis. Lagunero 87 con fertilizantes ácidos exhibió el valor más bajo de pH con solo 7.22.

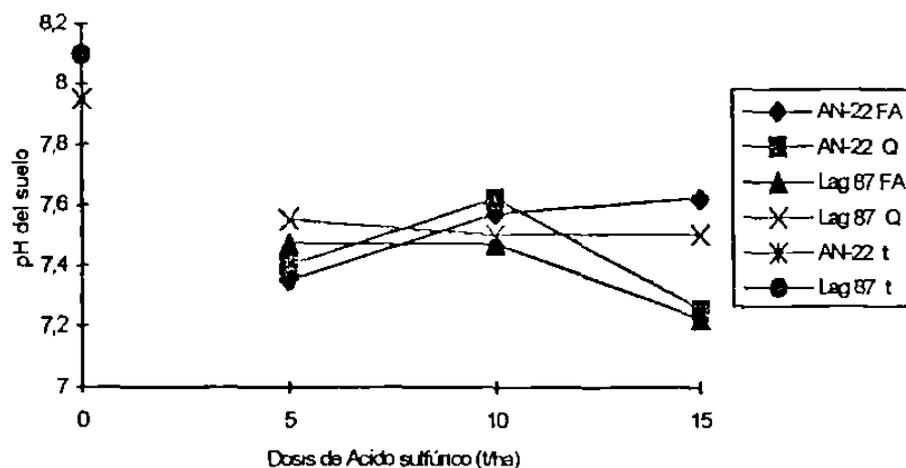


Figura 7. pH del suelo con diferentes dosis de H₂SO₄ por variedad y tipo de fertilizantes. Verano de 1997.

Como se mostró anteriormente, el pH se disminuyó en casi una unidad con respecto a los testigos, en los tratamientos 6 y 11, esto a los 40 días de la aplicación del H₂SO₄. Éste período de tiempo fue suficiente para mantener los micronutrientes solubles y disponibles para la planta, si se toma en cuenta que la floración del cultivo fue de los 40 a los 46 días, siendo ésta fase vegetativa, la de mayor actividad en la absorción de nutrientes.

Los resultados anteriores concuerdan con lo reportado por Stromberg y Tisdale (1979) quienes mencionan que los efectos del ácido sulfúrico en la disminución del pH del suelo, son inmediatos. Las dosis de ácido estudiadas en el presente trabajo,

disminuyeron el pH del suelo y aún cuando no lo llevaron a valores óptimos de 6.0 a 6.8 (Mortvedt *et al.* 1983), éste se ubicó muy cercano a la neutralidad y se mantuvo así durante los primeros 40 días después de la siembra.

En cuanto al tiempo que se mantuvo el pH relativamente bajo, el período en el experimento fue menor (40 días) al reportado para los suelos de Nuevo México por Nefae y O'Connor (1978), que mencionan que aún después de 90 días, el pH con cargas de 11.2 y 22.4 t/ha, se mantuvo por abajo del testigo, aún cuando 11.2 t/ha lo hizo muy ligeramente.

Lo anterior permite concluir una mayor capacidad amortiguadora de los suelos, que se utilizaron en el presente trabajo, que les permite volver más rápidamente a su pH original.

4.2.2 CE (dS/m)

La conductividad eléctrica (CE) estuvo influenciada en forma altamente significativa por las dosis de H_2SO_4 aplicadas al suelo (Cuadro 14A del Apéndice). El valor de R^2 fue de 0.75, un coeficiente de variación de 23.5% y una media general de 2.92 dS/m.

Las variedades no mostraron diferencias estadísticas significativas para ésta característica, teniéndose para AN-22 una conductividad de 2.99 y para Lagunero 87 un valor de 2.85 dS/m. La CE tuvo una correlación positiva ($r = 0.76^{***}$) con las cargas de ácido evaluadas, cuyos valores fueron de 2.77, 3.29 y 3.77 dS/m (Cuadro 18) para

los niveles de 5, 10 y 15 t/ha, respectivamente. El suelo sin aplicación de H₂SO₄ mostró una CE de 0.76 dS/m.

Cuadro 18. Medias de CE del suelo (dS/m) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedad	CE (dS/m)	H ₂ SO ₄ t/ha	CE (dS/m)	Tipo de Fertilización	CE (dS/m)
AN-22	2.99	15	3.77 a	Ácida	3.36 a
		10	3.29 a b	Fe-EDTA	3.20 a
Lag- 87	2.85	5	2.77 b	Sin Fert.	0.76 b
		0	0.76 c		
DMS = 0.37		DMS= 0.55		DMS= 0.52	

Los tipos de fertilización fueron estadísticamente diferentes solo con respecto al testigo. Las dosis de H₂SO₄ incrementaron en diferentes grados la conductividad eléctrica del suelo, mostrando una tendencia lineal positiva (Figura 8). La variedad de frijol AN-22 con fertilización ácida, tuvo una CE de 2.52, 3.72 y 4.02 dS/m, cuando se aplicaron niveles de ácido de 5, 10 y 15 t/ha, respectivamente.

En la variedad Lagunero 87, el incremento positivo en la CE se presentó, tanto con fertilizantes ácidos como con Fe-EDTA, obteniéndose valores en la CE de 2.80, 3.30 y 3.77 dS/m con el primer tipo de fertilizantes, y 2.57, 2.95 y 3.90 con quelatos, estas conductividades con 5, 10 y 15 t/ha de ácido, respectivamente. La adición de H₂SO₄ con fertilizantes ácidos, incrementó en forma significativa la CE del suelo, en ambos genotipos.

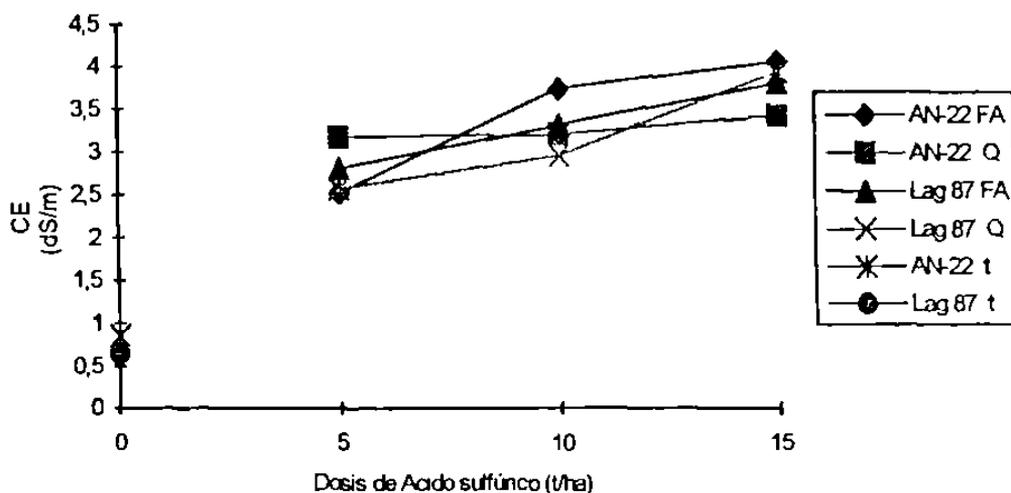


Figura 8. Efecto de las dosis de ácido sulfúrico (t/ha) en el comportamiento de la conductividad eléctrica del suelo; profundidad 0-5 cm.

Los resultados anteriores concuerdan con los de Khorsandi (1994), quien encontró incrementos en la conductividad eléctrica del suelo al aplicar distintos porcentajes de ATB, atribuyendo este incremento a los efectos ácidos del pH que disolvieron el CaCO_3 del suelo. Resultados similares obtuvieron Nefae and O'Connor (1978) al utilizar ácido sulfúrico en suelos de Nuevo México, al reportar valores de CE de 2.5 a 15 dS/m, en niveles de 11.2 y 22.4 t/ha, respectivamente.

En el presente estudio, aún cuando no se probaron dosis tan altas de H_2SO_4 como las evaluadas por Nefae and O'Connor (1978), los niveles de hasta 15 t/ha elevaron la CE del sustrato hasta un valor de 4 dS/m, tomado éste como un valor crítico, por encima del cual, el rendimiento de los cultivos sensibles a las sales se restringe.

Lo anterior indica que ésta carga (15 t/ha) ubica la CE en el nivel crítico de posible salinidad, sin embargo, habría que tomar en cuenta la cantidad de agua que deberá aplicarse al suelo para precipitar las sales que se generen por acción del ácido, como bien lo menciona Khorsandi (1994) al señalar que la salinidad resultante de la aplicación del ácido, requiere de un esquema apropiado en el manejo del riego; sobre todo en la fase de germinación de la semilla, donde las sales presentes en el suelo podría inhibirla.

4.2.3 P en el suelo (ppm)

Las diferencias en la concentración del P en el suelo fueron altamente significativas para el tipo de fertilización aplicada al cultivo y las dosis de H_2SO_4 ($p < 0.01$). Asimismo, resultaron significativas ($p < .05$) para el factor variedades, como se presenta en el Cuadro 15A de Apéndice. El coeficiente de variación fue del 15.3% y la media general del experimento de 7.86 ppm de fósforo. Las medias comparadas por Duncan (5%), se muestran en el Cuadro 19.

El genotipo AN-22 mostró concentraciones de 8.21 ppm de P, diferentes a las 7.50 ppm que tuvo Lagunero 87. La fertilización ácida con 8.21 ppm de P, fue diferente a la fertilización con Fe-EDTA (7.17 ppm); a su vez, la fertilización ácida fue ligeramente inferior al tratamiento testigo, sin aplicación de fertilizantes, que registró 8.87 ppm de fósforo.

Cuadro 19. Medias de contenido de P del suelo (ppm) por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedad	P (ppm)	H ₂ SO ₄ t/ha	P (ppm)	Tipo de Fertilización	P (ppm)
AN-22	8.21 a	0	8.87 a	Sin Fert.	8.87 a
		5	8.19 a b	Ácida	8.21 a
Lag- 87	7.50 b	10	7.81 b c	Fe-EDTA	7.17 b
		15	7.06 c		
	DMS =0.65		DMS=0.96		DMS=0.91

Como se aprecia en la Figura 9, ambos gentipos mostraron niveles de P diferentes con los distintos tipos de fertilizantes. Los fertilizantes ácidos en AN-22 mostraron siempre mayores concentraciones de P en el suelo al compararse con Fe-EDTA; incrementándose dichas diferencias al aumentar la cantidad de ácido aplicado al suelo. De esta forma para AN-22 y fertilizantes ácidos, las concentraciones fueron de 9.0, 8.75 y 8.50 ppm; con quelatos de 8.25 7.25 y 6.75 ppm de P en dosis de 5, 10 y 15 t/ha de H₂SO₄, respectivamente.

Lagunero 87 presentó concentraciones con fertilizantes ácidos de 7.50 (5t/ha) y 7.75 ppm de P con 10 y 15 t/ha de H₂SO₄. Esta variedad con quelatos tuvo 8.00, 7.50 y 5.25 ppm de P, con 5, 10 y 15 t de ácido, respectivamente. Los tratamientos testigo de AN-22 y Lagunero 87, registraron 9.0 y 8.75 ppm de P en el suelo.

Las cantidades de P en el suelo se ubicaron entre el nivel crítico y deficiente (Rodríguez, 1997) para todos los tratamientos. Los resultados indican como el fósforo

presenta diferentes tendencias con los distintos tipos de fertilizantes empleados, sobre todo cuando se aplicó la mayor dosis de ácido sulfúrico. Las cantidades más altas de P con fertilizantes ácidos en el presente experimento, concuerdan con los resultados obtenidos por Ryan and Stroehlein (1973), quienes apuntan que todos los tratamientos con ácido sulfúrico incrementaron el crecimiento y la absorción del P en las plantas de tomate, sugiriendo que éste técnica es efectiva para incrementar la disponibilidad de fosfatos en áreas con suelos calcáreos y alcalinos.

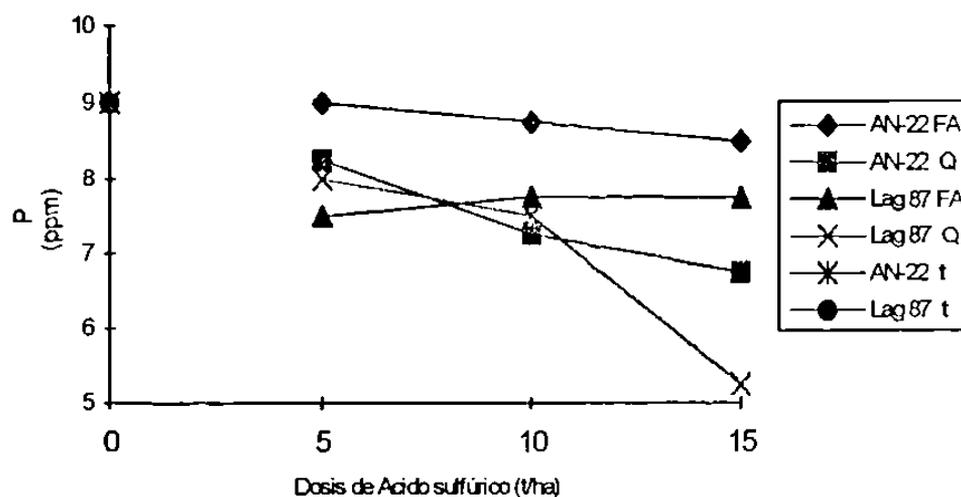


Figura 9. Comportamiento del P en el suelo (ppm) con diferentes cargas de H_2SO_4 , variedades y tipos de fertilizantes. Verano de 1997.

La baja del P total en el suelo, en la dosis más alta de ácido (15 t/ha) y en los tratamientos con Fe-EDTA, concuerda con lo reportado por Khorsandi (1994), atribuyéndose tal tendencia a un incremento del P inorgánico residual como consecuencia del ácido, el cual, tiende a formar compuestos de fósforo poco solubles.

Lo anterior, pareciera estar apoyado en el presente trabajo, al suministrarse Fe en el quelato Fe-EDTA. De ésta manera, pudo haber formaciones inorgánicas con el P con menor solubilidad, como los fosfatos de hierro, que no pudieron ser disueltos por la solución extractora, utilizada en el laboratorio para determinar fósforo.

4.2.4 Fe total en el suelo (ppm)

El análisis de varianza señala que los factores que más influyeron la concentración del elemento en el suelo fueron las variedades, el tipo de fertilizantes ($p < 0.01$), y las dosis de ácido sulfúrico ($p < 0.05$); asimismo, las interacciones variedad * tipo de fertilizantes y variedad * dosis (Cuadro 16A del Apéndice).

Cabe resaltar los altos coeficientes de variación que se presentaron para Fe, sin embargo, aún así se presentaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Una posible razón para explicar estos altos coeficientes pudieran ser fallas metodológicas en la toma de la muestra, la cual se hizo directa de la maceta en lugar de haber hecho incubaciones en laboratorio, pudiendo de ésta manera, tomar manchones de suelo que desviarán los datos en un determinado sentido, descartándose fallas en las lecturas por el espectrofotómetro, pues al realizar las curvas de calibración para los elementos, las R^2 fueron siempre superiores a 0.98. La comparación de medias Duncan (5%), por factor en estudio, se presenta en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Medias de contenido de Fe del suelo (ppm), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedad	Fe (ppm)	H ₂ SO ₄ t/ha	Fe (ppm)	Tipo de Fertilización	Fe (ppm)
Lag- 87	14.82 a	15	15.44 a	Ácida	15.46 a
		5	8.44 a b	Fe-EDTA	4.54 b
AN-22	2.32 b	10	6.12 a b	Sin Fert.*	0.00 b
		0*	0.00 c		
DMS =6.88		DMS= 10.18		DMS=9.60	

* Cantidad no detectada por el aparato.

Las variedades de frijol presentaron diferencias significativas en las cantidades de Fe total en el suelo. Lagunero 87 tuvo concentraciones de 14.82 ppm, mientras que AN-22 registró solo 2.32. Fertilizar el cultivo con fertilizantes de reacción ácida, incrementó los contenidos de Fe en el suelo a 15.46 ppm. La fertilización con quelatos (4.54 ppm de Fe), fue similar al tratamiento testigo sin fertilizar que obtuvo cantidades de Fe no detectables (0 ppm), por el espectrofotómetro.

En Lagunero 87, las mayores concentraciones de Fe (49.5 ppm) se presentaron con fertilizantes ácidos en la dosis de 15 t/ha de H₂SO₄; valores de 15.0 y 16.7 ppm se obtuvieron con 5 y 10 t/ha de ácido. La fertilización con Fe-EDTA mantuvo bajo el contenido de Fe, sobre todo en la dosis de 10 t/ha, donde registró 1.75 ppm; 11.7 y 9.0 ppm con dosis de 5 y 15 t/ha, respectivamente.

El genotipo AN-22 exhibió cantidades ligeramente superiores para los fertilizantes ácidos, sin embargo, los distintos tipos de fertilizantes empleados fueron

estadísticamente iguales entre sí, incluso iguales al tratamiento testigo. De esta forma, los fertilizantes ácidos mostraron 2.25, 6.0 y 3.25 ppm de Fe total en el suelo, con dosis de 5, 10 y 15 t de H₂SO₄ por hectárea. Con Fe-EDTA los contenidos fueron de 4.75 ppm (5t/ha) y de 0 ppm (cantidades no detectables por el aparato), en dosis de 10 y 15 t/ha.

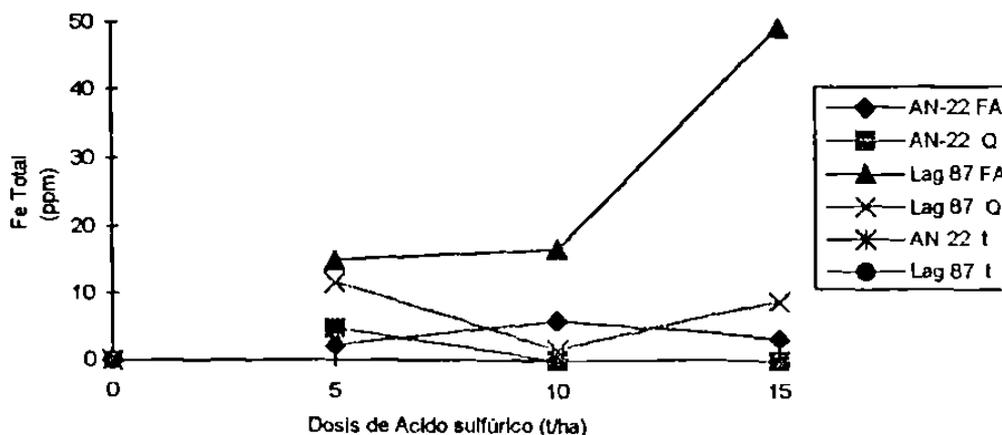


Figura 10. Contenido de Fe total en el suelo (ppm), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilización. Verano de 1997.

Los datos anteriores indican que el contenido de Fe en el suelo, se mantuvo entre un nivel deficiente y crítico (Rodríguez,1997) para AN-22 con ambos tipos de fertilizantes, así también, para Lagunero 87 fertilizado con Fe-EDTA. El Fe total en el suelo se incrementó con las dosis de ácido, lo que concuerda con Nefae and O'Connor (1978), que mencionan que el ácido incrementa en diferentes grados el Fe disponible en el suelo. En el genotipo Lagunero 87 con fertilizantes ácidos, aún cuando se incrementaron los niveles de Fe en el suelo al pasar de 0 a 5 t/ha, los

niveles considerados óptimos (Rodríguez, 1997; Loué, 1988) se presentaron al pasar de 10 a 15 t/ha de H_2SO_4 .

Ningún tratamiento de AN-22 alcanzó valores dentro del rango óptimo para la concentración de Fe en el suelo. Por otra parte, los mayores contenidos de Fe total para los fertilizantes de reacción ácida, en comparación con quelato Fe-EDTA, son una buena opción para incrementar los niveles de Fe en el suelo, estando en acuerdo con lo reportado por Vázquez (1994), quién indica que los fertilizantes ácidos son una mejor alternativa en este tipo de suelos en relación a los fertilizantes granulados.

Sin embargo, quedaría por experimentar si tanto técnica como económicamente, incrementar la fórmula de fertilización de 90-60-0 a cantidades mayores (por ejemplo, 120-90-0, o bien, 150-120-0), con fertilizantes ácidos como la urea ácida y el ácido fosfórico, adicionándose además los quelatos, se podría eliminar el efecto que produce la dosis de 15 t/ha de H_2SO_4 , sobre la rápida degradación de la materia orgánica del suelo, asimismo, el costo del ácido, de su transporte desde los centros de abasto al campo, y de su manejo en el agua de riego.

4.2.5 Cu en el suelo (ppm)

La concentración del cobre en el suelo estuvo en función de las variedades ($p < .05$) y las dosis de H_2SO_4 que se aplicaron al suelo ($p < .01$); los datos se muestran en el Cuadro 17A del Apéndice. El coeficiente de variación fue del 11.7 %, con una

media general de 8.25 ppm. Las comparaciones de medias por Duncan (5 %) se anotan en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Medias de contenido de Cu en el suelo (ppm), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedad	Cu (ppm)	H ₂ SO ₄ t/ha	Cu (ppm)	Tipo de Fertilización	Cu (ppm)
Lag- 87	8.57 a	5	8.81 a	Sin Fert.	8.62
		0	8.62 a b	Fe-EDTA	8.37
AN-22	7.93 b	10	8.00 b c	Ácida	8.00
		15	7.75 c		
DMS = 0.52		DMS= 0.77		DMS=0.73	

Lagunero 87 exhibió mayores contenidos de Cu en el suelo (8.57 ppm), en relación al genotipo AN-22 que presentó 7.93 ppm de Cu. Diferencias significativas se tuvieron en la dosis mayor de ácido (15 t/ha), cuyos valores fueron los más bajos con 7.75 ppm. Las dosis de 5 t/ha (8.81 ppm) y 10 t/ha (8 ppm), fueron estadísticamente iguales al testigo, aunque diferentes entre ellas. Los diferentes tipos de fertilizantes empleados, no tuvieron influencia significativa sobre los contenidos de Cu en el suelo.

En la Figura 11 se muestra como los contenidos de Cu en el suelo fueron disminuyendo conforme se incrementaron las dosis de H₂SO₄ al suelo, excepto para Lagunero 87 y fertilizantes ácidos, que en la dosis de 15 t/ha tuvo 8.75 ppm de Cu, 8.25 y 7.50 con 5 y 10 t/ha. Lagunero 87 con Fe-EDTA registró 9.50, 8.75 y 8.50 ppm con niveles de 5, 10 y 15 t/ha, respectivamente. La variedad AN-22, con fertilizantes ácidos, presentó 8.25, 8.00 y 7.25 ppm de Cu, mientras que con quelatos obtuvo

9.25, 7.75 y 6.50 ppm de cobre en el suelo, estas concentraciones con 5, 10 y 15 t/ha de ácido sulfúrico.

Las concentraciones del elemento en el suelo, se ubicaron dentro de los rangos óptimos según Rodríguez (1997), quien señala valores de 3 a 20 ppm. Debido a esto, no se presentó ningún problema relacionado con deficiencia o exceso de Cu en la planta, como lo reporta Wallace y Dekock (1966), quienes observaron en tabaco una fuerte clorosis de Fe inducida por Cu, en soluciones nutritivas.

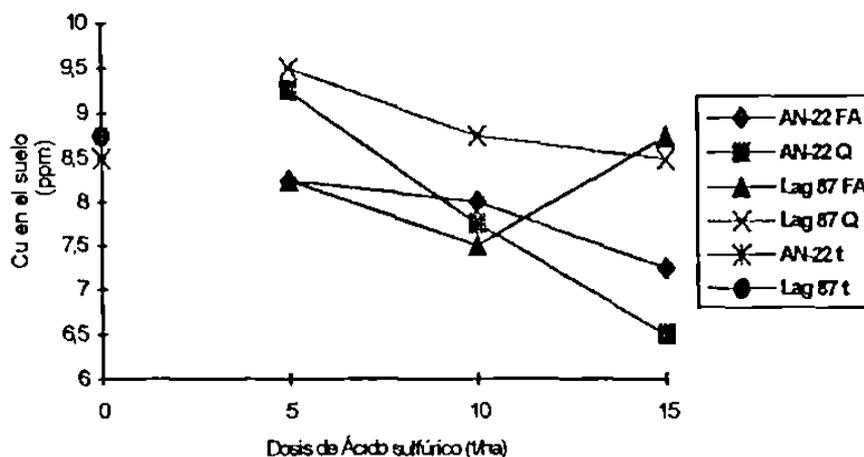


Figura 11. Contenido de cobre en el suelo (ppm), con diferentes dosis de H_2SO_4 , variedades y tipos de fertilizantes. Verano de 1997.

De lo anterior, se podría mencionar que el Cu estuvo en cantidades suficientes y que aún cuando sus contenidos presentaron una tendencia a disminuir al incrementarse la dosis de ácido, inclusive por abajo de los testigos AN-22 y Lagunero 87 que exhibieron 8.50 y 8.75 ppm, respectivamente, las dosis de H_2SO_4 no fueron tan elevadas como para provocar imbalances del Cu con el Fe del suelo.

4.2.6 Mn en el suelo (ppm)

El análisis de la varianza indica diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para variedades, dosis y la interacción dosis * tipo de fertilizantes; asimismo variedad * dosis ($p < 0.05$). El coeficiente de variación fue de 14.5% y una media general de 14.03 ppm de Mn, como se aprecia en el Cuadro 18A del Apéndice.

Las medias comparadas por Duncan (5%), se presentan en el Cuadro 22. Las medias entre variedades presentan diferencia estadística, así Lagunero 87 obtuvo 15 ppm, mientras que AN-22 mostró 13.07 ppm de Mn. El contenido de Mn se incrementó con el H_2SO_4 , siendo las dosis estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes al tratamiento testigo sin aplicación. En este mismo cuadro, la fertilización al cultivo incrementó los niveles de Mn en el suelo en forma significativa, siendo estadísticamente iguales los fertilizantes ácidos y Fe-EDTA, pero superiores al tratamiento testigo.

Cuadro 22. Medias de contenido de Mn en el suelo (ppm), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedad	Mn (ppm)	H_2SO_4 t/ha	Mn (ppm)	Tipo de Fertilización	Mn (ppm)
Lag- 87	15.00 a	5	14.87 a	Ácida	14.79 a
		15	14.50 a	Fe-EDTA	14.29 a
AN-22	13.07 b	10	14.25 a	Sin Fert.	11.00 b
		0	11.00 b		
DMS =1.10		DMS=1.62		DMS=1.53	

En la Figura 12 se aprecia que la variedad Lagunero 87, en ambos tipos de fertilización, tuvo mayores concentraciones de Mn en el suelo. En las dos variedades, los fertilizantes ácidos elevaron el contenido de Mn. Lagunero 87 pasó de 10.5 en el tratamiento testigo (0 t/ha), a 14.75 ppm (5 t/ha); teniendo un máximo a 10 t/ha (16.5 ppm), para disminuir ligeramente a 16 ppm con 15 t/ha de H₂SO₄. AN-22 tuvo tendencias similares; sus concentraciones fueron: 12.0, 15.25 y 14.25 ppm, con niveles de 5, 10 y 15 t/ha de H₂SO₄, respectivamente.

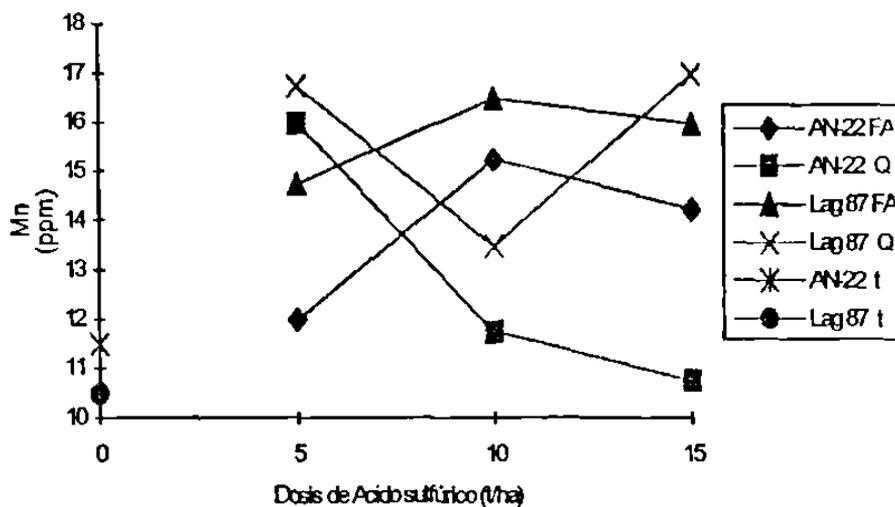


Figura 12. Contenido de Mn en el suelo (ppm) con diferentes dosis de ácido sulfúrico, variedades y tipos de fertilización. Verano de 1997.

La variedad AN-22 se comportó diferente al fertilizarse con Fe-EDTA, que cuando se utilizaron fertilizantes ácidos. La dosis de 5 t/ha con quelato, presentó los mayores contenidos del elemento (16 ppm), incluso superiores al mejor tratamiento

con fertilización ácida, sin embargo, la concentración de Mn tuvo una caída pronunciada al pasar de 5 a 10 t/ha (11.75 ppm) y continuar bajando hasta 10.75 ppm en el nivel de 15 t por hectárea de ácido.

El comportamiento de Lagunero 87 con Fe-EDTA fue similar a AN-22. La concentración menor tuvo lugar en el tratamiento testigo con 10.5 ppm, con un incremento notable (16.75 ppm) al adicionarse 5 t de H₂SO₄. En el siguiente nivel de ácido (10 t/ha), el Mn disminuye a 13.5 ppm, para volver a subir hasta 17 ppm con 15 t/ha de ácido sulfúrico.

En general, las cantidades de Mn se ubicaron dentro del rango óptimo citado por Rodríguez (1997), que van de 10 a 100 ppm. Aún cuando algunos autores mencionan que cantidades elevadas de Mn inducen clorosis férrica (Olsen, 1972), al competir por las localizaciones metabólicas con el Fe (Mengel y Kirkby, 1982), la presente investigación no fue el caso, debido a que en todos los tratamientos los valores del Mn se ubicaron entre el rango óptimo.

4.2.7 Zn en el suelo (ppm)

El efecto de las variedades, fue el factor que permitió detectar diferencias estadísticas altamente significativas ($p < .01$) entre los tratamientos, para los contenidos de zinc en el suelo. El coeficiente de variación fue de 76.4% con una media general de 21.59 ppm de Zn.

Las medias comparadas por Duncan (5%), se muestran en el Cuadro 23. Entre las variedades, el mayor contenido de Zn correspondió a Lagunero 87 con 27.96 ppm, en tanto AN-22 presentó concentraciones de 15.21 ppm de zinc en el suelo. Respecto al factor dosis y aún cuando el nivel de 15 t/ha mostró casi el doble de zinc del tratamiento testigo (sin H₂SO₄), el alto coeficiente de variación no permitió detectar dichas diferencias. Lo mismo sucedió con el tipo de fertilizantes empleados, donde la fertilización ácida tuvo el contenido más alto de zinc, sin embargo, estadísticamente fue igual a Fe-EDTA y al tratamiento testigo.

En la Figura 13 se muestran los valores medios para cada tratamiento. La variedad Lagunero 87 tuvo los mayores contenidos de Zn (51.25 ppm), con una dosis de 15 t de ácido sulfúrico por hectárea y fertilizantes ácidos; niveles de 5 y 10 t/ha en esta variedad, obtuvieron 24.75 y 27.75 ppm. El genotipo AN-22 con fertilizantes ácidos incrementó de 13.25 ppm (testigo) a 18 ppm de Zn con 10 t/ha, para posteriormente, volver a disminuir sus contenidos de zinc a 13.25 ppm con 15 t/ha de H₂SO₄.

Cuadro 23. Medias de de contenido de Zn en el suelo (ppm), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedad	Zn (ppm)	H ₂ SO ₄ t/ha	Zn (ppm)	Tipo de Fertilización	Zn (ppm)
Lag- 87	27.96 a	15	28.44	Ácida	26.58
		5	22.25	Fe-EDTA	18.79
AN-22	15.21 b	10	17.37	Sin Fert.	15.00
		0	15.00		
DMS =8.92		DMS=13.87		DMS=12.44	

Lagunero 87 elevó su contenido de zinc al pasar del testigo sin fertilización (16.75 ppm) a un nivel de 5 t/ha (30.0 ppm); en el rango de 5 a 10 t/ha, el zinc tiene una baja en su concentración al llegar a 9.75 ppm, para posteriormente volver a elevarse hasta 35.5 ppm con la dosis más alta de H₂SO₄. Aunque en menor proporción, AN-22 con Fe-EDTA pasó de 13.25 (tratamiento testigo) a 16.25 ppm (5 t/ha), bajando su contenido a 7.50 en el nivel intermedio de ácido, e incrementarlo nuevamente a 13.25 ppm de zinc en el suelo, con 15 t/ha de H₂SO₄.

Los datos anteriores indican que los contenidos de zinc para todos los tratamientos, incluso los testigos, se ubicaron dentro del rango óptimo señalado por Rodríguez (1997), quien menciona que caen dentro de ésta categoría valores entre 6 y 36 ppm. Las menores cantidades de zinc que muestran AN-22 y Lagunero 87 en la dosis de 10 t/ha de ácido sulfúrico (Figura 13), pueden deberse a que los genotipos extraen del suelo una mayor cantidad del elemento, en éste nivel de ácido, lo cual quedó demostrado al analizar en el experimento de primavera (Cuadro 15) el contenido de Zn en el tejido vegetal.

Las variedades de frijol, aprovecharon en forma distinta el zinc proveniente del suelo, mientras que AN-22 lo utilizó para tener una mayor longitud de planta (Figura 5), y por tanto mayor acumulación de materia seca (Cuadro 11), Lagunero 87 lo hizo para obtener un mayor rendimiento de grano, como quedó asentado en el Cuadro 16. Lo anterior ha sido señalado por Baker y Cihacek (1983), al mencionar que el zinc se requiere para la síntesis de proteínas, altura de planta y en la formación de grano y semilla.

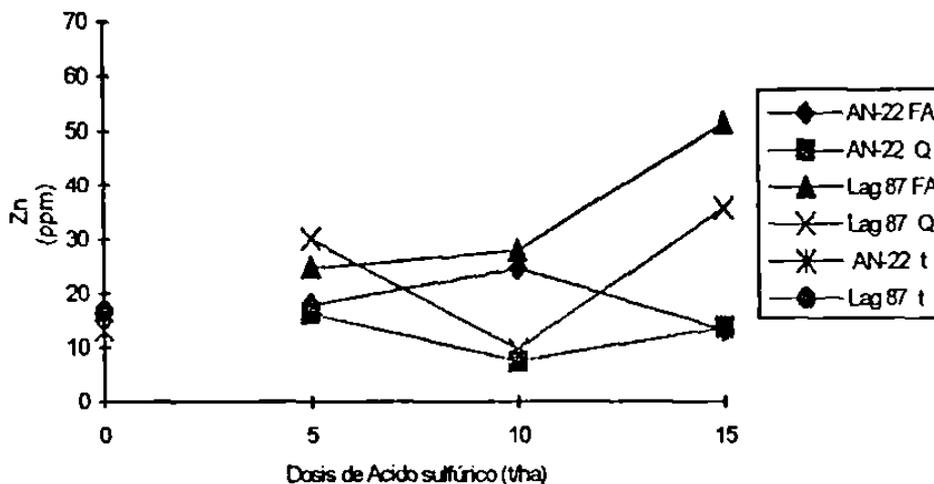


Figura 13. Contenido de Zn en el suelo (ppm) con diferentes dosis de ácido sulfúrico, variedades y tipos de fertilización. Verano de 1997.

Aún cuando no se tuvieron concentraciones tan elevadas de zinc como las reportadas por Baker y Cihacek (1983), el Zn intercambiable se mantuvo dentro de los rangos óptimos (Rodríguez, 1997), hasta la etapa de floración (40 días después de la siembra). Probablemente a esto se debió que AN-22 continuara su crecimiento en el experimento de primavera y que presentara formación de vainas después de los 82 días en que se hizo la cosecha. Lo anterior es una característica indeseable, si se tuviera que utilizar éste genotipo en agricultura comercial con la aplicación de fertilizantes ácidos.

4.2.8 Materia seca (g/planta)

El factor variedades y dosis de H_2SO_4 , influyeron en forma significativa ($p < 0.05$) sobre la materia seca de la planta (Cuadro 20A del Apéndice). El coeficiente de variación fue de 50.2% y la media general de 3.08 g/planta. El tener una maceta como repetición para este experimento dificultó la selección de material vegetativo para los análisis, situación que empeoró por la presencia de una enfermedad del tipo damping off, que no se había presentado en el experimento de primavera.

Los resultados de las comparaciones de medias, que se muestran en el Cuadro 24, indican tendencias muy similares a las obtenidas en el experimento de primavera, aunque con valores al momento de la floración, ligeramente superiores para este ciclo, debido probablemente a una mayor temperatura.

La variedad de frijol AN-22 tuvo una mayor materia seca al compararse con Lagunero 87, de esta forma, la primera rindió 3.57 y la segunda 2.59 g/planta. Las dosis de ácido sulfúrico incrementaron en forma significativa el peso de la materia seca de los genotipos que rindieron 2.71, 3.51 y 3.73 g/planta, con niveles de 5, 10 y 15 t/ha de H_2SO_4 . El tratamiento testigo registró 1.67 gramos, siendo igual estadísticamente al nivel inferior con ácido. En cuanto a tipos de fertilizantes empleados, los de reacción ácida acumularon mayor materia seca (3.72 g/planta), resultando estadísticamente igual al rendimiento con Fe-EDTA que mostró 2.91 gramos. Los tratamientos sin aplicación de fertilizante tuvieron los valores más bajos de materia seca, con solo 1.67 g/planta.

Cuadro 24. Medias de materia seca (g/planta), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedades	Materia seca (g/planta)	H ₂ SO ₄ t/ha	Materia seca (g/planta)	Tipo de Fertilización	Materia seca (g/planta)
AN-22	3.57 a	15	3.73 a	Ácida	3.72 a
		10	3.51 a	Fe-EDTA	2.91 a
Lag- 87	2.59 b	5	2.71 a b	Sin Fert.	1.67 b
		0	1.67 b		
	DMS =0.84		DMS=1.24		DMS=1.17

En la Figura 14 se observan las medias de todos los tratamientos evaluados. El genotipo AN-22 aumentó su materia seca al incrementarse la dosis de ácido sulfúrico aplicado al suelo. De esta forma, con fertilizantes ácidos (urea ácida y ácido fosfórico), sus valores fueron de 4.22, 4.25 y 4.69 g/planta, mientras que con quelato Fe-EDTA los rendimientos fueron de 2.86, 3.44 y 3.79 g/planta, con niveles de 5, 10 y 15 t/ha de H₂SO₄, respectivamente. Todos los tratamientos con fertilizante de AN-22, fueron superiores al testigo, que rindió 1.75 gramos.

La producción de Lagunero 87, sin fertilizantes, fue la menor con 1.59 gramos, Con fertilizantes ácidos, mostró un leve incremento (2.16 g/planta) al adicionarse la dosis baja de ácido; con niveles intermedios de H₂SO₄ alcanzó el máximo rendimiento de materia seca (3.93 g/planta), para disminuir nuevamente a 3.05 g/planta, en la dosis mayor de ácido sulfúrico.

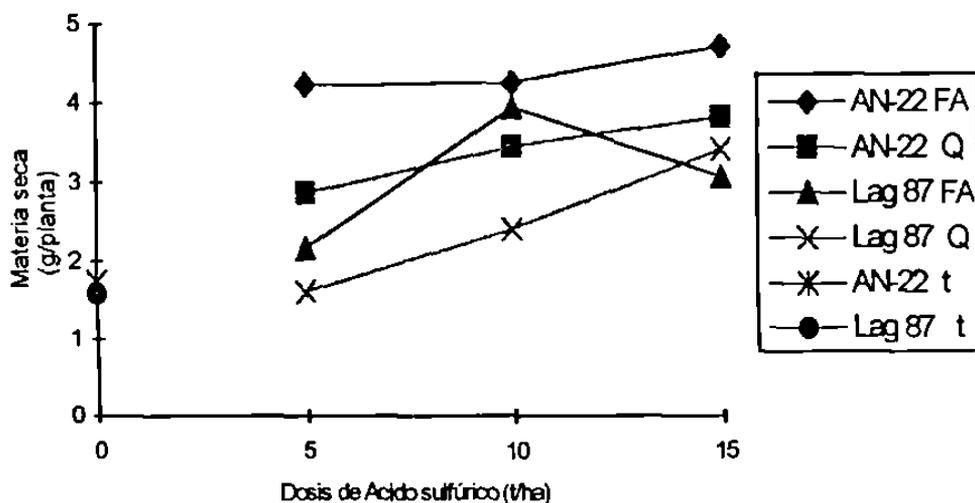


Figura 14. Materia seca en la etapa de floración (g/planta) por variedad, dosis y tipos de fertilización. Verano de 1997.

Lagunero 87 con Fe-EDTA, incrementó su materia seca conforme se elevaron las dosis de H_2SO_4 . El rendimiento de la materia seca fue de 1.61, 2.40 y 3.39 g/planta, conforme se aumentaron los niveles ácido sulfúrico por hectárea. Debido a que los tratamientos, en el experimento de verano, tuvieron un comportamiento muy similar para la producción de materia seca, a los vistos en primavera, la discusión hecha en el experimento anterior, es igualmente válida para éste.

4.2.9 Clorofila total (mg/L)

Las diferentes dosis de ácido sulfúrico aplicadas al suelo, influyeron en forma altamente significativa ($p < .01$), en los contenidos de clorofila total en la planta al

momento de la floración. El coeficiente de variación fue del 19.8 % y una media general de 12.32 mg/L de clorofila. Los datos se muestran en el Cuadro 21A del Apéndice.

En el presente ciclo de cultivo, tampoco se pudieron detectar diferencias significativas para el contenido de clorofila entre los genotipos de frijol, como se indica en el Cuadro 25. AN-22 tuvo una media de clorofila total de 12.84, estadísticamente igual al contenido de Lagunero 87 cuyo valor fue de 11.80 mg/L de clorofila.

Las dosis de H₂SO₄, aportaron contenidos estadísticamente diferentes de clorofila total a la planta. La mejor dosis fue de 10 t/ha, cuyos valores de clorofila fueron de 14.59 mg/L; 15 t/ha, cuantificó 13.70 mg/L, ambos niveles estadísticamente iguales, pero diferentes a la dosis de 5 t/ha de ácido que obtuvo 11.43 mg/L de clorofila total. En todos los tratamientos con ácido, los contenidos fueron muy superiores al testigo sin aplicación, que presentó concentraciones de solo 6.80 miligramos.

Cuadro 25. Medias de clorofila total (mg/L), por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedades	Clorofila total (mg/L)	H ₂ SO ₄ ton/ha	Clorofila total (mg/L)	Tipo de Fertilización	Clorofila total (mg/L)
AN-22	12.84	10	14.59 a	Ácida	13.71 a
		15	13.70 a	Fe-EDTA	12.77 a
Lag- 87	11.80	5	11.43 b	Sin Fert.	6.80 b
		0	6.80 c		
	DMS =1.32		DMS=1.95		DMS=1.84

En la Figura 15 se muestran las medias de los 14 tratamientos; los testigos de AN-22 y Lagunero 87 presentaron los contenidos más bajos de clorofila total con 7.31 y 6.30 mg/L de clorofila.

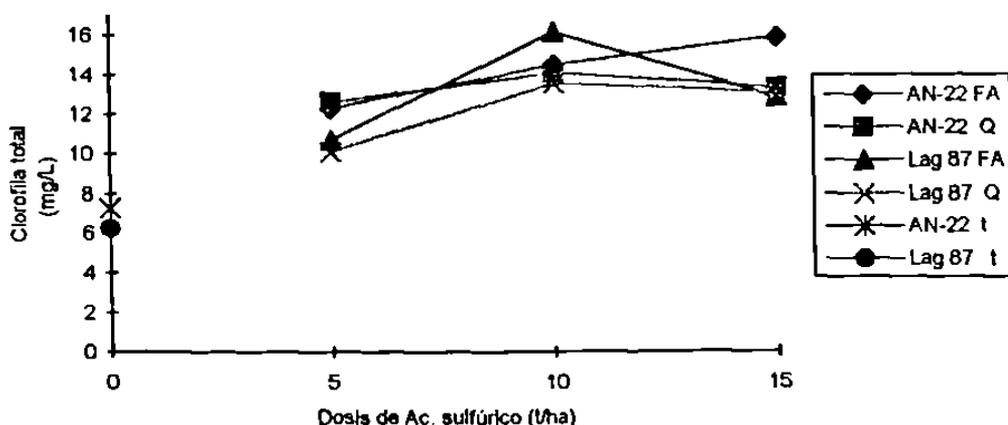


Figura 15. Contenido de clorofila total (mg/L), con diferentes dosis de ácido sulfúrico, variedades y tipos de fertilización. Verano de 1997.

La variedad AN-22, con la adición de ácido, incrementó la cantidad de clorofila en la planta, independientemente del tipo de fertilizantes aplicados. De esta manera, los valores con fertilizantes ácidos fueron de 12.31, 14.51 y 15.8 mg; con Fe-EDTA, la cantidad de clorofila fue de 12.6, 14.12 y 13.26 mg/L, con niveles de H_2SO_4 de 5, 10 y 15 t/ha, respectivamente. La producción de clorofila de AN-22, con fertilizantes ácidos y quelato Fe-EDTA, es similar hasta el nivel de 10 t/ha de H_2SO_4 , posteriormente, el aumento en clorofila continuó con fertilizantes ácidos y disminuyó con el quelato.

Lo anterior implica, que en AN-22, el efecto de los tipos de fertilizantes en la producción de clorofila, fue enmascarado por el ácido hasta una dosis de 10 t/ha y que la variedad requirió de cantidades de ácido mayores a éste nivel (10 t/ha), para mostrar diferencias en clorofila con los distintos fertilizantes. Con Fe-EDTA, el máximo de clorofila total se alcanzó con 10 t/ha.

Lagunero 87 tuvo aumentos de clorofila al pasar de un nivel de 0 t/ha de ácido (6.30 mg/L), al nivel inmediato superior (5 t/ha), siendo muy similares sus contenidos tanto para fertilizantes ácidos (10.7 mg/L), como para Fe-EDTA (10.1 mg/L). La máxima producción de clorofila para el genotipo, se tuvo con la dosis intermedia de ácido (10 t/ha), teniendo una ligera ventaja la fertilización ácida (16.16 mg/L), en comparación a Fe-EDTA que tuvo 13.57 mg/L. Al pasar al siguiente nivel de H_2SO_4 , la concentración de clorofila disminuye, en los diferentes tipos de fertilizantes; así con fertilizantes ácidos su valor fue de 12.76 y con quelato de 12.99 mg/L.

Los niveles de H_2SO_4 (hasta una dosis de 10 t/ha) y la fertilización ácida, elevaron las concentraciones de clorofila total, posteriores incrementos de ácido no reflejaron mayores cantidades de clorofila en la planta. Estos resultados indican que ambos genotipos necesitaron de las aplicaciones del ácido sulfúrico al suelo para incrementar sus contenidos de clorofila en la planta, mostrándose como la mejor dosis de ácido el nivel de 10 t/ha para la variedad de frijol Lagunero 87, aumentando las cantidades de clorofila cuando se aplicaron fertilizantes de reacción ácida. Para la variedad AN-22, ésta dosis también fue la mejor cuando se fertilizó el cultivo con Fe-EDTA.

Las dosis de ácido tuvieron un efecto indirecto sobre la producción de la clorofila en la planta al bajar el pH del suelo, poniendo solubles los compuestos Fe^{3+} (Cortinas, 1996; Uren,1984) como quedó asentado en el Cuadro 17, que muestra incrementos en el Fe total con aumentos en las dosis de H_2SO_4 , siendo este elemento, esencial para la formación de enzimas y proteínas que acarrean electrones durante la fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1994; Boyer *et al.* 1990).

La dosis de 10 t/ha en donde se tuvieron las mayores concentraciones de clorofila para la planta, en Lagunero 87 y AN-22 fertilizado con Fe-EDTA, concuerda con las presentadas como las mejores por Nefae and O'Connor (1978), quien señala que para los suelos calcáreos de Nuevo Mexico, dosis de 11.2 y 22.4 t/ha, fueron estadísticamente iguales al tratamiento con quelatos en base a Fe-EDDHA, obteniéndose los rendimientos más altos de sorgo.

4.2.10 Grado de clorosis visual

El análisis de varianza (Cuadro 22A del Apéndice), señala que las dosis de H_2SO_4 fueron altamente significativas ($p < .01$), para que los tratamientos mostraran diferencias en cuanto al grado de clorosis visual de la planta. Asimismo, los tipos de fertilizantes que se evaluaron ($p < .05$). El coeficiente de variación fue del 30.9 % con una media general en el experimento de 1.73. La comparación de medias por Duncan (5%) se expone en el Cuadro 26.

La clorosis visual no presentó diferencias estadísticas significativas entre las variedades de frijol. Lagunero 87 clasificó con 1.86, en tanto AN-22 tuvo un grado de clorosis de 1.61. La clorosis visual de la planta se agudizó conforme se fue disminuyendo la cantidad de ácido sulfúrico aplicado al suelo. El menor grado lo presentó la dosis de 15 t/ha de H₂SO₄, con un valor de 1.25; dosis de 10 y 5 ton exhibieron grados de clorosis de 1.50 y 1.62. Finalmente, el promedio de los tratamientos testigo sin aplicación mostró un valor de 3.37 en el grado de amarillamiento de las hojas (Cuadro 26). Las dosis de H₂SO₄, fueron estadísticamente iguales entre sí, siendo todas ellas diferentes al testigo, lo cual indica que para disminuir el grado de clorosis en estas variedades de frijol, cualquiera de las dosis estudiadas en el presente trabajo, fue efectiva.

Cuadro 26. Medias de del grado de clorosis visual, por variedad, dosis de ácido y tipo de fertilizante. Verano de 1997.

Variedades	Grado de clorosis	H ₂ SO ₄ t/ha	Grado de clorosis	Tipo de Fertilización	Grado de clorosis
Lag- 87	1.86	0	3.37 a	Sin Fert.	3.37 a
		5	1.62 b	Fe-EDTA	1.62 b
AN-22	1.61	10	1.50 b	Ácida	1.29 b
		15	1.25 b		
	DMS =0.29		DMS=0.43		DMS=0.40

La diferencia significativa entre los tipos de fertilizantes fue solo con el tratamiento testigo. Fertilizar tanto con Fe-EDTA como con fertilizantes ácidos, ayudó a disminuir el grado de clorosis en la planta de frijol, y aún cuando la tendencia sea

disminuir en un mayor grado con fertilizantes ácidos (1.29), en relación a fertilizar con quelatos (1.62) estadísticamente fueron iguales, con $p < .05$. De esta manera, la fertilización ácida mostró un amarillamiento \approx grado 1 (planta verde), mientras que el quelato Fe-EDTA mostró un valor de 1.62, que correspondería en la escala a un grado de \approx 2 (planta ligeramente clorótica con incipiente clorosis intervenal).

Los genotipos en un ambiente natural, sin fertilización, calificaron con 3.37, es decir, un grado 3 (planta clorótica, con típica clorosis intervenal). Las medias de los tratamientos se pueden apreciar con más detalle en la Figura 16.

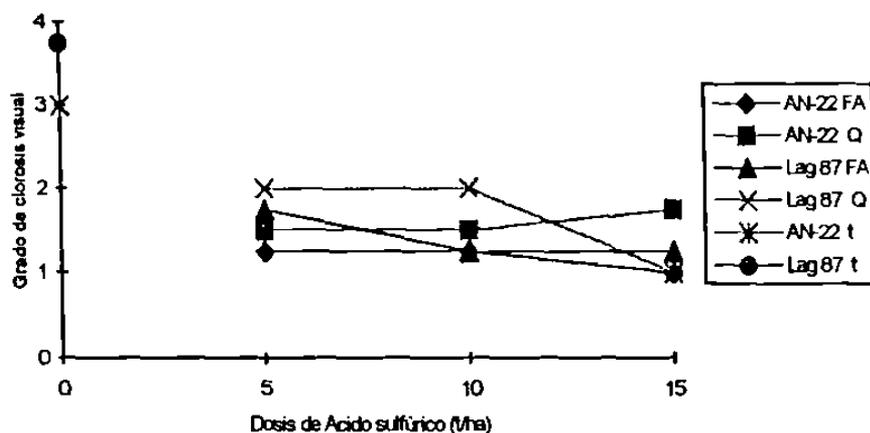


Figura 16. Grado de clorosis visual en las variedades de frijol con diferentes cargas de H_2SO_4 y tipos de fertilización. Verano de 1997.

Todos los tratamientos con ácido sulfúrico se ubicaron por abajo de un grado 2 de clorosis (plantas con incipiente clorosis intervenal), no así para el testigo AN-22 que a pesar de su Fe-eficiencia, exhibió un valor de 3, es decir, las plantas mostraron una típica clorosis intervenal. El tratamiento testigo de Lagunero 87 exteriorizó plantas

muy cloróticas, cuyas hojas tenían zonas amarillas, con un grado de casi 4 en cuanto a clorosis.

Aún cuando el grado de correlación ($r = -0.57^{***}$), entre el contenido de clorofila y el grado de clorosis visual en el presente trabajo, es relativamente baja, concuerda con lo reportado por Morris *et al.* (1990), señalando además, que la concentración de clorofila y la escala de clorosis visual, correlacionó altamente con la producción de materia seca y el Fe total en la planta.

4.3 Análisis Conjunto de los Resultados

4.3.1 Variedades

Dentro de los resultados de la presente investigación, no se detectaron diferencias en los contenidos de clorofila para los genotipos en estudio. La variedad AN-22 que se tenía considerada como Fe-eficiente, tuvo incluso contenidos ligeramente inferiores al genotipo Lagunero 87 (Fe-deficiente), en el ciclo de primavera (Cuadro 9). Por el contenido de Fe en el tejido vegetal (Cuadro 12), ambas variedades deben considerarse como Fe-eficientes. Aquí resulta importante mencionar, que antes de calificar a un genotipo se debe probar su comportamiento durante varios ciclos, hasta que muestre una estabilidad (Cortinas, 1985), es decir, que su expresión no sea afectada por el ambiente.

4.3.1.1 Contenido de clorofila

Durante la primavera, el buen contenido de humedad en el suelo (243 mm) no permitió que se mostraran diferencias significativas para esta característica entre los genotipos. La concentración de clorofila *a* y *b* en el tejido de la planta estuvo correlacionada ($r = 0.72^{***}$ y $r = 0.74^{***}$, respectivamente) con la producción de materia seca en la floración (Cuadro 25A). Esta relación fue consistente para el verano, teniéndose una $r = 0.56^{***}$ para la clorofila total. Asimismo, las dosis de H_2SO_4 tuvieron una correlación altamente significativa ($r = 0.62^{***}$) con la variable clorofila total, en el verano (Cuadro 26A).

En la primavera, el Fe, Cu, Mn y Zn analizados en el tejido vegetal (Cuadro 25A) presentaron coeficientes de correlación bajos con la cantidad de clorofila en la planta. El metal más correlacionado fue el Zn, que presentó una $r = 0.32^{**}$ y $r = 0.35^{**}$ para clorofila *a* y *b*, respectivamente.

En el verano, la correlación del Zn en el suelo con la clorofila total fue mayor ($r = 0.56^{***}$). Estos resultados corroboran que el zinc está involucrado en la formación de hormonas del crecimiento y por tanto, en la ganancia de materia seca ($r = 0.36^{**}$; Cuadro 25A), además, de ser necesario para la producción de clorofila (Baker y Cihacek, 1983).

En el experimento de verano, las dosis de H_2SO_4 se relacionaron con el nivel de clorofila total en la planta ($r = 0.62^{***}$). Por otra parte y como una consecuencia del

ácido aplicado al suelo, las variables pH y CE (Cuadro 26A) relacionaron con los niveles de clorofila en la planta con valores de $r = -0.44^{***}$ y $r = 0.64^{***}$, respectivamente.

Lo anterior permite concluir que una mayor CE, como resultado de un incremento en la dosis de ácido ($r = 0.76^{***}$), elevó en el suelo la concentración de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} , de esta forma, la planta utilizó el magnesio disponible y elevó el contenido de clorofila.

En el experimento de primavera, los tipos de fertilizantes no reflejaron diferencias en la concentración de clorofila (Cuadro 10), mientras que en el verano las diferencias entre los fertilizantes ácidos y Fe-EDTA, fueron solo con el tratamiento testigo sin fertilizar (Cuadro 25). Lo anterior indica que un buen contenido de humedad en el suelo, como ocurrió en la primavera, eliminó el efecto de aplicar la fórmula 90-60-00 con fertilizantes ácidos; asimismo, aplicar 5.6 kg/ha de Fe-EDTA.

4.3.2 Dosis de H_2SO_4

En la planta, las dosis de H_2SO_4 (Cuadro 25A), incrementaron los niveles de Cu ($r = 0.32^{**}$) y Zn ($r = 0.28^{**}$) y disminuyeron significativamente los contenidos de Mn ($r = -0.72$). Esta baja del manganeso, pudo deberse a un antagonismo con el Fe (Olsen, 1972) dadas las cantidades tan elevadas de Fe analizadas en el tejido vegetal (Cuadro 12). También pudiera ser un efecto del suelo tratado con ácido, donde se incrementa la concentración de otros metales pesados como el cobre, el zinc, el

cadmio, el cobalto y el cromo, que tienen un efecto similar al del manganeso en las funciones metabólicas (Hewitt, 1968).

En el suelo, las dosis de ácido sulfúrico disminuyeron el pH (Cuadro 17) e incrementaron la CE (Cuadro 18), ésta última con un coeficiente de correlación $r = 0.76^{***}$ (Cuadro 26A). Las concentraciones de Fe, Mn y Zn aumentaron conforme se elevaron los niveles de H_2SO_4 , sin embargo, su correlación fue baja, con $r = 0.28^*$, 0.25 y 0.38^{**} , respectivamente.

Por otra parte, a los 40 días de la siembra en que se realizó el muestreo, las dosis de 5 y 10 t/ha de H_2SO_4 ubicaron los contenidos de Fe total en el suelo, en ambas variedades, entre un nivel deficiente y crítico (Figura 10). Esto reafirma la Fe-eficiencia que tuvieron los dos genotipos para poder absorber Fe en una fase tan activa del crecimiento como es la floración, cuando su concentración en el suelo era baja. Referente al Cu, Mn y Zn, los niveles se mantuvieron dentro de los rangos óptimos citados por Rodríguez (1997).

4.3.3 Tipos de fertilizantes

Asimismo, el tipo de fertilizantes no exhibió diferencias significativas en la cantidad de clorofila. En el verano, el valor de la clorofila de los fertilizantes ácidos fue similar al quelato Fe-EDTA, siendo ambos diferentes al tratamiento testigo sin fertilizante.

Los fertilizantes ácidos acumularon mayor cantidad de materia seca en la floración, tanto en primavera (Cuadro 11) como en verano (Cuadro 24). Asimismo, en el Cuadro 14 se muestra que tanto los fertilizantes ácidos como Fe-EDTA redujeron significativamente los niveles de Mn en el tejido vegetal.

En el suelo, los fertilizantes ácidos y Fe-EDTA bajaron el pH y elevaron la CE (Cuadro 17 y 18) en relación al testigo, siendo ambos tipos de fertilización estadísticamente iguales. Los fertilizantes ácidos incrementaron el Fe total en el suelo (Cuadro 20). No se mostraron efectos con el Cu y el Zn, aún cuando éste último, tuvo cierta tendencia en aumentar su contenido con la fertilización ácida (Cuadro 23), sin embargo, su elevado coeficiente de variación (Cuadro 19A) no permitió se mostraran las diferencias estadísticas.

Los resultados anteriores señalan que los fertilizantes ácidos fueron altamente significativos ($p < .01$; Cuadro 16A) para aumentar el contenido de Fe total en el suelo (Cuadro 20) y los genotipos de aprovecharlo (Cuadro 12). Posiblemente, empleando las variedades adecuadas (genotipos Fe-eficientes), o bien, fertilizantes ácidos y quelatos, se pueda obviar la aplicación de niveles tan altos de H_2SO_4 al suelo, evitando así la rápida degradación de la materia orgánica (de por sí pobre en este tipo de suelos) y los riesgos de una salinidad potencial.

4.3.4 Grado de clorosis visual

El grado de clorosis durante la primavera no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que no se hizo una evaluación visual de la planta, para esta característica. Los contenidos de clorofila en la floración, para los genotipos, así lo confirmaron (Cuadro 9). Lo anterior fue el resultado del buen contenido de humedad (243 mm) que se tuvo durante el ciclo de cultivo (Cuadro 23A del Apéndice).

En el experimento de verano, la correlación más alta con el grado de clorosis fue para las dosis de H_2SO_4 ($r = -0.64^{***}$, Cuadro 26A). Esta relación inversa indica que conforme se incrementaron las dosis de ácido, el grado de clorosis fue menor (Cuadro 26) sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los distintos niveles de H_2SO_4 . lo que indica que cualquier dosis fue suficiente para corregir la clorosis en estos genotipos, por abajo de un grado 2 (plantas con incipiente clorosis intervenal).

Al aumentar el contenido de clorofila total en la planta el grado de clorosis visual disminuyó ($r = -0.57^{***}$; Cuadro 26A). De lo anterior, se puede señalar que la CE del suelo, resultante de una acidificación con H_2SO_4 es la variable que permite inferir rápidamente los contenidos de clorofila en la planta y por tanto, su grado de clorosis, siempre y cuando se mejore la correlación entre dichas variables.

Los resultados del verano, confirman la igualdad entre las variedades para el grado de clorosis visual (Cuadro 26); esto como consecuencia de que los niveles de

clorofila total fueron estadísticamente iguales, como se mostró en el Cuadro 25. Cuando no se aplicaron fertilizantes (tratamientos testigo), ambas variedades mostraron grados de clorosis entre 3 y 4, es decir, exhibieron los síntomas de una típica clorosis intervenal.

Se podría señalar que durante el verano y cuando no se adicionaron fertilizantes, los genotipos se comportaron como Fe-deficientes, mostrando una clorosis típica. Asimismo, tanto los fertilizantes ácidos como Fe-EDTA fueron efectivos para disminuir la clorosis en las hojas de la planta.

4.3.5 Rendimiento de grano

El rendimiento de grano para las variedades fue diferente (Cuadro 16). Lagunero 87 (Fe-deficiente) tuvo un 15% de mayor cantidad de grano, comparado con AN-22 (Fe-eficiente). Esto confirma una vez más, la falta de estabilidad del primer genotipo para calificarlo como Fe-deficiente.

El mayor rendimiento de Lagunero 87, se pudo deber a la buena capacidad de la variedad para absorber Fe y Mn (Cuadros 12 y 14). Todavía más importante, a la eficiencia que tuvo este genotipo para traslocar el Zn de las hojas, a la formación y llenado de vainas. De esta forma, mientras que AN-22 tuvo mayores concentraciones de zinc en la planta (Cuadro 15) y éste fue utilizado para una mayor producción de materia seca (Cuadro 11) como consecuencia de una mayor longitud de planta (Figura 5), Lagunero 87 utilizó estos metales para aumentar sus rendimientos de

grano. Este comportamiento de Lagunero 87, corrobora el porqué es la variedad comercial recomendada por la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) para siembras comerciales en los suelos del noreste de México.

Las dosis de 5, 10 y 15 t/ha de ácido, incrementaron los rendimientos del frijol en un 17, 19 y 22 %, respectivamente. Los diferentes tipos de fertilizantes elevaron la producción de grano con respecto al tratamiento testigo sin fertilizante. De esta forma, Fe-EDTA tuvo un aumento del 24%, los fertilizantes ácidos de 16% y de solo 0.4% para la fertilización granulada. Se requerirá implementar a nivel campo un experimento, para ver si los aumentos en el rendimiento del frijol pagan la inversión de aplicar Fe-EDTA y fertilizantes ácidos.

V. CONCLUSIONES

1. La categoría de Fe-deficiente para la variedad Lagunero 87 fue afectada por el ambiente. Mientras que en la primavera, dado el buen contenido de humedad en el suelo se comportó como Fe-eficiente, en el verano exhibió características de Fe-deficiente, mostrando una típica clorosis férrica; el genotipo AN-22 (Fe-eficiente) también mostró una clorosis por Fe en el verano. Debido a esto, se requiere probarlas un mayor número de ciclos para determinar su tolerancia a la clorosis.
2. El grado de clorosis lo determinó el contenido de clorofila en la planta. De esta forma, al aumentar la clorofila total, el grado de clorosis visual disminuyó.
3. Todas las dosis de H_2SO_4 fueron capaces de corregir la clorosis en las variedades de frijol y ubicar a ésta por abajo de un grado 2 (plantas con incipiente clorosis intervenal). En el ciclo de verano, la mejor dosis de H_2SO_4 para incrementar los contenidos de clorofila total en la planta, fue de 10 t/ha, asimismo, mayores cantidades de clorofila se obtuvieron con los fertilizantes de reacción ácida, comparados con Fe-EDTA.
4. Debido a que las variedades de frijol tuvieron un comportamiento similar en cuanto al grado de clorosis y la absorción del Fe, no se pudo probar la hipótesis de que variedades tolerantes a clorosis se verán menos afectadas en su rendimiento que aquellas susceptibles, cuando se cultivan en suelos calcáreos. Esto debido probablemente a que la clasificación de Fe-deficiente no corresponda al comportamiento real del genotipo.

5. El mayor rendimiento de grano fue para Lagunero 87 con un 15% de incremento en relación al genotipo AN-22. Asimismo, Lagunero 87 fertilizado solo con Fe-EDTA presentó una producción de grano similar al tratamiento de 10 t/ha de H_2SO_4 y fertilizantes ácidos. En esta variedad, la fertilización granulada y ácida sin H_2SO_4 tuvo rendimientos menores que el tratamiento testigo sin fertilizar.
6. En la variedad AN-22, la mayor solubilidad del Fe se utilizó para acumular materia seca y cuando se aplicó solo fertilización ácida, granulada y Fe-EDTA, el rendimiento se incrementó muy levemente. La categoría de Fe-eficiente de éste genotipo, no implicó mayores rendimientos de grano.
7. Los fertilizantes ácidos acumularon mayor materia seca en ambos ciclos de cultivo. La longitud de planta se comportó diferente entre las variedades; la mayor longitud fue para AN-22, incrementándose ésta con fertilización ácida. En este genotipo, una mayor longitud sirvió para acumular materia seca. En Lagunero 87, el efecto de los tratamientos tuvo poca influencia para esta característica.
8. Los fertilizantes ácidos y Fe-EDTA bajaron el pH y elevaron la CE del suelo, en relación al tratamiento testigo. Los fertilizantes ácidos incrementaron el Fe total en el suelo significativamente y disminuyeron el grado de clorosis. Lo anterior permite probar la hipótesis de que la fertilización ácida al suelo, eleva el Fe edáfico y disminuye la clorosis en la planta.
9. Las cargas de H_2SO_4 disminuyeron el pH del suelo en diferentes grados; el pH más bajo se tuvo con 15 t/ha y el mayor con el testigo sin aplicación. Tanto la

fertilización con Fe-EDTA como con fertilizantes ácidos, disminuyeron significativamente el pH, en relación al testigo, siendo iguales entre ellos.

10. Las cantidades de ácido sulfúrico incrementaron la CE del suelo, en proporción a la cantidad de ácido aplicada. En la dosis mayor, los aumentos de CE se ubicaron en el umbral crítico de riesgo para una potencial salinización, por lo que se debe tener un buen manejo del agua de riego, para lixiviar el exceso de sales en el suelo producto de la acidificación.

11. Los niveles de H_2SO_4 incrementaron en forma gradual las concentraciones de Mn y Zn en el suelo, permaneciendo en cantidades consideradas óptimas, a los 40 días. Referente al Fe total en el suelo, éste se ubicó entre un nivel deficiente y crítico en ambas variedades. La correlación de estos metales con las dosis de ácido fue baja.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere establecer en campo un experimento donde se pruebe la dosis de 10 ton/ha de H_2SO_4 , asimismo fertilizantes de reacción ácida y tipos de quelatos, para probar su factibilidad de aplicación tanto técnica como económica, empleando para ello cultivos de alta rentabilidad como son las hortalizas.
2. Con el propósito de disminuir el alto coeficiente de variación que se presentó al analizar Fe y Zn, se recomienda que el suelo se incube en laboratorio y hacer los muestreos en dichas incubaciones, para evitar los errores que se pudieran presentar cuando se toma una muestra directa de la maceta.

VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ajakaiye, C. O. 1986. Effect of P and Fe applications to cowpea in three soil types. *Plant soil* 94: 235-245.
- Bacon, J.S.D., P.C. De Kock and M.J. Palmer. 1961. Acotinase levels in the leaves of iron-deficient mustard plants (*Sinapsis alba*). *Biochem. J.* 80: 64 - 70.
- Baker R.D. and L.J. Cihacek. 1983. Micronutrient fertility guide. Cooperative Extension Service. New Mexico State Univ. Las Cruces, Nuevo Mexico. 17 p.
- Barak, P. and Y. Chen. 1982. The evaluation of iron deficiency using a bioassay-type test. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1019-1022.
- Bennett, J.P. 1945. Iron in leaves. *Soil Sci.* 60: 91-105.
- Benton J, Jr. J. 1983. Análisis de los tejidos de las plantas para micronutrientes. In: *Micronutrientes en Agricultura*. Comp. J.J.Mortvedt, P.M.Giordano, W.L.Lindsay. Trad. Cristina Vaqueiro Garibay. Ed. AGT Editor, S.A. México, D.F. p. 363.
- Bienfait, H. F., L. A. de Weger, and D. Kramer. 1987. Control of the development of iron deficiency reactions in potato as a response to iron deficiency is located in the roots. *Plant Physiol.* 83: 244-247.
- Bienfait, H. F. 1989. Prevention of stress in iron metabolism of plants. *Acta Bot. Neerl.* 38: 105-129.
- Bowen, J. E. 1981. Hierro, elemento vital para plantas y animales. *Agricultura de las Américas*, 30 (2). Intertec Publishing Corp. Kansas, U.S.A. pp. 14,16.
- Boyer, R. F., J. S. Mc Artur, and T. M. Cary. 1990. Plant phenolics as reductants for ferritin iron release. *Phytochemistry.* 29: 3717 - 3719.
- Brown, J. C., Holmes R.C. and Tiffin, L.O. 1958. Iron chlorosis in soybeans related to the genotype of rootstalk. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 86: 75-82.
- Brown, J. C. 1978. Mechanism of iron uptake by plants. *Plant, Cell and Environment.* 1: 249-257.
- Carpena-Artes O.; J.J.Moreno; J.J.Lucena and R.O. Carpena-Ruiz. 1995. Response to iron chlorosis of different hidroponically grown *Citrus* varieties. *Iron Nutrition in Soils and Plants.* pp. 147-151.
- Chaney, R. L. 1984. Diagnostic practices to identify iron deficiency in higher plants. *J. Plant Nutr.* 7: 47-67.

- Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35: 217-240.
- Cortinas E, H. M. 1985. Determinación del grado de clorosis y su relación con características agronómicas en frijol. Tesis de Maestro en Ciencias. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. 115 p.
- Cortinas E, H. M. 1996. Iron chlorosis resistance in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] : Inheritance and marker-assisted selection Tesis Doctor of Philosophy. Texas A&M University. Agosto. 120 p.
- Coulombe, B. A., R.L. Chaney, and W.J. Wiebold. 1984. Bicarbonate directly induces iron chlorosis in susceptible soybean cultivars. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1297-1301.
- Crowley, D. E., C. P. P. Reid and P. J. Szaniszlo. 1987. Microbial siderophores as iron sources for plants. In " Iron Transport in Microbes, Plants and Animals". Eds. G. Winkelmann, D. van der Helm, J. B. Neilands. VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, F.R.G. pp. 375-385
- Dekok, P.C., A. Hall and R.H.E. Inkson. 1979. Active iron in plant leaves. *Ann. Bot.* 43: 737-740.
- Emery, T. 1982. Iron Metabolism in humans and plants. *Amer. Scientist.* 70: 626-632.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. 2da. edición. 246 p.
- Gregory. J. R. 1984. Urea-sulphuric acid shows promise as fertilizer and in soil & water treatment. In : *Sulphur in Agriculture*. Vol. 8. Verdegaal Brothers, Inc. Hanford, California. pp. 15-16.
- Gutiérrez, R., M. ; R. S.M. Chávez ; T. N. Sánchez; A. L. Saavedra. 1994 Métodos avanzados en fisiología vegetal experimental. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Botánica. pp. 55-59.
- Hagstrom, G. R. 1984. Current Management practices for correcting iron deficiency in plants with emphasis on soil management. *J.Plant. Nutr.* 7: 23-46.
- Hernández A, L.; A. Gárate and J. J. Lucena. 1995. Efficacy of comercial Fe(III)-EDDHA and Fe(III)-EDDHMA chelates to supply iron to sunflower and corn seedlings. *J. Plant. Nutr.* 18 (6): 1209-1223.
- Hernández R. I.; G. A. González; J. L. T. Torres y G. C. Castañeda. 1996. Susceptibilidad y mecanismos de adaptación de genotipos de frijol a la clorosis férrica *Agrociencia.* 30: 13-18.

- Hewitt, E.J. 1968. Inorganic nutrition of plants. Plant Physiology a treatise. Vol. III. Ed. F.S. Steward. p. 137-360.
- Hjelte, N. 1989. The relative stability of the Fe-EDDHMA and Fe-EDDHA in a pH range of 4 to 9. In Abstracts "5 th. International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants". Jerusalem, Israel. p 82.
- Hurley, A. K., V. D. Jolley, J. C. Brown, and R. H. Walser. 1986. Response of dry beans to iron deficiency stress. J. Plant Nutr. 9: 805-814.
- INEGI. 1995. Anuario estadístico del estado de Nuevo León : Edición 1995. Gob. del Edo. de Nuevo León. p. 220.
- Jackson, T. L., J. Jay, and D. P. Moore. 1967. The effect of Zn on yield and chemical composition of sweet corn in the Willamette Valley. Amer. Soc. Hort. Sci. 91 462-471.
- Julian, G., H. J. Cameron, and R.A. Olsen. 1983. Role of chelation by ortho dihydroxy phenols in iron absorption by plants roots. J. Plant Nutr. 6: 163-175.
- Keshirad, A. A., A. Bassiri, and M. Kheradnan. 1978. Responses of cowpeas to applications of P and Fe in calcareous soils. Agron. J. 70: 67-70.
- Khorsandi, F. 1994. Sulfuric acid effects on iron and phosphorus availability in two calcareous soils. J. Plant. Nutr. 17 (9): 1611-1623.
- Khorsandi, F. 1994 b. Phosphorus fractions in two calcareous soils as affected by sulfuric acid application. J. Plant. Nutr. 17 (9): 1599-1609.
- Knezek, B. D., and H. Greinert. 1971. Influence of soil Fe and MnEDTA interactions upon the Fe and Mn nutrition of bean plants. Agron. J. 63: 617-619.
- Korcak, R.F. 1987. Iron deficiency chlorosis. Horticultural Reviews. 9: 135-186.
- Lara M., J.L. 1996. Balance nutrimental del fierro con respecto a otros nutrientes en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Seminario de investigación. Doctorado en Ciencias Agr. FAUANL. Marín, N.L. México. Julio. 9p.
- Lara M., J.L. 1997. Efecto de diferentes fertilizantes en el balance nutrimental y corrección de la clorosis férrica del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Seminarios de investigación Doctorado; Otoño 1997. UANL. FAUANL. Marín, N.L. pp. 65-70.
- Lindsay, W. L. and D.W. Thorne. 1954. Bicarbonate ion and oxygen level as related to chlorosis. Soil Sci. 77: 271-279.
- Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1969. Equilibrium relationships of Zn^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} and H^+ with EDTA and DTPA in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33: 62-68.

- Lindsay, W. L. and A. P. Schwab. 1982. The chemistry of iron soils and its availability to plants. *J. Plant Nutr.* 5: 821-840.
- Lindsay, W. L. 1984. Soil and plant relationships associated with iron deficiency with emphasis on nutrient interactions. *J. Plant Nutr.* 7: 489-500.
- Loeppert, R.H. and E.T. Clarke. 1984. Reaction of Fe^{2+} and Fe^{3+} in calcareous soils. *J. Plant. Nutr.* 7:149-163.
- Loeppert, R. H. 1986. Reactions of iron and carbonates in calcareous soils. *J Plant Nutr.* 9: 195-215.
- Longnecker, N. 1988. Iron nutrition of plants. *ISI Atlas Sci. Anim. Plant Sci.* 1:143-150.
- Loué A. 1988. Los Micronutrientos en la agricultura. De. Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 13-82.
- Lucena, J. J.; A. Gárate, and O. Carpena. 1987. Iron-chelates in a calcareous soil. *Plant and Soil.* 103: 134-138.
- Lucena J. J., A. Gárate, and O. Carpena. 1988. *Lolium multiflorum* uptake of iron supplied as different synthetic chelates. *Plant and Soil*, 112: 23-28.
- Lucena, J. J., A. Gárate, A.M. Ramón, and M. Manzanares. 1990. Iron nutrition of a hidroponic strawberry culture (*Fragaria vesca* L.) supplied with different Fe chelates. *Plant and Soil.* 123: 9-15.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London.
- Marschner, H. 1991. Root - induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: Waisel, Y. ; Eshel, A. and Kafkafi, U. (Eds). *Plant Roots. The hidden half.* Marcel Deckker, Inc. New York, Basel, Hong Kong. pp. 417-453.
- McKinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem.* 140:315-322.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. Intern. Potash Inst. Bern. 655 p.
- Mengel, K. and G. Geurtzen. 1988. Relationship between iron chlorosis and alkalinity in *Zea mays*. *Physiology Plantarum.* 72: 460-465.
- Miller, G. W., J. C. Pushnik and G. W. Welkie. 1984. Iron Chlorosis, a world wide problem, The reation of Chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant Nutr.* 7: 1-22.
- Miyamoto, S., H. L. Bohn and J. Renthal. 1973. Determining the acid titratable basicity of calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 657-658.

- Miyamoto, S., J. Ryan and J.L. Stroehlein. 1975. Potentially beneficial uses of sulfuric acid in southwestern agriculture. *J. Environ. Qual.* 4: 431-432.
- Morris D. R., R. H. Loeppert, and T. J. Moore. 1990. Indigenous soil factors influencing iron chlorosis of soybean in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1329-1336.
- Mortvedt, J.J. 1975. Iron chlorosis. *Crop and soils magazine.* 27(9): 10-13.
- Mortvedt, J. J., P.M. Giordano, and W. L. Lindsay. 1983. Micronutrientes en agricultura. A. G. T. Editor. S. A. 1a. Edición en español. México, D. F. 742 p.
- Mortvedt, J. J. 1986. Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problems. *J. Plant Nutr.* 9: 961-974.
- Mortvedt, J. J., R.L. Mikkelsen, and J. J. Kelsoe. 1992. Crop response to ferrous sulfate in banded gels of hydrophilic polymers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1319- 1324.
- Nefae, R. and G.A. O'Connor. 1978. Effect of sulfuric acid on iron availability in New Mexico Soils. New Mexico State Univ. Agr. Exper. Stat. Res. Report 362. Las Cruces, New Mexico. April. 12 p.
- O'Connor, G.A., and V. Lee R. 1977. Effects of sulfuric acid on soil permeability irrigation water quality in New Mexico Res. Rpt. 361, Agri. Expt. Sta. NMSU.
- Olsen, S.R.; C.V. Cole; F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC. 3 p.
- Olsen, S.R. 1972. Micronutrient interactions. In: "Micronutrients in Agriculture". *Soil Sci. Soc. Am. Madison, U.S.A.* 11: 243-264.
- Peer, P. 1975. Charakterisierung einieger Chloroestandorte it Hilfe von Bodenuntersuchungen. *Lanwirtsch. Forsch.* 28: 317-322.
- Rediske J, H., and O. Biddulph. 1953. The absorption and translocation of iron. *Plant Physiol.* 28: 576- 593.
- Resnik, M.E. 1980. Nutrición mineral. In: E.M. Sívori, E.R. Montaldi y O.H. Caso. 1980. *Fisiología vegetal.* 1a. Edi. Hemisferio Sur. Argentina.
- Rodríguez F, H. 1997. Métodos de análisis físico-químico para suelos agrícolas y criterios de interpretación. *Manual de laboratorio de suelos.* UANL. FAUANL. Marín, N.L. 150 p.
- Romera, R. J. y M. Díaz G. 1991. La nutrición férrica de las plantas. Edit. Serv. de Publicaciones, Univ. de Córdoba. Córdoba, España. 102 p.

- Römheld, V., H. Marschner and D. Kramer. 1982. Responses to Fe-deficiency in roots of "Fe-efficient" plant species. *J. Plant Nutr.* 5: 489-498.
- Römheld, V. and Marschner, H. 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species. *Adv. Plant Nutr.* 2: 155-204.
- Römheld, V. 1987. Existence of two different strategies for the acquisition of iron in higher plants. In "Iron Transport in Microbes, Plants and Animals". Eds. G. Winkelmann, D. van der Helm, J.B. Neilands. VCH Verlagsgesellschaft. Weinheim, F.R.G. pp. 353-373
- Salisbury F. B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Trad. Biol. Virgilio González Velázquez. Grupo Editorial Iberoamericana, S. A. C.V. México, D.F. 759 p.
- Schrader, T. 1949. Untersuchungen über Rebenchlorose im Zusammenhang mit Witterung und Bodenkultur der Weinbau, *Wiss. Beihefte* 3: 199-211.
- Schütte, K. H. 1966. Biología de los microelementos y su función. 1a. Ed. Edit. Tecnos. Madrid, España. 277 p.
- Smith, F. 1934. Response of inbred lines and crosses in maize to variations of nitrogen and phosphorus supplied as nutrients. *J. Am. Soc. Agron.* 26:785-804.
- Spencer, W. F. 1966. Effect of copper on yield and uptake of phosphorus and iron by citrus seedlings grown at various phosphorus levels. *Soil Sci.* 102: 296-299.
- Stromberg, L. K. and S. L. Tisdale. 1979. Treating irrigated arid-land soils with acid-forming sulphur compounds. The Sulphur Institute. Techn. Bull. No. 24. Washington, D.C. Marzo. 26p.
- Tisdale S, L. y W. L. Nelson. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. De. Montaner y Simon, S. A. Trad. Dr. Jorge Balasch y Lic. Carmen Piña. Barcelona, España. 760 p.
- Uren, N.C. 1984. Forms, reactions and availability of iron in soils. *J. Plant Nutr.* 7: 165-176.
- Vázquez, A. R. E. 1992. Evaluación de urea líquida ácida contra granulada en el rendimiento de brocoli para suelos calcáreos de Marín, N. L. CIA-FAUANL. Avances de Investigación. Marín, N.L. pp. 136-137.
- Wallace, A. ; L. M. Shannon; O. R. Lunt. and R.L. Impey. 1957. Some aspects of the use of metal chelates as micronutrient fertilizer sources. *Soil Sci.* 84: 27-41.
- Wallace, A. and P.C. Dekok. 1966. Translocation of iron in tobacco, sunflower, soybean and bush bean plants. In: "Current topics. Plant Nutrition ". Dep. of Agr. Sci. Calif.

- Warnock, R.E. 1970. Micronutrient uptake and movility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorous-induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 765-769.
- Wood, M. J. and Kenny, T. 1968. Nutritional and cultural aspects of peat as a growing medium for tomatoes. Proc. of 6th Colloq. Int. Pot. Inst. pp. 342-351.
- Zaiter, H. Z., D. P .Coyne, R .B.Clark, and D.S. Nuland. 1986. Field, nutrient solution and temperatura effect upon iron leaf chlorosis of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Plant Nutr. 9: 397-415.
- Zaiter, H. Z., D.P.Coyne, and R.B.Clark. 1987.Genetic variation and inheritance of resistance of leaf iron-deficiency chlorosis in dry beans.J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 1019-1022.

VIII APÉNDICE

CUADRO 1A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila *a* en la etapa de floración Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	264 59984	88.19995	105.96 **	0 0001
VARIETADES (V)	1	2.08727	2 08727	2.51 ns	0 1188
DOSIS (D)	3	7.03196	2 34399	2 82 *	0.0471
V * D	3	1.24843	0 41614	0.50 ns	0 6838
FERTILIZACIÓN (F)	3	1 81741	0 60580	0.73 ns	0.5396
V * F	3	1.65146	0.55048	0 66 ns	0 5792
D * F	3	2.55707	0.85235	1.02 ns	0.3889
V * D * F	3	1.76357	0.58785	0.71 ns	0 5522
ERROR	57	47.44507	0.83237		
TOTAL	79	330 20209			

ns = no significativa $R^2 = 0.86$ CV = 11.5% $X = 7.91$ mg/L
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 2A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila *b* al momento de la floración. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	92.58343	30 86114	99.82 **	0 0001
VARIETADES (V)	1	0.80020	0 80020	2.59 ns	0 1132
DOSIS (D)	3	3 37112	1.12371	3 63 *	0 0180
V * D	3	0 48586	0 16195	0.52 ns	0 6677
FERTILIZACIÓN (F)	3	0 36237	0 12079	0 39 ns	0 7602
V * F	3	0.43786	0.14595	0.47 ns	0 7029
D * F	3	0.92193	0 30731	0 99 ns	0.4023
V * D * F	3	0 71049	0 23683	0.77 ns	0.5178
ERROR	57	17.62312	0 30918		
TOTAL	79	117.29638			

ns = no significativa $R^2 = 0.85$ CV = 14.4% $X = 3.86$ mg/L
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 3A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila *a* en madurez fisiológica. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	151.75724	50 58575	27.02 **	0 0001
VARIETADES (V)	1	0.58611	0.58611	0 31 ns	0.5780
DOSIS (D)	3	4.23039	1.41013	0.75 ns	0 5250
V * D	3	3.67546	1.22515	0 65 ns	0 5835
FERTILIZACIÓN (F)	3	11.46510	3 82170	2 04 ns	0 1183
V * F	3	4 23478	1.41159	0 75 ns	0 5246
D * F	3	12 20438	4 06812	2.17 ns	0 1011
V * D * F	3	1.15577	0 38525	0.21 ns	0.8920
ERROR	57	106 71302	1.87216		
TOTAL	79	296.02227			

ns = no significativa $R^2 = 0.64$ CV = 15.8% $X = 8.68$ mg/L
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 4A. Análisis de varianza para el contenido de clorofila *b* en madurez fisiológica. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	73.50624	24.50624	28.33 **	0.0001
VARIEDADES (V)	1	0.13033	0.13033	0.15 ns	0.6993
DOSIS (D)	3	1.22592	0.40864	0.47 ns	0.7026
V * D	3	1.80952	0.60317	0.70 ns	0.5574
FERTILIZACIÓN (F)	3	6.61963	2.20654	2.55 ns	0.0645
V * F	3	2.19133	0.73044	0.84 ns	0.4751
D * F	3	4.86722	1.62240	1.88 ns	0.1439
V * D * F	3	0.73224	0.24408	0.28 ns	0.8380
ERROR	57	49.29035	0.86474		
TOTAL	79	140.37279			

ns = no significativa $R^2=0.65$ CV=19.3% $X=4.82$ mg/L
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 5A. Análisis de varianza para materia seca en la floración. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	30.89003	10.29668	104.95 **	0.0001
VARIEDADES (V)	1	0.37618	0.37618	3.83 *	0.0551
DOSIS (D)	3	7.81037	2.60346	26.54 **	0.0001
V * D	3	0.65441	0.21814	2.22	0.0953
FERTILIZACIÓN (F)	3	2.05757	0.68586	6.99 **	0.0004
V * F	3	0.36991	0.12330	1.26 ns	0.2979
D * F	3	0.49610	0.16537	1.69 ns	0.1803
V * D * F	3	0.21962	0.07320	0.75 ns	0.5291
ERROR	57	5.59249	0.09811		
TOTAL	79	48.46670			

ns = no significativa $R^2=0.88$ CV=18.1% $X=1.73$ g/planta
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 6A. Análisis de varianza para materia seca en madurez fisiológica. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	193.36020	64.45340	5.71 **	0.0017
VARIEDADES (V)	1	662.14082	662.14082	58.62 **	0.0001
DOSIS (D)	3	11.48819	3.82939	0.34 ns	0.7972
V * D	3	66.27750	22.09250	1.96 ns	0.1309
FERTILIZACIÓN (F)	3	19.79028	6.59676	0.58 ns	0.6280
V * F	3	40.02240	13.34080	1.18 ns	0.3251
D * F	3	19.01283	6.33761	0.56 ns	0.6429
V * D * F	3	15.39282	5.13094	0.45 ns	0.7153
ERROR	57	643.88133	11.29616		
TOTAL	79	1671.36638			

ns = no significativa $R^2=0.61$ CV=33.2% $X=10.11$ g/planta
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 7A. Análisis de varianza para Fe total en la planta. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	3839924.638	1279974.879	16.59 **	0.0001
VARIETADES (V)	1	85993.786	85993.786	1.11 ns	0.2955
DOSIS (D)	3	45092.461	15030.820	0.19 ns	0.8995
V * D	3	572320.424	190773.475	2.47 ns	0.0708
FERTILIZACIÓN (F)	3	49583.147	16527.716	0.21 ns	0.8861
V * F	3	306990.768	102330.256	1.33 ns	0.2747
D * F	3	54952.063	18317.354	0.24 ns	0.8699
V * D * F	3	224375.125	74791.708	0.97 ns	0.4135
ERROR	57	4397291.976	77145.473		
TOTAL	79	9576524.387			

ns = no significativa $R^2=0.54$ CV= 50.8% X = 546.9 ppm.

* y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 8A. Análisis de varianza para Cu en la planta. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	89.80000	29.93333	2.69 *	0.0547
VARIETADES (V)	1	0.76241	0.76241	0.07 ns	0.7944
DOSIS (D)	3	141.65919	47.21973	4.25 **	0.0089
V * D	3	48.45156	16.15052	1.45 ns	0.2373
FERTILIZACIÓN (F)	3	324.19550	108.06517	9.72 **	0.0001
V * F	3	42.19996	14.06665	1.26 ns	0.2951
D * F	3	22.56250	7.52083	0.68 ns	0.5702
V * D * F	3	33.37500	11.12500	1.00 ns	0.3995
ERROR	57	633.99388	11.12270		
TOTAL	79	1337.00000			

ns = no significativa $R^2=0.52$ CV= 11.4 % X = 29.25 ppm

* y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 9A. Análisis de varianza para Mn en la planta Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	673.65000	224.55000	0.45 ns	0.7175
VARIETADES (V)	1	3552.00201	3552.00201	7.14 **	0.0098
DOSIS (D)	3	48539.30680	16179.76893	32.50 **	0.0001
V * D	3	226.64955	75.54985	0.15 ns	0.9281
FERTILIZACIÓN (F)	3	5650.54675	1882.51558	3.78 **	0.0152
V * F	3	1740.65740	580.21913	1.17 ns	0.3309
D * F	3	1754.12500	584.70833	1.17 ns	0.3275
V * D * F	3	846.31250	282.10417	0.57 ns	0.6392
ERROR	57	28374.70000	497.80175		
TOTAL	79	91357.95000			

ns = no significativa $R^2=0.69$ CV= 22.1% X = 100.72 ppm.

* y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 10A. Análisis de varianza para Zn en la planta. Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	833 43750	277.81250	3.49 *	0 0214
VARIETADES (V)	1	298.73885	298 73885	3.75 *	0.0577
DOSIS (D)	3	765 92465	255.30821	3.21 *	0 0298
V * D	3	318.83283	106.27761	1.33 ns	0.2722
FERTILIZACIÓN (F)	3	375.56021	125.18674	1.57 ns	0.2061
V * F	3	116 52178	38 84059	0 49 ns	0 6922
D * F	3	123.68750	41 22917	0 52 ns	0 6718
V * D * F	3	186.75000	62.25000	0 78 ns	0.5091
ERROR	57	4539 43418	79.63919		
TOTAL	79	7558 88750			

ns = no significativa $R^2=0.40$ CV=68.8% $X=12 96$ ppm.
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 11A. Análisis de varianza para longitud de planta (cm). Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	2368 91650	789 63883	5 24 **	0 0029
VARIETADES (V)	1	52891.78951	52891.78951	351.30 ***	0 0001
DOSIS (D)	3	1075.17429	358 39143	2.38 ns	0 0790
V * D	3	412 62278	137.54093	0.91 ns	0.4402
FERTILIZACIÓN (F)	3	1810.76261	603.58754	4.01 **	0 0117
V * F	3	2302.86993	767.62331	5.10 **	0 0034
D * F	3	397.39922	132.46641	0 88 ns	0 4570
V * D * F	3	988.47797	329.49266	2.19 ns	0 0993
ERROR	57	8581.96270	150.56075		
TOTAL	79	70829 97550			

ns = no significativa $R^2=0.88$ CV=17.9% $X= 68 23$ cm
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 12A. Análisis de varianza para rendimiento de grano (g/planta). Primavera de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	569 21707	189 73902	20 56 ***	0 0001
VARIETADES (V)	1	86 11419	86.11419	9 33 **	0 0034
DOSIS (D)	3	134.45551	44 81850	4 86 **	0 0045
V * D	3	1 59848	0 53283	0.06 ns	0.9816
FERTILIZACIÓN (F)	3	22.19489	7.38829	0 80 ns	0 4982
V * F	3	15 78687	5 26229	0 57 ns	0.6370
D * F	3	32 74188	10 91396	1.18 ns	0.3245
V * D * F	3	67.85821	22.61940	2.45 ns	0.0727
ERROR	57	526.11196	9.23003		
TOTAL	79	1456 07908			

ns = no significativa $R^2=0.64$ CV=19.8% $X= 15 31$ g/planta.
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 13A. Análisis de varianza para pH del suelo. Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	0.15857	0.05286	4.24 **	0.0110
VARIEDADES (V)	1	0.00071	0.00071	0.06 ns	0.8121
DOSIS (D)	3	2.34339	0.78113	62.63 **	0.0001
V * D	3	0.19303	0.06434	5.16 **	0.0042
FERTILIZACIÓN (F)	1	0.00330	0.00330	0.27 ns	0.6081
V * F	1	0.14083	0.14083	11.29 **	0.0018
D * F	2	0.027917	0.01396	1.12 ns	0.3368
V * D * F	2	0.28292	0.14146	11.34 **	0.0001
ERROR	39	0.48643	0.01247		
TOTAL	55	3.63714			

ns = no significativa $R^2=0.87$ CV=1.5 % $X=7.54$.
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 14A. Análisis de varianza para CE del suelo (dS/m). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	0.36085	0.12028	0.25 ns	0.8577
VARIEDADES	1	0.26469	0.26469	0.56 ns	0.4588
DOSIS	3	51.75187	17.25062	36.49 ***	0.0001
V * D	3	0.44937	0.14979	0.32 ns	0.8131
FERTILIZACIÓN	1	0.30083	0.30083	0.64 ns	0.4299
V * F	1	0.00083	0.00083	0.00 ns	0.9667
D * F	2	0.89542	0.44771	0.95 ns	0.3966
V * D * F	2	1.35792	0.67896	1.44 ns	0.2501
ERROR	39	18.43603	0.47272		
TOTAL	55	73.81781			

ns = no significativa $R^2=0.75$ CV= 23.5% $X=2.92$ dS/m.
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 15A. Análisis de varianza para P en el suelo (ppm). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	0.57143	0.19048	0.13 ns	0.9407
VARIEDADES	1	7.14286	7.14286	4.94 *	0.0322
DOSIS	3	20.16964	6.72321	4.65 **	0.0072
V * D	3	1.66964	0.55655	0.38 ns	0.7646
FERTILIZACIÓN	1	13.02083	13.02083	9.00 **	0.0047
V * F	1	1.02083	1.02083	0.71 ns	0.4060
D * F	2	8.16667	4.08333	2.82 ns	0.0717
V * D * F	2	2.66667	1.33333	0.92 ns	0.4064
ERROR	39	56.42857	1.44689		
TOTAL	55	110.85714			

ns = no significativa $R^2=0.49$ CV= 15.3% $X=7.86$ ppm
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 16A. Análisis de varianza para Fe en el suelo (ppm). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	385.57143	128.52381	0.79 ns	0.5053
VARIEDADES	1	2187.50000	2187.50000	13.49 **	0.0007
DOSIS	3	1438.08929	479.36309	2.96 *	0.0441
V * D	3	1411.37500	470.45833	2.90 *	0.0469
FERTILIZACIÓN	1	1430.08333	1430.08333	8.82 **	0.0051
V * F	1	901.33333	901.33333	5.56 *	0.0235
D * F	2	925.54167	462.77083	2.85 ns	0.0697
V * D * F	2	600.29167	300.14583	1.85 ns	0.1805
ERROR	39	6321.92857	162.10073		
TOTAL	55	15601.71429			

ns = no significativa $R^2=0.59$ CV=148 % $X=8.57$ ppm.
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 17A. Análisis de varianza para Cu en el suelo (ppm). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	4.78571	1.59524	1.72 ns	0.1792
VARIEDADES	1	5.78571	5.78571	6.23 *	0.0169
DOSIS	3	11.18750	3.72917	4.02 **	0.0139
V * D	3	6.90178	2.30059	2.48 ns	0.0755
FERTILIZACIÓN	1	1.68750	1.68750	1.82 ns	0.1854
V * F	1	1.68750	1.68750	1.82 ns	0.1854
D * F	2	5.37500	2.68750	2.89 ns	0.0673
V * D * F	2	0.87500	0.43750	0.47	0.6278
ERROR	39	36.21428	0.92857		
TOTAL	55	74.50000			

ns = no significativa $R^2=0.51$ CV=11.7% $X=8.25$ ppm.
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 18A. Análisis de varianza para Mn en el suelo (ppm). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	33.50000	11.16667	2.70 ns	0.0585
VARIEDADES	1	52.07143	52.07143	12.61 **	0.0010
DOSIS	3	89.17857	29.72619	7.20 **	0.0006
V * D	3	35.17857	11.72619	2.84 *	0.0503
FERTILIZACIÓN	1	3.00000	3.00000	0.73 ns	0.3992
V * F	1	3.00000	3.00000	0.73 ns	0.3992
D * F	2	81.50000	40.75000	9.87 **	0.0003
V * D * F	2	21.50000	10.75000	2.60 ns	0.0868
ERROR	39	161.00000	4.12820		
TOTAL	55	479.92857			

ns = no significativa $R^2=0.66$ CV=14.5% $X=14.03$ ppm.
 * y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 19A. Análisis de varianza para Zn en el suelo (ppm). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	638.76786	212.92262	0.78 ns	0.5112
VARIEDADES	1	2275.87500	2275.87500	8.36 **	0.0062
DOSIS	3	1388.86607	462.95535	1.70 ns	0.1828
V * D	3	1769.18750	589.72917	2.17 ns	0.1075
FERTILIZACIÓN	1	728.52083	728.52083	2.68 ns	0.1099
V * F	1	35.02083	35.02083	0.13 ns	0.7218
D * F	2	741.29167	370.64583	1.36 ns	0.2682
V * D * F	2	279.04167	139.52083	0.51 ns	0.6030
ERROR	39	10618.98214	272.28159		
TOTAL	55	18475.55357			

ns = no significativa $R^2=0.42$ CV= 76.4% X = 21.59 ppm.

* y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 20A. Análisis de varianza para materia seca (g/ planta). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	16.35432	5.45144	2.27 ns	0.0952
VARIEDADES	1	13.48483	13.48483	5.62 *	0.0228
DOSIS	3	27.56346	9.18782	3.83 *	0.0170
V * D	3	3.51721	1.17240	0.49 ns	0.6920
FERTILIZACIÓN	1	7.71203	7.71203	3.22 ns	0.0807
V * F	1	0.59407	0.59407	0.25 ns	0.6215
D * F	2	1.72313	0.86156	0.36 ns	0.7005
V * D * F	2	2.14929	1.07464	0.45 ns	0.6421
ERROR	39	93.52368	2.39804		
TOTAL	55	166.62202			

ns = no significativa $R^2=0.44$ CV=50.2% X = 3.08 g/planta

* y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 21A. Análisis de varianza para clorofila total (mg/L). Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	25.91723	8.63908	1.46 ns	0.2414
VARIEDADES	1	15.26746	15.26746	2.57 ns	0.1167
DOSIS	3	368.97095	122.99131	20.73 **	0.0001
V * D	3	15.70722	5.23574	0.88 ns	0.4585
FERTILIZACIÓN	1	10.53750	10.53750	1.78 ns	0.1903
V * F	1	0.03685	0.03685	0.01 ns	0.9376
D * F	2	3.83262	1.91631	0.32 ns	0.7259
V * D * F	2	13.29182	6.64591	1.12 ns	0.3365
ERROR	39	231.36096	5.93233		
TOTAL	55	684.92262			

ns = no significativa $R^2=0.66$ CV= 19.8% X = 12.32 mg/L.

* y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 22A. Análisis de varianza para el grado de clorosis visual. Verano de 1997.

FUENTE	gl	SC	CM	Fc	Pr > F
REPETICIÓN	3	0.05357	0.01786	0.06 ns	0.9794
VARIEDADES	1	0.87500	0.87500	3.05 ns	0.0887
DOSIS	3	26.35714	8.78571	30.60 **	0.0001
V * D	3	1.75000	0.58333	2.03 ns	0.1253
FERTILIZACIÓN	1	1.33333	1.33333	4.64 *	0.0374
V * F	1	0.08333	0.08333	0.29 ns	0.5931
D * F	2	0.16667	0.08333	0.29 ns	0.7497
V * D * F	2	1.16667	0.58333	2.03 ns	0.1447
ERROR	39	11.119643	0.28709		
TOTAL	55	42.98214			

ns = no significativa

$R^2=0.74$

CV=30.9 %

$X=1.73$

* y ** Significancia estadística con niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

CUADRO 23A. Temperatura máxima (T°max), mínima (T°min) y precipitación (mm) en el experimento. Primavera de 1997.

Dia	MARZO			ABRIL			MAYO		
	T°max (°C)	T°min (°C)	pp (mm)	T°max (°C)	T°min (°C)	pp (mm)	T°max (°C)	T°min (°C)	pp (mm)
1	38	21	0	24	15	4	29	21	0
2	28	9	0	23	17	0	38	21	0
3	30	10	0	29	15	0	31	15	0
4	32	12	0	33	11	0	31	15	0
5	30	13	0	30	11	0	31	21	0
6	17	10	0	29	15	0	30	21	0
7	23	11	0	21	15	17	31	19	0
8	31	20	0	26	15	2	32	19	0
9	30	17	0	24	15	7	28	15	24
10	29	16	0	24	15	0	21	15	0
11	28	14	58	35	11	0	29	15	0
12	28	21	33	19	8	0	29	17	0
13	34	14	0	17	8	0	29	16	8
14	33	11	0	17	8	0	33	18	0
15	14	10	0	15	12	0	31	19	7
16	15	12	3	22	15	8	28	16	1
17	26	14	0	21	14	11	31	17	0
18	26	14	17	21	15	24	30	17	0
19	24	6	0	32	15	0	33	21	0
20	30	9	0	30	20	0	31	20	0
21	31	13	0	38	16	0	31	19	0
22	32	12	0	38	16	0	31	19	2
23	32	13	0	25	17	0	32	17	0
24	31	16	0	25	17	0	33	19	0
25	31	12	0	31	15	0	41	23	0
26	16	12	2	25	12	7	41	23	0
27	28	14	0	21	7	0	36	17	8
28	35	15	0	31	7	0	31	17	0
29	35	13	0	33	12	0	32	21	0
30	20	13	0	38	15	0	34	20	0
31	19	12	10				34	17	16
			121			80			72

CUADRO 24A. Temperatura máxima (T°max), mínima (T°min) y precipitación (mm) en el experimento Verano de 1997

Dia	AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE		
	T°max (°C)	T°min (°C)	pp (mm)	T°max (°C)	T°min (°C)	pp (mm)	T°max (°C)	T°min (°C)	pp (mm)
1	38	23	0	36	22	0	34	20	0
2	35	23	0	36	20	0	32	20	0
3	38	23	0	39	20	0	33	19	0
4	39	21	0	28	20	2	35	20	0
5	38	22	0	33	20	0	32	20	10
6	40	24	0	35	20	0	29	21	4
7	40	23	0	36	20	0	29	22	4
8	40	24	0	36	20	0	33	21	0
9	41	24	0	39	20	0	32	22	35
10	41	25	0	36	20	39	31	22	3
11	41	22	0	36	22	0	30	20	0
12	39	22	0	36	23	0	30	20	4
13	38	23	0	36	22	0	24	11	0
14	39	22	0	36	22	0	22	7	0
15	39	23	0	38	22	0	24	7	0
16	40	23	0	36	22	0	25	7	0
17	41	24	0	39	22	0	26	8	0
18	41	23	0	38	23	0	28	8	0
19	40	23	0	36	22	0	31	11	0
20	39	23	0	36	22	4	28	11	0
21	41	23	0	34	22	18	29	16	0
22	41	23	0	32	22	0	29	18	0
23	41	23	0	38	20	0	32	15	0
24	36	22	3	28	19	34	34	15	0
25	35	21	0	31	16	0	36	14	0
26	35	22	0	33	15	0	22	10	0
27	36	22	0	35	15	0	21	10	0
28	38	24	0	35	15	0	19	12	0
29	38	22	0	35	16	0	28	13	2
30	39	23	0	35	20	0	29	15	0
31	38	22	0				35	15	0
			3			97			62

Cuadro 25A. Coeficientes de correlación (r) entre diferentes variables en planta Primavera de 1997.

Variable	Clorofila B floración (mg/L)	Dosis	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Materia seca en floración (g/planta)	Materia seca en madurez fisiológica (g/planta)	Rendimiento de grano (g/planta)
Clorofila A en floración (mg/L)	0.99 ***	0.14	0.19	0.28 **	-0.07	0.32 **	0.72 ***	-0.22 *	-0.16
Clorofila B en floración (mg/L)		0.17	0.18	0.28 **	-0.10	0.35 **	0.74 ***	-0.19	-0.14
Dosis			-0.03	0.32 **	-0.72 ***	0.28 **	0.39 **	0.17	0.28 **
Fe (ppm)				0.17	0.27 **	0.14	0.09	-0.33 **	-0.28 **
Cu (ppm)					-0.10	0.52 ***	0.29 **	0.03	-0.01
Mn (ppm)						-0.11	-0.31 **	-0.15	-0.17
Zn (ppm)							0.36 **	0.02	-0.08
Materia seca en floración (g/planta)								0.01	-0.03

*, ** y *** significancia con niveles de probabilidad de 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

Cuadro 26A. Coeficientes de correlación (r) entre varias características del suelo y de la planta. Verano de 1997

Variable	Clorofila A floración (mg/L)	Clorofila B floración (mg/L)	Clorofila total (mg/L)	Dosis de H ₂ SO ₄	pH suelo	CE suelo (dS/m)	Materia seca en floración (g/planta)	Fe total suelo (ppm)	Cu suelo (ppm)	Mn suelo (ppm)	Zn suelo (ppm)
Grado de clorosis	-0.53****	-0.59****	-0.57****	-0.64****	0.57****	0.58****	-0.31*	-0.11	0.20	-0.25	-0.31*
Clorofila A en floración (mg/L)		0.92****	0.99****	0.57****	-0.46**	0.61****	0.53****	0.09	-0.22	0.30*	0.53****
Clorofila B en floración (mg/L)			0.97****	0.66****	-0.40**	0.67****	0.59****	0.06	-0.30	0.25	0.59****
Clorofila total (mg/L)				0.62****	-0.44**	0.64****	0.56****	0.08	-0.26	0.28*	0.56****
Dosis de H ₂ SO ₄					-0.57****	0.76****	0.39**	0.28*	-0.34**	0.25	0.38**
pH suelo						0.67****	-0.19	-0.34**	0.17	-0.32**	-0.20
CE suelo (dS/m)							0.42**	0.30*	-0.27*	0.56****	0.42**
Materia seca en floración (g/planta)								0.07	-0.15	0.15	0.02
Fe total suelo (ppm)									0.07	0.29*	0.54****
Cu suelo (ppm)										0.20	0.45**
Mn suelo (ppm)											0.42**

*, **, y **** Significancia con niveles de probabilidad de 0.05, 0.01 y 0.001, respectivamente.

