

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

Estudio de la eficiencia de diferentes me-
dios de cultivo para estimar la capacidad
de respuesta a la tensión férrica del Fri-
jol (*Phaseolus vulgaris* L.).

FERNANDO GALVAN CASTILLO

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener
el grado académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

Especialidad en Fitomejoramiento

Buena Vista, Saltillo, Coahuila

1983

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE RESPUESTA A LA TENSION FERRICA DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

FERNANDO GALVAN CASTILLO

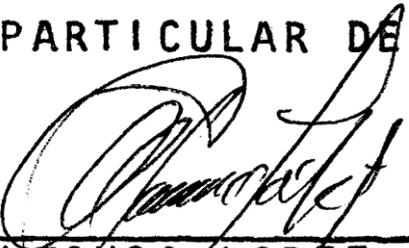
TESIS

REALIZADA BAJO LA DIRECCION DEL COMITE PARTICULAR DE ASESORIA, LA CUAL HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE :

DOCTOR EN CIENCIAS

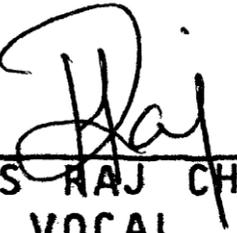
ESPECIALIDAD FITOMEJORAMIENTO

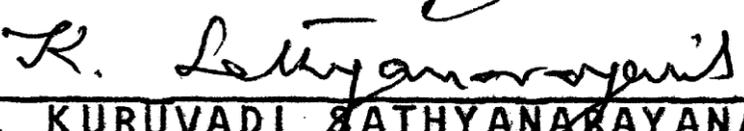
COMITE PARTICULAR DE ASESORIA

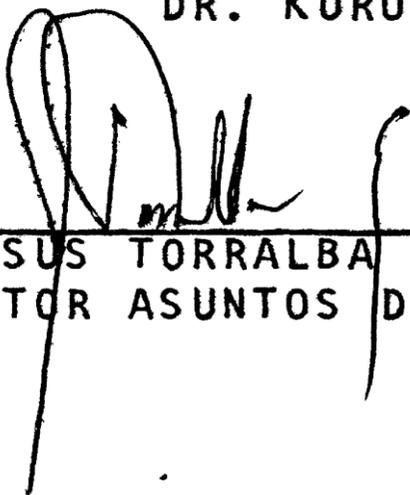

DR. ALFONSO LOPEZ BENITEZ
PRESIDENTE

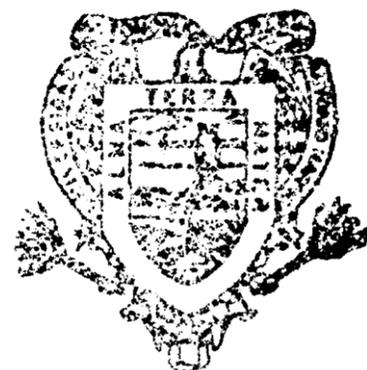

DR. DRAMPHAL SINGH
VOCAL


DR. HOMERO RAMIREZ RDZ.
VOCAL


DR. HANS RAJ CHAUDHARY
VOCAL


DR. KURUVADI SATHYANARAYANAIAH
VOCAL


DR. JESUS TORRALBA ELGUEZABAL
SUBDIRECTOR ASUNTOS DE POSTGRADO



AGOSTO DE 1983

BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE:

NATIVIDAD GALVAN SAUCEDO

(MI PADRE)

DR. MARIO CASTRO GIL

(MI MAESTRO)

CON RESPETO Y ADMIRACION A SUS VIDAS EJEMPLARES

A G R A D E C I M I E N T O S

Deseo expresar mi gratitud y reconocimiento a las instituciones que a través de su apoyo económico hicieron posible la realización de mis estudios

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS .

PATRONATO PARA LA INVESTIGACION, FOMENTO Y SANIDAD

VEGETAL DE MATAMOROS, TAMPS.

A través de mi comité particular de asesoría

Dr. Alfonso López Benítez

Dr. Homero Ramírez Rodríguez

Dr. Dramphal Singh

Dr. Hans Raj Chaudary

Dr. Kurudavi Sathyanarayanaiah

Mi agradecimiento a todos los maestros que participaron en mi formación Académica.

A mi esposa e hijos:

Julia García de Galván

Claudia Patricia, Fernando, Julia Leticia y

Sergio Alejandro.

Quiero agradecerles su infinita paciencia y comprensión a los sacrificios que hubieron de soportar para llevar a cabo mis estudios.

A mis compañeros y amigos mi gratitud por el apoyo que significó su amistad. Un reconocimiento muy especial al

Ing. Roberto Espinoza Zapata

Por su fe en el Programa de Doctorado de Pa U.A.A.A.N.

CONTENIDO

	PAGINA
INTRODUCCION -----	1
LITERATURA REVISADA -----	4
MATERIALES Y METODOS	
Determinación de la edad de la planta mas apropiada para evaluar la clorosis férrica en frijol -----	30
Influencia de la interacción genotipo-ambiente en la evaluacion de la clorosis férrica en frijol ----	36
Eficiencia de un medio hidropónico para evaluar la respuesta del frijol a la deficiencia de fierro ---	43
Efecto del tamaño del grano sobre la respuesta del frijol a la deficiencia de fierro en un medio hidro <u>p</u> ónico. -----	54
RESULTADOS	
Determinación de la edad de la planta más apropiada para evaluar la clorosis férrica en frijol -----	59
Influencia de la interacción genotipo-ambiente en la evaluación de la clorosis férrica en frijol ----	66
Eficiencia de un medio hidropónico para evaluar la respuesta del frijol a la deficiencia de fierro ---	72
Efecto del tamaño del grano sobre la respuesta del frijol a la deficiencia de fierro en un medio hidro <u>p</u> ónico -----	84
DISCUSION DE LOS RESULTADOS	
Determinación de la edad de la planta mas apropiada para evaluar la clorosis ferrica en frijol -----	89
Influencia de la interacción genotipo-ambiente en la evaluación de la clorosis férrica en frijol ----	95

Eficiencia de un medio hidropónico para evaluar la respuesta del frijol a la deficiencia de fierro --	103
Efecto del tamaño del grano sobre la respuesta del frijol a la deficiencia de fierro en un medio hidropónico. -----	110
CONCLUSIONES -----	114
RESUMEN -----	116
SUMMARY -----	118
LITERATURA CITADA -----	120
APENDICE -----	139

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
1	Genotipo de frijol incluído en en ensayo 1	31
2	Genotipos de frijol incluídos en el ensayo 2	32
3	Análisis de varianza combinado para los da tos de 50 genotipos de frijol agrupados en 2 ensayos -----	35
4	Esperanzas de los cuadrados medios del aná lisis de varianza del cuadro 3 -----	37
5	Datos climatológicos de los 3 ciclos de prueba	38
6	Análisis de varianza de los datos de 19 ge notipos de frijol evaluados en 3 ciclos de siembra -----	41
7	Esperanzas de los cuadros medios del análi lisis de varianza del cuadro 6 -----	42
8	Variedades de frijol empleadas en la eva luación de un medio hidropónico para produ cir clorosis férrica -----	44
9	Solución básica empleada como medio hidro pónico -----	47
10	Análisis de varianza combinado de los datos de 12 variedades de frijol evaluadas en un medio hidropónico -----	53
11	Esperanzas de los cuadrados medios del aná lisis de varianza del cuadro 10 -----	54
12	Tratamientos incluídos en el estudio del tamaño de grano -----	55

13	Análisis de varianza de los datos de 4 variedades de frijol separados en 2 tamaños de semilla -----	58
14	Varianzas estimadas en el estudio de épocas de lecturas de clorosis férrica en frijol-----	60
15	Análisis de varianza combinado considerando los 3 períodos de lectura de clorosis -----	61
16	Clorosis, peso de 100 semillas y rendimiento en grano de 6 genotipos de frijol evaluados en 2 ensayos -----	62
17	Rendimiento, peso de 100 semillas y grado de clorosis de los genotipos de frijol incluidos en el ensayo 1 -----	63
18	Rendimiento, peso de 100 semillas y grado de clorosis de los genotipos de frijol incluidos en el ensayo 2. -----	64
19	Heredabilidad de las distintas lecturas de clorosis y correlaciones entre ellas y con el peso de 100 semillas y rendimiento en grano -----	65
20	Varianzas estimadas en el estudio del efecto ambiental sobre la clorosis férrica en frijol -----	66
21	Grado de clorosis en 19 genotipos de frijol en 3 ciclos de prueba -----	67
22	Peso de 100 semillas (g) de 19 genotipos de frijol en 3 ciclos de prueba -----	68
23	Rendimiento en grano (t/ha) de 19 genotipos de frijol en 3 ciclos de prueba -----	71
24	Correlación entre las características evaluadas en el estudio del efecto ambiental sobre la clorosis férrica en frijol -----	72

25	Heredabilidad en el sentido amplio para 3 características de frijol -----	73
26	Características promedio de plantas de frijol (14 días) creciendo en 5 soluciones nutritivas en un cuarto de crecimiento -----	75
27	Varianzas estimadas para las causas de variación del estudio de deficiencia férrica en un medio hidropónico en frijol -----	76
28	Participación de la varianza estimada entre tratamientos en sus componentes ortoganales, del ANVA del experimento del cuadro 27	77
29	Efecto de la tensión férrica sobre las características de plantas de frijol (14 días) en un medio hidropónico -----	78
30	Características promedio, plantas de 14 días, de 12 variedades de frijol evaluadas en una solución nutritiva en condiciones controladas -----	79
31	Características promedio, plantas de 14 días, de 12 variedades de frijol evaluadas en 2 soluciones nutritivas deficientes en fierro en condiciones controladas -----	80
32	Clorosis, contenido férrico en la semilla y peso/semilla de 12 variedades de frijol	81
33	Partición de la varianza significativa entre variedades en sus componentes ortogonales del ANVA del cuadro 27-----	82
34	Heredabilidad (H^2) y correlaciones (r) entre el grado de clorosis y características de frijol de 14 días creciendo en 2 soluciones nutritivas deficientes en fierro	83

35	Varianzas estimadas para las causas de variación en el estudio del efecto del tamaño del grano sobre la clorosis férrica en medio hidropónico -----	85
36	Peso de 100 semillas para 4 variedades de frijol separadas en 2 tamaños de grano ---	86
37	Características promedio, plantas de 13, días, de 4 variedades de frijol separadas en 2 tamaños de grano y evaluadas en una solución nutritiva deficiente en fierro --	87
38	Características de 4 variedades de frijol, plantas de 13 días, evaluadas en solución nutritiva deficiente en fierro -----	87
39	Correlación (r), coeficiente de determinación (r^2) y regresión (b) entre el peso de 100 semillas y características de plantas de frijol de 13 días -----	88
40	Varianzas y covarianzas entre las características medidas en el estudio de épocas de lecturas de clorosis -----	140
41	Varianza y covarianzas entre las características medidas en el estudio de la interacción genotipo-ambiente -----	140
42	Varianzas genotípica, de la interacción genotipo-solución nutritiva, del error y fenotípica en el estudio de la clorosis férrica en un medio hidropónico -----	141
43	Covarianzas genotípica, de la interacción genotipo-solución nutritiva, del error y fenotípica, entre clorosis y las características que se indican, en el estudio de clorosis férrica en un medio hidropónico -	141

INTRODUCCION

La clorosis por deficiencia de hierro aprovechable en especies cultivables, es un problema que se localiza principalmente en regiones con suelos de origen calcáreo y escasa precipitación; en México alrededor de 52% del Territorio Nacional presenta esas características y en él se siembran alrededor de un millón de hectáreas de frijol. Normalmente para resolver este problema se recomienda excluir el cultivo del área afectada y en los casos menos severos se puede aplicar un corrector químico, sin embargo el control químico no es lo más apropiado, debido a que este problema incide en las regiones donde la aplicación de insumos suelo resulta difícil ó riesgosa.

Las plantas de frijol difieren en su capacidad de aprovechar el hierro presente en el suelo y el hecho de que esta capacidad sea heredable ofrece la alternativa de solucionar el problema de la clorosis férrica mediante la obtención de plantas que toleran y/o eviten las deficiencias críticas de hierro metabolizable. Esta solución a largo plazo resulta más económica y adecuada a la problemática socio-económica del cultivo del frijol en México.

Los factores que inciden para provocar la clorosis férrica son numerosos y pueden variar en importancia para diferen

tes localidades, esta complejidad de factores ocasiona múltiples interacciones que hacen que la respuesta de los genotipos varíe de un ciclo a otro y de una localidad a otra, resultando valores relativamente altos de interacción genotipo x ambiente; lo anterior provoca que la evaluación de la clorosis férrica bajo condiciones de campo sea difícil y como consecuencia el mejoramiento de plantas en esas condiciones es poco eficiente.

La literatura al respecto es escasa en frijol, es evidente la falta de información cuantificada sobre aspectos importantes como efectividad relativa de la evaluación de genotipos en condiciones de campo, metodología de evaluación, genotipos resistentes, efecto de la clorosis férrica sobre el rendimiento en grano y otros, el conocimiento de tales aspectos permitirá hacer una adecuada planeación de un programa de mejoramiento genético, cuyas metas sean obtener plantas que toleren las condiciones que provocan la clorosis férrica en frijol.

Teniendo como base los anteriores conceptos se proyectó el presente estudio el cual se desarrolló bajo las condiciones ambientales del noreste de Tamaulipas y cuyos principales objetivos fueron:

- a) Determinar la edad más apropiada para evaluar la clorosis férrica en frijol, bajo condiciones de campo.
- b) Caracterizar la interacción genotipo-ambiente como

factor afectando la evaluación de la clorosis férrica en frijol.

- c) Medir la eficiencia de un medio hidropónico para evaluar clorosis férrica en frijol.
- d) Cuantificar la influencia del tamaño de grano sobre la incidencia de la clorosis férrica en plántulas de frijol creciendo en una solución nutritiva.

REVISION DE LITERATURA

El hierro es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas superiores; a pesar de que el efecto primario del hierro no ha sido aún explicado, no existe ninguna duda acerca de su papel básico en la formación de la clorofila. Varios científicos creen que el hierro es un activador esencial para una ó varias de las enzimas catalizadoras de las reacciones involucradas en la formación de la clorofila (Wallace, 1961 y Price, et al, 1972).

El hierro además de su función clorofílica es una parte necesaria en los citocromos, células pigmentosas transportadoras de electrones en la fotosíntesis, también constituye una parte esencial de la ferredoxina, transportador de electrones al igual que los citocromos y tal vez de la reductasa nítrica, una de las enzimas participantes en la reducción de los nitratos a iones de amonio (Salisbury y Ross, 1969). Otras proteínas que contienen hierro son la catalasa, ferrocromo, peroxidasa y dehidrogenasa succinica. Recientemente se ha comprobado la participación del hierro en el metabolismo del RNA de los cloroplastos en células de Euglaena creciendo bajo deficiencia de hierro (Price, et al, 1972).

Debido a su papel en la planta, el síntoma característico de la deficiencia de hierro, es la ausencia de clorofila

lo cual produce un color amarillo en las hojas conocido comunmente como clorosis férrica (Welch y Gray, 1975). Esta se manifiesta primeramente en las hojas más jóvenes, permaneciendo verdes solo las venas. Los rangos de clorosis van desde un verde claro hasta un color casi blanco, dependiendo de la gravedad de la deficiencia; en condiciones severas de tensión férrica, las venas también pierden el color verde y las hojas presentan áreas necróticas que posteriormente se extienden, cuando esto sucede las hojas mueren y caen prematuramente (Nelson y Bear, 1949; Schwartz, et al 1978; Larsen, 1979 y Howeler, 1980). Bajo condiciones de campo la clorosis férrica se manifiesta en manchones de forma irregular, el síntoma característico de la deficiencia de fierro puede ser enmascarado por factores ambientales como sequía, drenaje pobre, grado de acidez en el suelo, daño de insectos y enfermedades y la deficiencia ó excesos de otros nutrientes en el suelo y la planta (Gray, et al, 1974).

Aún cuando la deficiencia de fierro es observado comunmente en plantas cultivadas y árboles frutales creciendo en suelos calcáreos de las regiones áridas y semiáridas, no necesariamente está confinada a esas condiciones y especies; la clorosis férrica prevalece sobre gramíneas, leguminosas, árboles frutales, vegetales, muchas especies ornamentales y algunos árboles de sombra (Brown, et al, 1972 y Welch y Gray, 1975), este amplio rango de especies susceptibles impide confinar en un patrón geográfico la deficiencia de fierro (Kubota y Allaway, 1972).

El hierro es el elemento más abundante de la tierra, con siderando a ésta en su totalidad y es el cuarto en abundan cia en las rocas que componen la corteza terrestre. Comunmen te está presente en dos valencias, lo que aunado a su abundan cia le da una gran versatilidad para formar numerosos compues tos estables, principalmente con azufre, oxígeno y silicio. Las condiciones fuertemente oxidantes que existen en la su perficie de la tierra, ocasionan que en ella prevalezcan princi palmente compuestos férricos, los cuales son ordinariamente insolubles y de difícil movilización (Krauskopf, 1972 y Brown, 1978). La cantidad de hierro requerido por un culti vo típico durante una estación de crecimiento es de aproximada mamente 5 a 10 kg/ha (una concentración menor a 0.5 ppm en la capa arable), se estima que la mayoría de los suelos con tienen unas 40,000 veces más hierro en la capa arable que el necesario para la mayoría de los cultivos (Lindsay, 1974 y Olsen, et al, 1981). De acuerdo con lo anterior, el proble ma de la deficiencia de hierro no es de suplementación sino de solubilidad, por lo tanto una planta para crecer y prospe rar en un suelo bajo tensión férrica, tiene que contar con un mecanismo apropiado para solubilizar el hierro (Olsen, et al, 1981).

La reducción del Fe^{3+} a Fe^{2+} es obligatoria para que el hierro pueda ser absorbido por las raíces de la planta (Olsen, 1972 y Tiffin, 1972), la reducción ocurre principalmente en las raíces laterales jóvenes y entre las regiones de elongación y maduración de la raíz primaria, que coincide con

el segmento de mayor absorción; los sitios específicos de reducción son el protoxilema y también se ha propuesto la parte externa del plasmalema (Ambler, et al, 1971; Moore, 1972 y Brown, 1978); resultados recientes indican que la capacidad de las raíces de frijol para reducir el hierro quelatado, bajo condiciones de tensión férrica, se debe a una enzima ligada a la membrana, en la corteza radical (Bienfait, et al, 1982).

El Fe^{2+} quelatado absorbido por las raíces es oxidado a Fe^{3+} en la vecindad del metaxilema, donde es quelatado por citratos y transportado a través del protoxilema, dentro del metaxilema, a la parte superior de la planta como citrato férrico (Basiouny, et al, 1977 y Brown, 1978). El hecho de que las plantas presenten rápidamente clorosis en los nuevos crecimientos, cuando se les suprime el hierro, mientras que los tejidos más antiguos permanecen verdes, indica que los tejidos nuevos dependen de la continua suplementación de hierro externo para la formación de su clorofila, sin movilizar el hierro presente en los tejidos viejos. Se ha demostrado en naranjos y duraznos que el hierro tiende a incrementar su concentración con la edad de las hojas (Tiffin, 1972). La translocación del hierro difiere de los patrones de comportamiento comunes para otros iones y está probablemente determinado por factores metabólicos no relacionados con la anatomía de la raíz (Clarkson y Sanderson, 1978). Las hojas tienen considerablemente más hierro que los peciolo y tallos, los cuales son similares entre sí, presentándose

concentraciones ligeramente mayores en los puntos de creci
miento (Rediske y Biddulph, 1953 y Coyne, 1982). Otras evi
dencias indican que las plantas almacenan fierro en un com
plejo proteico llamado fitoferretin, el cual puede ser movi
lizado y juega un papel importante en los estadíos tardíos
 de desarrollo, pero aún no es muy claro como ocurre esto (Ti
 ffin, 1972).

Las evidencias indican que previo a la incorporación del
 fierro dentro de los productos metabólicos (porfirinas, sis
temas enzimáticos y otros) ó de su utilización en cualquier
 otra forma, el Fe^{3+} debe ser reducido nuevamente a Fe^{2+} , és
to explica el que los tejidos de las plantas cloróticas pue
dan contener en ocasiones, tanto fierro total por unidad de
 peso como los tejidos verdes de una planta sana. El Fe^{3+} es
 reducido a Fe^{2+} mediante una reacción fitoquímica inducida
 por la luz en el rango azul a ultravioleta (Olsen, et al, 1981).

La absorción, el transporte y la utilización del fierro
 son inhibidas por concentraciones altas de fosfatos, carbona
tos, calcio, potasio y de metales pesados (Zn, Mn, Cu, Ni y Mg),
 todos ellos forman compuestos insolubles con el fierro y lo
 precipitan, incrementos del pH en el medio también decrecen
 la solubilidad del fierro (Rediske y Biddulph, 1953; Brown,
et al, 1955; Brown, 1967; Knezek y Greinert, 1971 ; Brown,
 1972; Brown, et al, 1972 ; Moore, 1972; Olsen, 1972; Tiffin,
 1972; Moore, 1974; Brown y Jones, 1975; Wallace, et al, 1977;
 Wallace, et al, 1978; Brown, 1979; Pandey y Kanan, 1979; Olsen,

et al, 1981; Wallace, et al, 1982). Los factores que reducen el metabolismo de la planta, bajas temperaturas por ejemplo, así como la concentración y clase de agentes quelatantes, afectan también la absorción, movilización y por lo tanto la utilización del hierro por la planta. (Brown, et al, 1960 y Basiouny, et al, 1977). Concentraciones relativamente altas de NH_4 reducen la absorción del hierro, principalmente cuando el nivel de este es bajo. El NH_4 en exceso también produce quemaduras en las hojas debido a la formación de NH_4OH , sobre todo en presencia de CaCO_3 (Wallace, et al 1979). Los niveles a los que ocurre la inactivación del hierro son muy variables, dependiendo de la especie y del medio de cultivo, por lo cual no es posible generalizar los rangos de concentración más adecuados para los diferentes compuestos (Tiffin, 1972).

Opuestamente los citratos y otros ácidos orgánicos comunes en las plantas estimulan la solubilidad y utilización del hierro (Tiffin, 1972; Brown, 1978). De esta manera el citrato juega un papel doble en la nutrición férrica, primero como agente transportador de Fe^{3+} y segundo mejorando la reducción de Fe^{3+} en una reacción fotoquímica inducida por la luz del sol (Olsen, et al, 1981). La presencia de cianuro y la agregación de cenizas de carbón en el medio de cultivo, mejoran la absorción del hierro por las plantas de frijol (Israelstam, 1979; Wallace, et al, 1977 y Wallace, et al, 1977).

Las semillas germinadas comunmente contienen suficiente fierro para suplementar los requerimientos de la planta en los estados primarios de crecimiento; en soya suficiente fierro es suplementado desde los cotiledones para mantener una planta verde hasta la aparición de la primera hoja trifoliada, pero a partir de ahí necesita una rápida exportación de nutrientes para el establecimiento de la plántula o el crecimiento de la planta adulta. La movilización del fierro empieza con la imbibición de agua por la semilla, originalmente el movimiento férrico ocurre por el floema y asegura su solubilidad y movilización mediante la formación de quelatos con compuestos orgánicos. En soya la translocación del fierro desde la semilla se acelera bajo condiciones de deficiencia férrica. La pérdida en dos días de cantidades significativas de fierro, en semillas de frijol y soya, hacia el papel toalla donde fueron germinadas, indica que se trata de una sustancia muy soluble en agua, de difusión relativamente rápida y probablemente quelatada. Desafortunadamente no se ha puesto atención a la forma férrica que de ahí se difunde (Tiffin, 1972).

De acuerdo con lo expresado las plantas superiores requieren de una continua suplementación de fierro para un adecuado crecimiento, por lo que cualquier factor que interfiera con la absorción, translocación y metabolismo del fierro produce clorosis férrica (Brown, et al, 1972); los problemas de deficiencia de fierro en relación con las condiciones del suelo son muy complejos, debido al hecho de que comunmente

es inducida, además no siempre es muy claro si la deficiencia observada en la planta resulta de una reducida absorción de hierro por las raíces o de inactivación del elemento dentro del tejido de la planta (Wallace, 1961). Entre los factores ambientales que contribuyen a la clorosis férrica en las plantas podemos citar (Lucas y Knezek, 1972):

- . Bajo nivel de hierro en las plantas
- . Carbonatos de calcio libres
- . Altos niveles de ácidos carbónicos
- . Humedad extrema
- . Alto contenido de metales pesados
- . Alto contenido de fósforo en el suelo
- . Aereación pobre
- . Temperaturas extremas
- . Excesivo manejo del suelo
- . Bajo contenido de materia orgánica
- . Excesiva acidez en el suelo
- . Factores genéticos
- . Daños a la raíz

El control de la clorosis férrica en un principio se ha intentado de acuerdo con la estrategia que el hombre ha definido para resolver su problema alimenticio, tratando de modificar el ambiente por cualquier medio a su alcance con el fin de obtener altos rendimientos y dirigiendo sus esfuerzos hacia la obtención de plantas altamente productivas, restándole importancia a aquéllas que por sus características podían

resistir naturalmente condiciones adversas.

La estrategia seleccionada gira alrededor de dos premisas fundamentales: 1) Selección y desarrollo de variedades con potencial de rendimiento y 2) Alteración del microhabitat por medios químicos y físicos, para inducir a las plantas a producir tanto como sea posible (Olsen, et al, 1981). Desde este punto de vista, numerosas recomendaciones han sido sugeridas para el control de la clorosis férrica, las cuales podemos resumir en los siguientes métodos:

1) Asperación de soluciones de fierro a las hojas. Los productos comunmente usados han sido Fe_2SO_4 y quelatos sintéticos de fierro. Generalmente se requiere de varias aplicaciones y deben seguirse cuidadosamente las instrucciones porque existe el riesgo de causar quemaduras a las plantas, sobre todo con el sulfato ferroso (Larrea, 1969 ; Leal y Obando, 1969; Ortíz y Carnero, 1969; Leal y Carmona, 1971; Leal y Vázquez, 1971; Manjarrez, et al 1971 ; Rodríguez y Moreno, 1971 y Brown, 1976).

2) Inyecciones de sales y soluciones de fierro en ramas y tallos. Esta recomendación está limitada por sus altos costos y por el riesgo de daños por sales e infecciones. (Brown, 1976).

3) Aplicación al suelo de fierro útil a las plantas. Comunmente esta solución es inefectiva por las mismas causas que originan la clorosis férrica (Brown, 1976 y Rusell, 1978).

4) Preinundación del suelo. Lo cual aumenta la solubilidad del hierro y la actividad microbiana (Longoria, et al, 1971; Pérez y Alcalde, 1973; García, et al 1978 y Yoshida y Tadano, 1978).

5) Mejoramiento de las prácticas de irrigación y drenaje y siembra de cultivos de cobertura (Brown, 1976).

6) Eliminación del arado profundo y reducción del laboreo al mínimo (Brown, 1976).

No obstante que la aplicación foliar de nutrientes puede ser un método satisfactorio para disminuir ciertos problemas de la deficiencia de elementos minerales, que no son efectivamente corregidos por otros medios, parece dudoso que tales aplicaciones puedan ser adoptadas ventajosamente como un medio de suplementación continua para cultivos creciendo en el campo (Aung, 1974).

En general, la principal desventaja del uso de productos químicos en la solución del problema de la clorosis férrica, estriba en el hecho de que numerosos agricultores, especialmente los de los países subdesarrollados, no pueden aplicarlos, por los altos costos. Actualmente existe una tendencia al incremento en el valor de los productos agroquímicos agravando aún más la situación y haciéndolos prácticamente inaccesibles para aquellos que los necesitan más urgentemente (Olsen, et al, 1981; Stangel, 1976). Otro riesgo que implica la solución química de la clorosis férrica lo ejemplifica

claramente el uso de quelatos sintéticos, éstos han sido usados exitosamente, pero no necesariamente en forma económica, para corregir la tensión férrica, sin embargo y antes de generalizar su uso, debe entenderse su efecto sobre el balance de los elementos nutritivos en el suelo, porque pueden conducir a problemas edáficos desconocidos en la actualidad ; el destino final del quelato también debe ser conocido para evitar efectos dañinos o de contaminación (Brown, et al 1972 ; Wallace, et al 1974).

El hecho de que las plantas difieren en su capacidad para usar el fierro en suelos con problemas de clorosis férrica y que esa capacidad es heredable, ofrece una alternativa de solución ecológicamente no contaminante, conservadora de energía y a largo plazo más económica que la solución química, ya que permite un control más permanente del problema. Las plantas son calificadas como Fe-eficientes si en respuesta a la tensión inducen reacciones bioquímicas que les permiten disponer de fierro utilizable. Las plantas son Fe-inefi^cientes en el caso contrario (Brown, 1961; Brown, et al, 1967; Brown, et al, 1972 y Brown y Jones, 1977).

Las reacciones bioquímicas involucradas en la respuesta de las plantas Fe-eficientes a la deficiencia de fierro constituyen el mecanismo de respuesta a la tensión férrica, el cual de acuerdo con evidencias experimentales consiste en lo siguiente (Brown, et al, 1972; Price et al, 1972; Wilkinson, 1972 y Olsen, et al, 1981).

1) Al momento que la planta entra en tensión por déficiencia de fierro metabolizable, evidenciado por el amarillamiento de las hojas más jóvenes, las raíces liberan iones H^+ , acidificando el medio de crecimiento, la acidificación se piensa es restringida a la fina película de solución del suelo que rodea la raíz y a la superficie en íntimo contacto con la misma, ya que las plantas adyacentes reciben poco ó ningún beneficio.

2) Simultáneamente como el suelo se acidifica, compuestos capaces de reducir Fe^{3+} se mueven a través de las barreras periféricas de la raíz hacia el medio ambiente. Uno de esos compuestos bastante conocido, es el ácido cafeíco, el cual es sintetizado por la planta a partir de ácido paracoumarico (no reductor de fierro).

3) Las plantas incrementan la concentración de ácidos orgánicos (especialmente citratos) en la raíz.

Los microorganismos asociados en la rizosfera también liberan compuestos quelatantes que solubilizan el fierro, las plantas Fe-eficientes al reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} obtienen una ventaja sobre los microorganismos en la capacidad de absorber el nutriente solubilizado. Las plantas Fe-eficientes también liberan compuestos como los fenoles ortodihidróxilos que exhiben tendencia a quelatar al fierro y en consecuencia proporcionan otra forma de solubilizar el fierro. El mecanismo de respuesta a la tensión férrica cesa cuando desapa

rece la causa que lo origina y reaparece si la tensión férrica se presenta de nuevo (Olsen, et al, 1981).

Otra clasificación establece cuatro clases de plantas de acuerdo con su mecanismo de respuesta a la tensión férrica en un medio con nitratos como fuente de nitrógeno (Egmond y Atkas, 1977):

1) Plantas que bajo condiciones normales tienen una moderada liberación de iones OH por la raíz y que responden a la tensión férrica liberando iones H. Originando una disminución en la absorción de aniones y estimulando la absorción de cationes. El girasol y la remolacha pertenecen a esta clase.

2) Plantas con las mismas características que las anteriores, pero en las que la liberación de iones H reduce tanto la absorción de cationes como la de aniones, siendo estos últimos los más afectados. La soya Fe-eficiente es un ejemplo de esta categoría.

3) Plantas con moderada liberación de iones OH bajo condiciones normales y que solo disminuye ligeramente esa liberación en condiciones deficientes en hierro utilizable. El trigo y el maíz Fe-ineficientes pertenecen a esta categoría.

4) Plantas con reducida liberación de iones OH bajo condiciones normales, pero que ante niveles críticos de hierro aumentan esa liberación. La soya Fe-ineficiente entra en

esta clase.

De acuerdo con lo anterior un proceso que puede aumentar la capacidad de la planta para captar nutrientes es la intercepción radicular, aun cuando es cuestionable, existen pocas dudas acerca de que la intensidad de exploración del suelo por las raíces tiene una gran influencia sobre la suplementación total de nutrientes. La exploración y explotación del suelo son asegurados por la rápida elongación de la raíz principal y la subsecuente proliferación de raíces laterales. Un temprano desarrollo de un extensivo sistema radicular hace a las plantas más eficientes para absorber nutrientes en un limitado volúmen de suelo (Epstein y Jefferies, 1964; Clarkson y Hanson, 1980; Wilkinson, 1972).

Aunque hasta ahora todos los mecanismos de respuesta a la tensión férrica han sido relacionados con el sistema radicular y la absorción del fierro, debemos tener presente que el mecanismo mediante el cual se induce la absorción y el transporte selectivo de iones en las plantas no reside solamente en las raíces. La transferencia del ion dentro del tejido conductor, el subsecuente movimiento dentro del xilema y el floema, la absorción por las células del tallo y las hojas y su reexportación de ahí a otros sitios de utilización, son algunos de los procesos implicados y en los cuales el fierro puede ser inutilizado por diversos factores; por lo tanto, el transporte de iones o grupos de iones relacionados, puede ser abolido o modificado por un evento genético sin

efecto aparente sobre el transporte de iones, (Epstein y Jefferies, 1964).

En soya, maíz y tomate la resistencia a la clorosis férrica está gobernada por un gen dominante sobre su alelo de susceptibilidad, en soya también se ha determinado la acción de genes modificadores (Rodríguez, 1971; Brown, 1976); en frijol las plantas susceptibles son homocigotas recesivas para dos pares de genes mayores (Coyne, 1982). El transporte ineficiente del hierro desde la raíz hasta la porción aérea de un mutante de tomate está controlado por un factor genético recesivo (Wann y Hill, 1977). La evaluación y selección de genotipos ha permitido la identificación de variedades eficientes bajo condiciones de deficiencia de hierro en especies, tales como: soya, frijol, tomate, girasol, avena, maíz, algodón, cacahuate, sorgo y zacate, no existiendo ninguna evidencia que indique que comparables diferencias varietales no pueden ser encontradas en otras especies (Olsen, et al, 1981; Brown y Jones, 1977; Brown, et al, 1967; McDaniel y Dunphy, 1978; Brown y McDaniel, 1978; Foy, et al, 1977; Hartzook et al, 1974). El uso de selección recurrente, evaluación de líneas S_1 , para mejorar la resistencia a la clorosis férrica de una población de soya, produjo un mejoramiento lineal significativo en el grado de clorosis del ciclo 0 al 2. El mejoramiento genético en la población indica que la resistencia a la clorosis por deficiencia de hierro está influida por genes con efectos aditivos (Prohaska y Fehr, 1981). La eficiencia de las plantas para crecer bajo condiciones críticas de

fierro, por lo tanto puede ser mejorada acumulando genes que incrementen la absorción del Fe o que decrezcan la interferencia de factores antagónicos como el fósforo (Mikesell, et al, 1973).

La identificación y selección de genotipos con tolerancia a la tensión férrica, requiere de técnicas adecuadas de discriminación, mediante las cuales pueda medirse o asegurarse la respuesta de un conjunto de genotipos a la deficiencia. El mejoramiento genético de las plantas para tensión ambiental puede efectuarse mediante los procedimientos siguientes (Lewis Christiansen, 1981).

- . Mejoramiento indirecto
- . Mejoramiento directo
- . Mejoramiento bajo condiciones controladas
- . Ingeniería genética

En los métodos de mejoramiento directos e indirectos, los programas de mejoramiento de plantas usualmente evalúan sus genotipos prometedores en diferentes ambientes (años y localidades), para estar en condiciones de decidir cuales se seleccionan para ser usados como variedades mejoradas por los agricultores; sin embargo, con frecuencia ocurre que la respuesta de los genotipos en los distintos ambientes es afectada por factores relacionados con esos ambientes, produciéndose la interacción genotipo-ambiente, que hace difícil demostrar la superioridad de las líneas o variedades sobresalient

tes. La interacción genotipo-ambiente produce cambios en la posición relativa de los genotipos o modifica la magnitud de las diferencias entre ellos de un ambiente a otro, el progreso por selección es también reducido cuando la interacción genotipo-ambiente es grande. (Nguyen, et al, 1989; Gray, 1982 y Miller, et al, 1959).

El principal problema de la interacción genotipo-ambiente es su complejidad, existen una infinidad de posibles combinaciones entre los diferentes factores que caracterizan los ambientes de prueba y los investigadores solo pueden estudiar una pequeña muestra de esas interacciones (Gray, 1982). Los fitomejoradores tratando de reducir los efectos negativos de la interacción genotipo-ambiente, han realizado significativos avances en su medición y entendimiento. Algunos han puesto énfasis en la estimación de la magnitud de la interacción y utilizan la información obtenida para desarrollar métodos de selección más precisos. Otros creen que la eficiencia del fitomejoramiento solo será mejorada si clasificamos los caminos a través de los cuales las características económicas de las plantas son alcanzadas. Aún otros piensan que la solución más adecuada es definir que tipos de sistemas genéticos son los idóneos para un comportamiento alto y estable (Allard y Bradshaw, 1964).

La estratificación de los ambientes ha sido usado efectivamente para reducir la interacción genotipo-ambiente, esta estratificación usualmente está basada en diferencias de

factores como gradientes de temperatura, distribución de la lluvia y tipos de suelo. Sin embargo, a pesar de este refinamiento de la técnica, considerable interacción genotipo-ambiente frecuentemente permanece con valores de alta magnitud, la variación ambiental para la cual la estratificación no es efectiva se conoce como impredecible (Eberhart y Russell, 1966). Las diferencias en la respuesta relativa de los genotipos de un ambiente a otro pueden ser medidas por regresión, este procedimiento conocido comunmente como parámetro de estabilidad ha sido usado ampliamente en el análisis de las interacciones genotipo-ambiente en varias especies cultivadas (Gray, 1982 y Eberhart y Russell, 1966). Dos problemas principales cuestionan el uso de los parámetros de estabilidad, el primero se relaciona con el hecho que la selección para estabilidad generalmente significa selección para rendimientos medios bajos y el segundo se refiere a que dicha metodología pasa por alto la frecuencia con que se presentan las diferentes situaciones ambientales que conducen a esas interacciones (Fox y Rosielle, 1982).

En resumen los rasgos morfológicos y fisiológicos de un grupo de variedades adaptadas a un ambiente específico pueden tener mucho en común, siendo posible definir las características de la planta ideal adaptada a tal ambiente específico; lo totalmente opuesto es de esperarse, al tratar de definir todas las posibles combinaciones de una serie de características necesarias para proporcionar una buena adaptabilidad general a un amplio conjunto de condiciones ambientales

(Finlay y Wilkinson, 1963).

Las plantas originarias de regiones con suelos calcáreos presentan rendimientos mayores en pH's altos; bajo deficiencia de hierro toman más tiempo para desarrollar clorosis férrica, producen más rápidamente nuevas raíces y son capaces de remover más hierro de la solución del suelo que las plantas provenientes de un medio ácido. Estas últimas acumulan altos niveles de fósforo en las hojas cuando crecen en ambientes alcalinos y consecuentemente exhiben altos promedios en la relación P/Fe, clorosis y síntomas de toxicidad por fósforo (Ladiges, 1977; Olsen, et al, 1981; García, 1979 y Mikesell, et al, 1977).

Las leguminosas son generalmente más sensitivas a factores ambientales que otras plantas cultivadas, zacates por ejemplo (Russell, 1978), plántulas de frijol creciendo en un medio libre de hierro redujeron drásticamente el tamaño de la raíz; el crecimiento de follaje también fue severamente retardado y el clásico síntoma de clorosis apareció (Newman y Prinz, 1979). Estudios sobre especies leguminosas indican que entre ellas existe una gran influencia del tamaño de grano sobre las características de las plántulas, principalmente tamaño y vigor, lo cual da una gran ventaja a las variedades con grano de mayor tamaño en la emergencia y establecimiento bajo condiciones agrícolas (Lush y Wien 1980 y Narayan, et al, 1981).

El reto del mejoramiento de plantas para resistencia a condiciones desfavorables, es idear procedimientos empíricos que a la vez que permitan el mejoramiento de las plantas para resistir los factores que determinan la tensión ambiental, hagan posible la evaluación de un número suficiente de plantas para lograr la intensidad de presión de selección necesaria para asegurar el mejoramiento genético (Specht y Williams, 1978).

El mejoramiento de plantas para resistencia a la tensión ambiental, requiere del concurso interdisciplinario de fisiólogos, bioquímicos, edafólogos, genetistas y fitomejoradores. El conocimiento de las propiedades fisiológicas y bioquímicas involucradas en la tolerancia a condiciones específicas del suelo y el estudio y selección de poblaciones segregantes y variedades para detectar diferencias, proporcionarán las herramientas que facilitarán y simplificarán el trabajo involucrado en el desarrollo de nuevas variedades que puedan ser cultivadas en suelos problema, conociéndose además las razones exactas para la adaptación diferencial (Specht y Williams, 1978; Brown, et al, 1972; Russell, 1978).

Un aspecto muy importante en el mejoramiento de plantas para tensión ambiental, es la ausencia de índices apropiados para la identificación de variedades resistentes; el sistema radicular por su papel esencial en la absorción de agua y nutrientes, debe ser de especial interés en la búsqueda de material genético tolerante a la deficiencia de hierro, pero

poco conocemos acerca de la variabilidad presente en el sistema radicular de los genotipos cultivados comunmente. El efecto que sobre el desarrollo de las partes aéreas de la planta, tiene el desarrollo del sistema radicular, medido a través de la relación raíz/parte aérea, nos proporcionará un índice del comportamiento de cada órgano en condiciones específicas de crecimiento. (Aung, 1974).

El propósito primario de los trabajos de este tipo debe ser el obtener datos sobre características no-económicas, pero de fácil evaluación y determinar si están correlacionadas genéticamente con caracteres importantes y de ser así, si la heredabilidad para cualquiera de esas características no-económicas es lo suficiente grande para hacer de ella un criterio de selección. La correlación, medida por el coeficiente de correlación, mide el grado de asociación entre dos o más características, la causa de la correlación puede ser genética o ambiental. Si la asociación genética existe, selección para una característica causará cambios en la otra característica, ocurriendo lo que se conoce como respuesta correlacionada. (Hallauer y Miranda, 1981).

La heredabilidad indica la efectividad con la cual la selección de genotipos puede ser basada sobre el comportamiento fenotípico, su utilidad se incrementa cuando es usada con juntamente con el diferencial de selección, ya que el producto de ambas predice el avance genético esperado. Otro término de utilidad para predecir el avance genético esperado, es

el coeficiente de variación genética, el cual multiplicado por el índice de selección expresa el efecto máximo de la selección, mientras que la heredabilidad indica que tan aproximadamente este máximo puede ser aprovechado (Hallauer y Miranda, 1981; Falconer, 1970; Jhonson, et al, 1955 y Hanson, et al, 1956).

Existe en soya una relación lineal negativa entre la producción del grano y el grado de clorosis, bastan ligeros amarillamientos en las hojas para producir reducciones significativas en los rendimientos de grano (Froelich y Fehr, 1981). La obtención de un alto coeficiente de correlación entre el rendimiento de líneas de soya en suelos calcáreos y no calcáreos, abre la posibilidad de evaluar para rendimiento a las líneas resistentes a clorosis férrica en suelos sin problema con reducido riesgo de eliminar germoplasma valioso eficiente (Niebur y Fehr, 1981).

La hidroponia o cultivo de plantas sin suelo, proporciona a los investigadores un medio donde pueden hacer crecer un gran número de plantas en una forma económica, en espacios cortos y con un control aceptable de las condiciones ambientales. Los medios de cultivo más comunmente usados en hidroponia son soluciones nutritivas, arena, cascajo, aserrín, vermiculita, musgo y combinaciones de ellos, existiendo diversas opciones para su utilización (Resh, 1978; Douglas, 1976 y Asher y Edwards, 1978).

El cultivo de plantas en soluciones nutritivas ofrece un medio práctico y homogéneo de controlar con precisión el ambiente químico de las raíces y en el cual éstas pueden ser caracterizadas. El crecimiento radicular es afectado en forma no perceptible por pH's en el rango de 4 a 8 si suficiente Ca está disponible y si excesos tóxicos de algunos elementos son evitados. El uso del método ha mostrado que se puede obtener un excelente crecimiento a concentraciones de elementos nutritivos comparables a las ocurridas en la solución del suelo (Asher y Edwards, 1978). Solamente 16 elementos con considerados esenciales para el crecimiento de las plantas superiores. Ellos son arbitrariamente divididos en macroelementos y microelementos, los macroelementos incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, carbono, oxígeno e hidrógeno; los microelementos son fierro, cloro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno (Wallace, 1961).

Alguna de las muchas soluciones nutritivas reportadas y su composición en ppm se enlistan a continuación:

Hoagland y Snyder.- 200 Ca; 48 Mg; 234 K; 210 N; 31 P; 64 S; 0.6 Cl; 84 Fe; 0.5 Mn; 0.02 Cu; 0.05 Zn; 0.5 B; 0.01 Mo (Resh, 1978).

Steinberg.- 25 Ca; 3.4 Mg; 41 K; 34 N; 16 P; 14 S; 0.1 Cl; 2.0 Fe; 0.06 Mn; 0.005 Cu; 0.02 Zn; 0.03 B; 0.005 Mo (García, 1979).

Brown.- 76 Ca; 11 mg; 81 K; 83 N; 4 P; 10 S; 9 Cl; 3 Fe; 0.33 Mn; 0.03 Cu; 0.1 Zn; 0.52 B; 0.03 Mo (Brown, 1976).

Ohki.- 10 Ca; 24 Mg; 134 K; 105 N; 31 P; 33 S; 0.001 Cl; 2.8 Fe; 0.5 Mn; 0.01 Cu; 0.025 Zn; 0.5 B; 0.005 Mo. (García, 1979).

Clark.- 135 Ca; 26 Mg; 55 K; 22 N; 3 P; 11 S; 12 Cl; 0.6 Fe; 0.5 Mn; 0.04 Cu; 0.15 Zn; 0.26 B; 0.1 Mo. (Clark, et al 1981).

Larsen.- 180 Ca; 48 Mg; 280 K; 170 N; 50 P; 110 S; 3 Fe; 0.5 Mn; 0.05 Cu; 0.1 Zn; 0.5 B; 0.01 Mo (Larsen, 1978).

Resh.- 197 Ca; 44 Mg; 400 K; 175 N; 65 P; 198 S; 2 Fe; 0.5 Mn; 0.03 Cu; 0.05 Zn; 0.5 B; 0.01 Mo (Resh, 1978).

La concentración óptima dependerá del tipo de cultivo y las condiciones climáticas del medio (luz, temperatura, humedad y otros); como resultado de la absorción diferencial de los distintos elementos, la composición de las soluciones nutritivas está cambiando constantemente, ya que a diferencia de la solución del suelo, la solución nutritiva no es constantemente regenerada por la mineralización de la materia orgánica, disolución de los minerales del suelo escasamente solubles o por reacciones de adsorción-desadsorción con componentes de la fase sólida del sistema. El grado de agotamiento de la solución nutritiva dependerá de la concentración inicial de los iones, el volúmen de solución proporcionado por planta y del

tamaño y grado de crecimiento de la planta. La vida económica de una solución nutritiva es de aproximadamente 2 a 3 semanas, pudiéndose ampliar este período mediante análisis semanales y ajustando la solución (Asher y Edwards, 1978 y Resh, 1978).

Entre los aspectos negativos de los medios hidropónicos podemos mencionar el que algunas especies presentan desórdenes fisiológicos, diferenciándose las variedades en su adaptabilidad al medio de cultivo; las enfermedades causadas por hongos, bacterias o virus también encuentran en la hidroponia un medio propicio para su propagación rápida en todo el sistema, finalmente desórdenes nutricionales (toxicidad o deficiencia) pueden presentarse causados por una preparación incorrecta de la solución nutritiva. Todos los anteriores aspectos deben tenerse en cuenta al seleccionar un medio hidropónico para cultivar plantas (Resh, 1978, Douglas, 1976).

Algunas soluciones nutritivas han sido utilizadas para diferenciar plantas de sorgo por su respuesta a la deficiencia de fierro; incrementos por encima de lo normal de factores, tales como fósforo, carbonatos de calcio y nitratos de amonio, inducen tensión férrica en las plantas desarrollándose en el medio (Brown, 1976; García, 1979 y Clark, et al, 1981). El estado de plántula (10 días) parece ser la condición óptima para discriminar genotipos de sorgo por su respuesta a la deficiencia de fierro en hidroponia y en cámara de crecimiento; los excesos de fósforo reproducen más eficiente las con-

diciones de deficiencia de fierro metabolizable (Clark, et al, 1981).

El uso de suelo con problemas de deficiencia de fierro aprovechable como medio de cultivo, bajo condiciones de laboratorio, es otro procedimiento que ha sido utilizado con éxito para diferenciar genotipos de sorgo por su resistencia a la tensión férrica, pero la respuesta de los genotipos no necesariamente ha sido la misma que cuando se desarrollaron en una solución nutritiva deficiente en fierro solubilizado (García, 1979 y Clark et al, 1981); diferencias más amplias en producción de materia seca entre genotipos, han sido observadas cuando crecen en soluciones nutritivas que cuando se desarrollan en suelo (Clark, et al, 1981).

Los resultados obtenidos en sorgo indican que la hidroponia representa un medio de reducir el número de genotipos usualmente involucrados en las fases iniciales de un programa de mejoramiento, pero necesitan ser correlacionados con resultados de campo sobre aspectos económicos importantes como producción de materia seca y rendimiento de grano (Clark, et al, 1981).

MATERIALES Y METODOS

Tratando de lograr los objetivos planteados se realizaron 4 estudios, en seguida de hará una descripción por separado de los materiales y métodos utilizados para cada uno de ellos.

DETERMINACION DE LA EDAD DE LA PLANTA MAS APROPIADA PARA E-VALUAR LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

Con el objeto de determinar la época de crecimiento apropiado para estimar la respuesta de las plantas de frijol a la clorosis férrica se evaluaron 36 líneas experimentales, 2 variedades comerciales y 6 testigos, agrupados en 2 ensayos con 25 entradas cada uno. Los testigos se repitieron en ambos grupos.

En los cuadros 1 y 2 se presentan los materiales genéticos incluidos en este estudio.

Estos materiales son líneas experimentales generadas por el programa de mejoramiento genético de frijol en CAERIB y han sido seleccionadas a través de varios ciclos por su potencial de rendimiento. Los testigos son líneas experimentales y variedades del mismo programa que han mostrado comportamiento sobresaliente. Estos materiales cubren un amplio rango de características agronómicas por lo que representan una muestra de amplia variabilidad.

CUADRO 1.- GENOTIPOS DE FRIJOL INCLUIDOS EN EL ENSAYO 1.

GENOTIPO	PEDIGREE	PROGENITOR (ES)
LEF-9-RB	11-778-F-MEC-F-6-8T-M-4-U	S. JAMAPA 44 x PUE 144
LEF-16-RB	11-736-F-MEC-F4-15T-M-1-1-U	PUE 144 x S. JAMAPA 44
LEF-30-RB	11-755-F-MEC-F5-17T-M-5-2-U	VER 101-9-1-2x S. JAMAPA 3
LFRB-1	PI-321-637	COLECCION SILVESTRE
LFRB-2	PI-239-056	COLECCION SILVESTRE
LFRB-3	PI-321-638	COLECCION SILVESTRE
LFRB-4	TCH-400-M4T-7-1-1-U	TOCHE-400
LFRB-5	TCH-400-M4T-6-1-1-U	TOCHE-400
LFRB-6	111-22-F-T-1-3-U	AGRAMEJO
LFRB-7	111-21-F-T-1-1-U	DELICIAS 71
LFRB-8	111-1-F-T-132-1-U	DELICIAS 71
LFRB-9	11-F-MEC-36-91	CAN 101 x P. NAC.
LFRB-10	11-F-MEC-36-33	CAN 101 x P. NAC.
LFRB-11	111-9-F-T-2-1-U	LEF-19-RB
LFRB-12	111-11-F-T-12-2-U	MULATO
LFRB-13	111-12-F-T-2-1-U	CIATERO
NEGRO HUASTECO	-	VAR. REGIONAL
DELICIAS 71	-	VAR. COMERCIAL
JAMAPA	-	VAR. COMERCIAL
LEF-11-RB*	11-743-F-MEC-F5-20T-M-5-1-U	CC-111-54-2-3x PUE 144
CIATERO*	11-783-F-MEC-F5-25T-M-1-U	S. JAMAPA 8 x PUE 144
AZABACHE*	11-771-F-MEC-F6-16T-U	JAMAPA x VER 101-9-1-2
MULATO*	11-758-F-MEC-F5-22T-M-1-U	11-209-8-1 x PUE 144
AGRAMEJO*	AGR -23+76+21-M	AGRARISTA
AGRARISTA*	-	VAR. REGIONAL

* Testigos

El estudio se desarrolló en el CAERIB, en el Municipio de Río Bravo, Tamaulipas, en el noreste de México, aproximadamente en los 25°58' de latitud norte y 90°01' de longitud oeste. Ambos ensayos se situaron uno junto al otro en un suelo serie Villa de Cárdenas, los cuales son suelos aluviales, recientes, profundos (más de 200 cm), arcillosos, con tendencia a presentar problemas de sales, con drenaje superficial de lento a moderado, el manto freático se localiza a 164 cm; con tendencia a elevar su nivel durante la época de riego o lluvias (SARH, 1981). La temperatura media registrada durante el experimento fué de 25.6°C, con mínimas y máximas promedio entre los 20.6 y 30.6°C. La precipitación total en el período de siembra a cosecha fué de 83.5 mm. El promedio de ho

ras-luz fué aproximadamente de 12.6. En la preparación del terreno, siembra y cuidado del cultivo se siguieron las recomendaciones que para frijol hace el CAERIB en la región (Galván, 1975).

CUADRO 2. GENOTIPO DE FRIJOL INCLUIDOS EN EL ENSAYO 2.

GENOTIPO	PEDIGREE	PROGENITOR (ES)
S-17-RB	111-36-F-T-4-1-U	LEF-7-RB
S-18-RB	111-6-F-T-95-1-U	LEF-14-RB
LFRB-14	111-22-F-T-15-1-M	AGRAMEJO
LFRB-15	111-13-F-T-18-1-U	LEF-12-RB
LFRB-16	111-11-F-T-8-1-U	MULATO
LFRB-17	111-11-F-T-8-2-U	MULATO
LFRB-18	111-16-F-T-8-1-U	LEF-11-RB
LFRB-19	111-31-F-T-2-1-U	LEF-16-RB
LFRB-20	111-20-F-T-1-2-U	AZABACHE
LFRB-21	111-6-F-T-113-1-U	LEF-14-RB
LFRB-22	111-6-F-T-82-2-U	LEF-14-RB
LFRB-23	111-5-F-T-206-3-U	S.JAMAPA 44xPUE 144
LFRB-24	111-5-F-T-205-1-U	S.JAMAPA 44xPUE 144
LFRB-25	PI-319-551	COLECCION SILVESTRE
LFRB-26	PI-200-749	COLECCION SILVESTRE
LFRB-27	111-41-F-T-15-1-U	S.JAMAPA 3xCC-111-54-2-3
LFRB-28	111-42-F-T-1-3-U	S.JAMAPA 3x CC-111-54-2-3
LFRB-29	111-42-F-T-1-4-U	S.JAMAPA 3x CC-111-54-2-3
LFRB-30	111-43-F-T-4-2-U	CC-111-54-2-3xS.JAMAPA 35
LEF-11-RB*	11-743-F-MEC-F5-20T-M-5-1-U	CC-111-54-2-3- x PUE 144
CIATERO*	11-783-F-MEC-F5-25T-M-1-U	S.JAMAPA 8 x PUE 144
AZABACHE*	11-771-F-MEC-F6-16T-U	JAMAPA x VER-101-9-1-2
MULATO*	11-758-F-MEC-F5-22T-M-1-U	11-209-8-1- x PUE 144
AGRAMEJO*	AGR-23+76+21-M	AGRARISTA
AGRARISTA*	-	VAR. REGIONAL

* Testigos

La parcela experimental constó de 4 surcos de 5 m de largo, con una distancia entre surcos de 0.8 m, para un total de 16 m^2 ; para la parcela útil se utilizaron los 4 surcos a los que se eliminó 0.5 m en cada extremo, cosechándose en total 12.8 m^2 .

Los datos experimentales considerados fueron:

- Grado de clorosis a los 17 días después de la siembra (CLO 1).
- Grado de clorosis a los 39 días después de la siembra (CLO 2).

- Grado de clorosis a los 55 días después de la siembra (CLO 3).
- Peso de 100 semillas (PCS).
- Rendimiento en grano (RT0).

El grado de clorosis se determinó visualmente de acuerdo con el amarillamiento en las hojas más jóvenes, los grados de clorosis fueron: 0 ningún síntoma, 1 ligero amarillamiento, 2 amarillamiento moderado, 3 amarillo intenso, 4 amarillo severo sin necrosis y 5 amarillo blanquecino con necrosis. La metodología anterior está basada en la reportada por Rodríguez Vázquez (1978) con ligeras modificaciones. Los períodos de lectura estuvieron determinados por la época de aparición de la clorosis férrica sobre las plantas, la primera lectura se hizo en estado de 1a. ó 2a. hoja trifoliada y las últimas 2 se realizaron después de la aplicación de los riegos de auxilio, ya que bajo esta condición la clorosis se hace más evidente y se logra una clasificación más precisa de su incidencia.

El peso de 100 semillas y el rendimiento en grano se determinaron simultáneamente; después de cosechada la semilla se secó al sol por varios días y se obtuvo el peso de grano por parcela, de ahí se separó una muestra de 100 semillas y también se registró su peso, posteriormente se realizó la transformación a kg/ha.

El diseño experimental fué bloques al azar con 2 repeticiones para cada uno de los ensayos. El análisis de variancia

za combinado se obtuvo bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = U + g_i + r_{j(i)} + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Observación en el i^{avo} ensayo de la k^{ava} variedad en la j^{ava} repetición.

U = Media general de todas las observaciones posibles para la situación específica del experimento.

g_i = Efecto promedio del i^{avo} ensayo con respecto a la media general U ; por lo tanto

$$g_i = \bar{y}_{i..} - \bar{y} \dots \quad \text{y} \quad \sum g_i = 0$$

$r_{j(i)}$ = Efecto promedio de la j^{ava} repetición dentro del i^{avo} ensayo con respecto a la media general U ; por lo tanto

$$r_{j(i)} = \bar{y}_{ij.} - \bar{y} \dots \quad \text{y} \quad \sum r_{j(i)} = 0$$

$v_{k(i)}$ = Efecto promedio de la k^{ava} variedad dentro del i^{avo} ensayo con respecto a la media general U ; por lo tanto

$$v_{k(i)} = \bar{y}_{i.k} - \bar{y} \dots \quad \text{y} \quad \sum v_{k(i)} = 0$$

e_{ijk} = Error experimental asociado a la k^{ava} variedad en j^{ava} repetición en el i^{avo} grupo. Se asume que el error experimental es independiente y se dis

tribuye normalmente con media 0 y varianza S^2_e .

En el cuadro 3 se presenta la forma empleada en el análisis de varianza de los datos experimentales.

CUADRO 3.- ANALISIS DE VARIANZA COMBINADO PARA LOS DATOS DE 50 GENOTIPOS DE FRIJOL AGRUPADOS EN 2 ENSAYOS.

CV	G.L.	SC	CM
TOTAL	$grv-1$	$\sum X^2_{ijk} - X^2_{...}/grv$	
GRUPOS (g)	$g-1$	$\sum X^2_{i..}/rv - X^2_{...}/grv$	
REPETICIONES/g (r/g)	$(r-1)g$	$\sum X^2_{ij.}/v - \sum X^2_{i..}/rv$	
VARIETADES/g (v/g)	$(v-1)g$	$\sum X^2_{i.k}/r - \sum X^2_{i..}/rv$	M2
ERROR (e)	$(r-1)(v-1)g$	$\sum X^2_{ijk} - \sum X^2_{ij.}/v - \sum X^2_{i.k}/r + \sum X^2_{i..}/rv$	M1

No obstante que el grupo de variedades usadas en este experimento no representan una población en especial y el modelo estadístico empleado no permite la estimación de parámetros genéticos, hemos asumido con fines prácticos y tomando en consideración la escasa información que existe al respecto en frijol, que los materiales son líneas endogámicas extraídas al azar de una población hipotética y que por lo tanto es posible estimar las varianzas genéticas para cada una de las características consideradas en el estudio (cuadro 4); teniendo en cuenta las mismas suposiciones se estimaron las covarianzas genéticas entre todas las variables esti

madas, solo que en este caso se utilizaron las esperanzas de productos medios. Para todo ello se siguieron los procedimientos sugeridos por Jhonson, et al (1955) y Hallauer y Miranda (1981), por lo tanto:

$$S_g^2 = S_v^2 = (M_2 - M_1)/rg : S_f^2 = S_g^2 + S_e^2/rg; CVe = (Se/\bar{X}) 100$$

$$r_{xy} = S_{xy}/S_x \cdot S_y$$

donde:

g = número de ensayos

r = número de repeticiones

v = número de variedades

S_f^2 , S_g^2 , S_e^2 = Varianza fenotípica, genotípica y del error experimental respectivamente.

CVe = Coeficiente de variación del error experimental.

\bar{X} = Valor medio de la característica considerada.

r = Correlación que puede deberse a efectos fenotípicos, genotipos y del error experimental.

S_{xy} = Covarianza entre (X) y (Y) que puede deberse a efectos fenotípicos, genotípicos y del error experimental.

INFLUENCIA DE LA INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE EN LA EVALUACION DE LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

El segundo estudio bajo condiciones de campo consistentió en la evaluación de 19 genotipos de frijol durante 3 ciclos de siembra, con la finalidad de cuantificar el efecto ambiental sobre las diferencias varietales con respecto a

la incidencia de clorosis férrica. Los materiales genéticos incluidos se enlistan a continuación:

LFRB-1	LFRB-18	AGRAMEJO
LFRB-2	LFRB-15	MULATO
LFRB-3	LFRB-23	AZABACHE
LFRB-26	LFRB-30	CIATEÑO
LFRB-14	S-17-RB	AGRARISTA
LFRB-17	S-18-RB	JAMAPA

CUADRO 4.- ESPERANZAS DE LOS CUADRADOS MEDIOS DEL ANALISIS DE VARIANZA DEL CUADRO 3.

CV	CM	ECM
TOTAL		
GRUPOS (g)		
REPETICIONES/g (r/g)		
VARIETADES/g (v/g)	M2	$S_e^2 + rg S_v^2$
ERROR (e)	M1	S_e^2

Las variedades Agrarista, Jamapa y Delicias 71 fueron consideradas como testigos, la primera es una variedad regional del norte de Tamaulipas, que por lo mismo presenta una gran adaptación a las condiciones ambientales del área del estudio; las dos últimas son las variedades de mayor uso en las siembras comerciales de la región. Los pedigree y pro

genitores de los genotipos evaluados se presentan en los cuadros 1 y 2.

El resto de las líneas y variedades evaluadas son materiales que han presentado alto potencial de rendimiento a través de las evaluaciones que el programa de frijol ha realizado en diferentes localidades del área de influencia del CAERIB, como en el experimento anterior sus orígenes diversos y diferentes características agronómicas los hacen una muestra ampliamente variable.

En el cuadro 5 se presentan las condiciones climáticas promedio que prevalecieron durante el desarrollo del estudio en los 3 ciclos de siembra. También se indican las fechas de siembra y cosecha.

CUADRO 5.- DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LOS 3 CICLOS DE PRUEBA*.

P A R A M E T R O	C I C L O S		
	PRIMAVERA-1	OTOÑO	PRIMAVERA - 2
Fecha de siembra	Marzo 8	Agosto 20	Febrero 28
Fecha de cosecha promedio	Junio 3	Diciembre 8	Mayo 27
Temperatura mínima (°C)	20.6	19.6	20.8
Temperatura media (°C)	25.6	24.1	24.8
Temperatura máxima (°C)	30.6	28.6	28.7
Precipitación pluvial (mm)	83.5	337.7	316.3
Horas-luz	12.6	11.7	12.6
Localización	CAERIB	CAERIB	CAERIB

* Según reporte del Ing. Rafael Maciel Rdz. Estación Climatológica del CAERIB.

El suelo donde se desarrollaron los experimentos corresponde al de la descripción hecha en el primer estudio ya que los 3 ciclos de siembra se localizaron en el CAERIB. También la preparación del terreno, siembra, cuidado del cultivo y las dimensiones de la parcela experimental y útil corresponden a la descripción hecha en el estudio anterior.

Los datos experimentales considerados fueron:

Grado de clorosis (CLO)

Peso de 100 semillas (PCS)

Rendimiento en grano (RT0)

Todos ellos se estimaron de acuerdo con el procedi - miento descrito en el estudio anterior, la época de lectura de la clorosis varió entre los 45 y 55 días después de la siembra para los diferentes ciclos de siembra (55 en primavera 1 y 2 y 45 en Otoño), esta variación ocurrió porque la estimación se hizo después de la aplicación de riego o de la presencia de lluvias, para aprovechar la manifestación más clara de la clorosis férrica bajo esta condición.

La evaluación de los genotipos se hizo en un diseño de bloques al azar con dos repeticiones en cada ciclo, el análisis estadístico combinado de la información de los

3 ciclos se realizó siguiendo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = U + c_i + r_{j(i)} + v_k + cv_{ik} + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Observación en el i^{avo} ciclo de la k^{ava} variedad en la j^{ava} repetición.

U = Media general de todas las observaciones posibles para la situación específica del experimento.

c_i = Efecto promedio de la i^{avo} ciclo con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$c_i = \bar{y}_{i..} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum c_i = 0$$

$r_{j(i)}$ = Efecto promedio de la j^{ava} repetición dentro del i^{avo} ciclo con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$r_{j(i)} = \bar{y}_{ij.} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum r_{j(i)} = 0$$

v_k = Efecto promedio de la k^{ava} variedad con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$v_k = \bar{y}_{..k} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum v_k = 0$$

cv_{ik} = Efecto promedio de la k^{ava} variedad en el i^{avo} ciclo con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$ev_{ik} = \bar{y}_{i.k} - \bar{y} \dots \quad y \quad \sum cv_{ik} = 0$$

e_{ijk} = Error experimental asociado a la k^{ava} variedad de la j^{ava} repetición en el i^{avo} ciclo. Se asume que el error experimental es independiente y se distribuye normalmente con media 0 y varianza S_e^2 .

El analisis de varianza se desarrolló como se indica en cuadro 6.

CUADRO 6.- ANALISIS DE VARIANZA DE LOS DATOS DE 19 GENOTIPOS DE FRIJOL EVALUADOS EN 3 CICLOS DE SIEMBRA.

CV	G.L.	SC	CM
TOTAL	$crv-1$	$\sum X^2_{ijk} - X^2_{...} / crv$	
CICLOS (c)	$c-1$	$\sum X^2_{i..} / rv - X^2_{...} / crv$	
REPETICIONES/c (r/c)	$(r-1)c$	$\sum X^2_{ij.} / v - \sum X^2_{i..} / rv$	
VARIETADES (v)	$(v-1)$	$\sum X^2_{..k} / cr - X^2_{...} / crv$	M3
v x c	$(v-1)(c-1)$	$\sum X^2_{i.k} / r - \sum X^2_{i..} / rv - \sum X^2_{..k} / cr + X^2_{...} / crv$	M2
ERROR (e)	$(v-1)(r-1)c$	$\sum X^2_{ijk} - \sum X^2_{ij.} / v - \sum X^2_{i.k} / r + \sum X^2_{i..} / rv$	M1

Bajo los mismos supuestos del estudio anterior se calcularon las esperanzas de los cuadrados medios para estimar la heredabilidad en sentido amplio y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre la incidencia de clorosis y las variables peso de 100 semillas y rendimiento en grano (cuadro 7). Por lo tanto:

$$s_g^2 = s_v^2 = (M_3 - M_2)/rc; s_{ga}^2 = s_{vc}^2 = (M_2 - M_1)/r; s_f^2 = s_g^2 + s_{ga}^2/c + s_e^2/rc.$$

$$H^2 = (s_g^2 / s_f^2) 100$$

donde:

c = número de ciclos de pruebas

r = número de repeticiones

v = número de variedades.

$s_f^2, s_g^2, s_{ga}^2, s_e^2$ = Varianza fenotípica, genotípica genotípica-ambiental y del error experimental respectivamente.

H^2 = Heredabilidad en el sentido amplio.

CUADRO 7.- ESPERANZAS DE LOS CUADRADOS MEDIOS DEL ANALISIS DE VARIANZA DEL CUADRO 6.

CV	CM	ECM
TOTAL		
CICLOS (c)		
REPETICIONES/ c (r/c)		
VARIETADES (v)	M3	$s_e^2 + r s_{vc}^2 + rc s_v^2$
$v \times c$	M2	$s_e^2 + r s_{vc}^2$
ERROR (e)	M1	s_e^2

Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las características estudiadas y el coeficiente de variación del error experimental se estimaron siguiendo los procedimientos descritos en el primer estudio.

EFICIENCIA DE UN MEDIO HIDROPONICO PARA EVALUAR LA RESPUESTA DEL FRIJOL A LA DEFICIENCIA DEL FIERRO.

Tratando de estudiar la factibilidad de evaluar la capacidad de frijol para resistir la deficiencia férrica bajo condiciones controladas se proyectó el presente trabajo. Los materiales empleados en este estudio son variedades comerciales de uso común en distintas regiones del país ó en proceso de liberación y que representan una amplia gama de variabilidad genética por sus orígenes diversos (cuadro 8). Comprenden variedades de los programas de mejoramiento genético de los campos experimentales de Río Bravo y Culiacán en INIA y de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Los primeros 7 materiales en el listado del Cuadro 8 provinieron de Río Bravo, Tamps., Navidad 1165 fué cosechada en Saltillo, Coah.; Flor de Mayo se obtuvo en Querétaro, Qro. y las últimas 3 variedades del listado fueron enviadas de Culiacan, Sin. Las variedades de Culiacán y Río Bravo pertenecen al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), exceptuando Affidavitt que se obtuvo a través de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), las variedades Campeón, Navidad 1165 y Flor de Mayo fueron cedidas por el programa de mejoramiento genético de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

CUADRO 8.- VARIEDADES DE FRIJOL EMPLEADAS EN LA EVALUACION DE UN MEDIO HIDROPONICO PARA PRODUCIR CLOROSIS FERRICA.

VARIEDAD	COLOR DE GRANO	PESO DE 100 SEMILLAS (GRS)	ORIGEN DE LA SEMILLA
Ciateño (CTN)	café claro	18	Tamaulipas
Agrarista (AGR)	café claro	18	Tamaulipas
Azabache (AZB)	negro	18	Tamaulipas
Jamapa (JPA)	negro	15	Tamaulipas
P. Norteño (NTN)	pinto café	22	Tamaulipas
Delicias 71 (DLC)	pinto café	18	Tamaulipas
Affidavitt (AFF)	pinto café	32	Tamaulipas
Navidad 1165 (NVD)	pinto café	29	Coahuila
Flor de Mayo (FMY)	morado	30	Querétaro
A. Amarillo (AAM)	crema	18	Sinaloa
CIAS 72 (C72)	crema	51	Sinaloa
Canario 101 (C101)	crema	38	Sinaloa

El germoplasma fué seleccionado en base a la variación que presentaron en su respuesta a la deficiencia de fierro, en pruebas de campo en distintas épocas y localidades, se trató además de conjuntar un grupo de variedades genéticamente distintas con características comerciales, tomando en consideración que en los estudios previos los genotipos más sobresalientes presentaron un tipo de grano poco comercial o bajos rendimientos.

Las variedades Ciateño, Agrarista, Canario 101, CIAS-71, Pinto Norteño, Delicias 71, Azabache, Jamapa, Azufrado Amarillo y Affidavitt han presentando diferentes grados de clorosis en evaluaciones realizadas bajo las condiciones ambientales del CAERIB, mientras que Navidad 1165, Flor de Mayo,

Ciateño, Agrarista, Pinto Norteño, Delicias 71, Azabache y Jamapa también han mostrado tolerancia diferencial a la deficiencia de hierro al crecer en las condiciones de suelo del campo agrícola experimental de la U.A.A.A.N. en Navidad, N.L.

En base a esas observaciones las variedades de este grupo con mayor tolerancia eran Agrarista, Ciateño y Navidad 1165, mientras que el resto de los genotipos mostraban clara susceptibilidad aunque en diferente grado, destacándose en este aspecto las variedades de grano negro Jamapa y Azabache, por lo tanto los 5 materiales mencionados se consideraron como testigos.

Para este estudio se utilizó un local diseñado en el CAERIB para el crecimiento de plantas bajo condiciones controladas, en el cual con anterioridad se habían desarrollado normalmente plantas de sorgo, su descripción es la siguiente: paredes aislantes a la temperatura, contándose con 9 m² de mesas de madera; la luz fué proporcionada mediante 54 focos de 40 watts y 24 barras de luz diurna de 75 watts montados en una estructura especialmente diseñada y colocada a 1.5 m sobre el nivel de las mesas. Los períodos luminosos para nuestro estudio fueron de 16 hrs de luz, por 8 hrs de oscuridad, regulados mediante un controlador automático del tiempo. La temperatura diurna se mantuvo alrededor de los 27°C y la nocturna en 24°C, con variaciones en ambos casos de $\pm 2^\circ\text{C}$, utilizándose para ello un enfriador de aire de 12,000 BTU. Las condiciones ambientales se escogieron tratán

do de provocar un crecimiento vegetativo acelerado, teniendo como base la experiencia de los 2 ciclos de siembra en el norte de Tamaulipas.

Este estudio constó de 5 tratamientos, los cuales consistieron en una solución nutritiva básica (cuadro 9) y 4 variantes a ésta para provocar tensión férrica. Los tratamientos se escogieron en base a lo reportado por Brown (1976) y Clark, et al (1981) y a continuación se describen:

- Solución nutritiva básica (SNB)
- SNB con exceso de calcio y deficiencia de fierro (+Ca-Fe)
- SNB con exceso de fósforo y deficiencia de fierro (+P-Fe)
- SNB con exceso de calcio y fósforo y deficiencia de fierro (+CaP-Fe).
- SNB sin fierro (SNsFe).

Los excesos de calcio y fósforo se obtuvieron agregando a la solución básica 33.6 mg/lit de CaO y 17.6 mg/lit de KH_2PO_4 respectivamente. La deficiencia de fierro se obtuvo disminuyendo el contenido de Fe (HEDTA) a 0.16 mg/lit.

El comienzo de la germinación de las semillas se consideró como la fecha de inicio del desarrollo de las plantas. Para este proceso las semillas de los genotipos utilizados se colocaron en frascos de vidrio con agua destilada por espacio de 1 hr, después fueron puestas a germinar en papel toalla, éste fue enrollado y colocado en forma vertical en recipientes plásticos conteniendo agua destilada, la semilla quedó situa

do de provocar un crecimiento vegetativo acelerado, teniendo como base la experiencia de los 2 ciclos de siembra en el norte de Tamaulipas.

Este estudio constó de 5 tratamientos, los cuales consistieron en una solución nutritiva básica (cuadro 9) y 4 variantes a ésta para provocar tensión férrica. Los tratamientos se escogieron en base a lo reportado por Brown (1976) y Clark, et al (1981) y a continuación se describen:

- Solución nutritiva básica (SNB)
- SNB con exceso de calcio y deficiencia de fierro (+Ca-Fe)
- SNB con exceso de fósforo y deficiencia de fierro (+P-Fe)
- SNB con exceso de calcio y fósforo y deficiencia de fierro (+CaP-Fe).
- SNB sin fierro (SNsFe).

Los excesos de calcio y fósforo se obtuvieron agregando a la solución básica 33.6 mg/lit de CaO y 17.6 mg/lit de KH_2PO_4 respectivamente. La deficiencia de fierro se obtuvo disminuyendo el contenido de Fe (HEDTA) a 0.16 mg/lit.

El comienzo de la germinación de las semillas se consideró como la fecha de inicio del desarrollo de las plantas. Para este proceso las semillas de los genotipos utilizados se colocaron en frascos de vidrio con agua destilada por espacio de 1 hr, después fueron puestas a germinar en papel toalla, éste fue enrollado y colocado en forma vertical en recipientes plásticos conteniendo agua destilada, la semilla quedó situa

da en la parte superior del rollo de papel. La germinación se obtuvo bajo las condiciones ambientales del sitio experimental.

CUADRO 9.- SOLUCION BASICA EMPLEADA COMO MEDIO HIDROPONICO.

REACTIVO	Cantidad mg/lit	N		K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	P PO ₄ ⁻	Cl ⁻	S SO ₄ ⁼⁼	Mn ⁺⁺	Zn ⁺⁺	Cu ⁺⁺	B ³⁺	Mo ⁶⁺	Fe ⁺⁺	
		NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺													
1.- NH ₄ NO ₃	80.04	14.00	14.00													
2.- KNO ₃	209.46	29.00		81.00												
3.- Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	116.03	12.68			11.00											
4.- Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	61.72	7.32				10.47										
5.- Ca ₃ (PO ₄) ₂	20.03					7.76	4.00									
6.- CaCl ₂	14.09					5.08	9.00									
7.- CaO	56.67					40.50										
8.- CaSO ₄ · 2H ₂ O	52.31					12.18		9.74								
9.- MnSO ₄ · H ₂ O	1.02							0.19	0.33							
10.- ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.44							0.05		0.10						
11.- CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.12							0.02			0.03					
12.- H ₃ BO ₃	2.97												0.52			
13.- H ₂ MoO ₄ · H ₂ O	0.06													0.03		
14.- Fe(HEDTA)	4.76															3.00
TOTAL	619.72	63.00	14.00	81.00	11.00	75.99	4.00	9.00	10.00	0.33	0.10	0.03	0.52	0.03		3.00
Aniones = 86 (32%)		Cationes = 186.00 (68%)														

Una vez formado el sistema radicular, entre los 4 y 5 días de iniciado el proceso germinativo, las plántulas de frijol fueron colocadas en la solución nutritiva correspondiente, esta se encontraba contenida en recipientes plásticos de 20 lts de capacidad, cubiertos en su exterior con papel aluminio. Las plantas fueron sostenidas mediante láminas plásticas de 48 x 35 cm, cada lámina con 12 hileras de 10 perforaciones. Las perforaciones de 0.75 cm de diámetro, la distancia entre perforaciones dentro de hileras fué de 3.5 cm y de 4 cm entre hilera. Cada recipiente significó una repetición, conteniendo 12 genotipos (genotipo/hilera) representados a

su vez por 10 plantas. Se administró aereación a la solución nutritiva mediante una bomba de aire de 3 watts, utilizándose para este propósito manguera de hule de 0.75 cm de diámetro, el pH de las soluciones nutritivas se controló utilizando según el caso dos soluciones Buffer, H_2SO_4 0.25 N (pH 1.9) y KOH 0.3 N (pH 13.1). El pH de la solución nutritiva básica se mantuvo entre 6.5 y 7.0 mientras que el de las variantes para provocar tensión férrica fué entre 7.5 y 7.8. Para medir el pH se usó un potenciómetro manual. En todo el proceso se usó agua destilada pH 5.5 (figuras 1 y 2).

Las mediciones de las variables consideradas se hicieron de acuerdo con el siguiente procedimiento: Para cada genotipo se muestrearon 5 plantas, las cuales fueron separadas en dos partes, raíz y partes aéreas (follaje), determinándose a cada una de ellas por separado las características consideradas. Debido a que el interés primario de nuestro estudio lo constituye la comparación de los medios por su eficiencia para producir tensión férrica, el momento del muestreo se determinó de acuerdo con la aparición del síntoma clásico de clorosis, a los 14 días de iniciado el experimento. Las características estudiadas fueron las siguientes:

- . Clorosis (CLO)
- . Longitud de tallo (LGT)
- . Número de hojas (HJS)
- . Peso fresco del follaje (PFF)
- . Peso seco del follaje (PSF)
- . Número de raíces (RCS)
- . Longitud de la raíz primaria (LRP).

- . Longitud total de raíces (LTR).
- . Longitud media por raíz (LMR).
- . Peso fresco radicular (PFR).
- . Peso seco radicular (PSR).
- . Peso fresco total (PFT).
- . Peso seco total (PST).
- . PFR/PFF.
- . PSR/PSF.

El grado de deficiencia de hierro se determinó visualmente sobre las hojas trifoliadas mediante una escala de 0 (ninguna deficiencia) a 5 (severa deficiencia), con la misma metodología descrita en los estudios anteriores.

Para la longitud del tallo se consideró la distancia del cuello de la planta a la yema terminal. Todas las longitudes se expresan en centímetros y los pesos en gramos. Para la toma de datos se siguió el siguiente procedimiento: primeramente se realizaron las mediciones y conteos de raíces y hojas, después cada parte de la planta por separado fué colocada en sobres de papel, debidamente identificados con el número de tratamiento, para obtener el peso fresco; posteriormente se secaron las muestras dentro de los mismos sobres a temperaturas de alrededor de 40°C, estas se lograron encendiendo las lámparas del laboratorio y manteniendo apagado el enfriador del aire, el proceso de secado tuvo una duración de aproximadamente 10 días. Los datos usados en el análisis de varianza y los que se presentan en los cuadros de resultados, expresan para todas las características el promedio por planta.

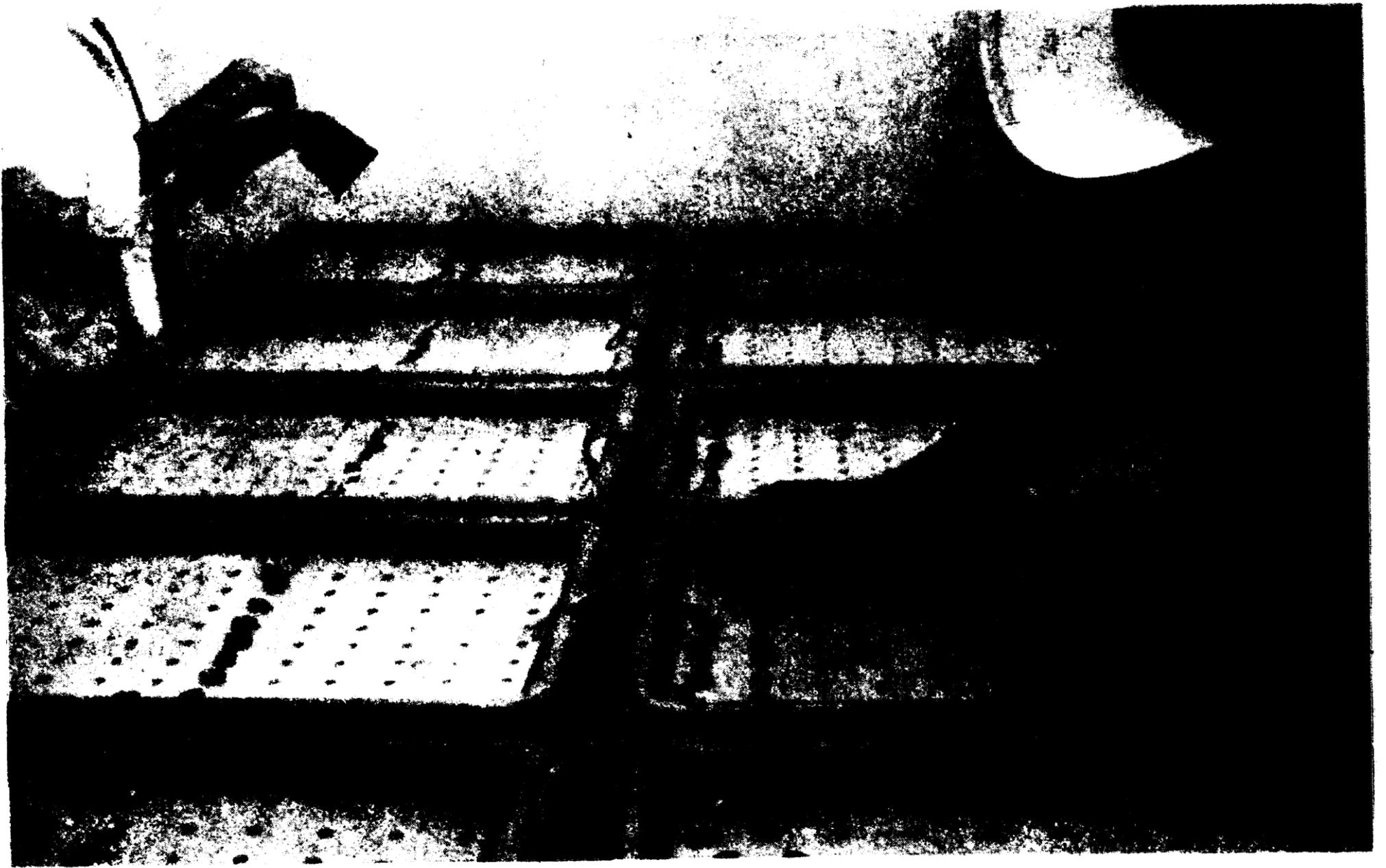


Fig. 1.— Detalle de la siembra en hidroponia



Fig. 2.— Las plantas de frijol creciendo en hidroponia

En nuestro estudio se manejaron 2 conceptos básicos:

1) Tratamiento.- Constituído por las variantes a los medios de cultivo, 5 en este caso y 2) Genotipo.- Representado por cada una de las variedades utilizadas en cada tratamiento, 12 en total.

Las variedades fueron distribuídas, dentro de los tratamientos, en bloques al azar con 2 repeticiones, por lo que el modelo para desarrollar el análisis de varianza de un tratamiento fué:

$$y_{jk} = U + r_j + v_k + e_{jk}$$

donde:

y_{jk} = Observación de la k^{ava} variedad en la j^{ava} repetición.

U = Media general de todas las observaciones posibles para la situación específica del experimento.

r_j = Efecto promedio de la j^{ava} repetición con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$r_j = \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..} \quad \text{y} \quad \sum r_j = 0$$

v_k = Efecto promedio de la k^{ava} variedad con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$v_k = \bar{y}_{.k} - \bar{y}_{..} \quad \text{y} \quad \sum v_k = 0$$

e_{jk} = Error experimental asociado a la k^{ava} variedad en la j^{ava} repetición. Se asume que el error experimental es independiente y se distribuye normalmente con media 0 y varianza S_e^2 .

Para el análisis combinado de varios tratamientos el mo delo usado fué:

$$Y_{ijk} = U + t_i + r_{j(i)} + v_k + vt_{ik} + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Observación en el i^{avo} tratamiento de la k^{ava} va riedad en la j^{ava} repetición.

U = Media general de todas las observaciones posibles para la situación específica del experimento.

t_i = Efecto promedio del i^{avo} tratamiento con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$t_i = \bar{y}_{i..} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum t_i = 0$$

$r_{j(i)}$ = Efecto promedio de la j^{ava} repetición dentro del i^{avo} tratamiento con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$r_{j(i)} = \bar{y}_{ij.} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum r_{k(i)} = 0$$

v_k = Efecto promedio de la k^{ava} variedad con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$v_k = \bar{y}_{..k} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum v_k = 0$$

vt_{ik} = Efecto promedio de la interacción de k^{ava} varie-dad con el i^{avo} tratamiento con respecto a la me dia general U ; por lo tanto:

$$vt_{ik} = \bar{y}_{i.k} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum vt_{ik} = 0$$

e_{ijk} = Error experimental asociado a la k^{ava} variedad en

la j^{ava} repetición en el i^{avo} tratamiento. Se asume que el error experimental es independiente y se distribuye normalmente con media 0 y varianza S_e^2 .

El análisis de varianza se desarrolló de acuerdo con los procedimientos indicado en el cuadro 10.

CUADRO 10.- ANALISIS DE VARIANZA COMBINADO DE LOS DATOS DE 12 VARIEDADES DE FRIJOL EVALUADAS EN UN MEDIO HIDROPONICO.

CV	G.L.	SC	CM
TOTAL	$trv-1$	$\Sigma X^2_{ijk} - X^2_{...}/trv$	
TRATAMIENTOS (t)	$t-1$	$\Sigma X^2_{i..}/rv - X^2_{...}/trv$	
REPETICIONES/t (r/t)	$(r-1)t$	$\Sigma X^2_{ij.}/v - \Sigma X^2_{i..}/rv$	
VARIEDADES (v)	$v-1$	$\Sigma X^2_{..k}/tr - X^2_{...}/trv$	M3
$v \times t$	$(v-1)(t-1)$	$\Sigma X^2_{i.k}/r - \Sigma X^2_{i..}/rv - \Sigma X^2_{..k}/tr + X^2_{...}/trv$	M2
ERROR (e)	$(v-1)(r-1)t$	$\Sigma X^2_{ijk} - \Sigma X^2_{ij.}/v - \Sigma X^2_{i.k}/r + \Sigma X^2_{i..}/rv$	M1

El cálculo de las esperanzas de los cuadrados medios (cuadro 11) para la estimación de la heredabilidad en sentido amplio y de las correlaciones genéticas y fenotípicas entre la clorosis y las características estudiadas, se realizó considerando los mismos supuestos de los estudios anteriores y siguiendo procedimientos similares.

CUADRO 11.- ESPERANZAS DE CUADRADOS MEDIOS DEL ANALISIS DE VARIANZA DEL CUADRO 10.

CV	CM	ECM
TOTAL		
TRATAMIENTOS		
REPETICIONES		
VARIEDADES	M3	$S_e^2 + r S_{tv}^2 + rt S_v^2$
V X T	M2	$S_e^2 + r S_{tv}^2$
ERROR		S_e^2

EFEECTO DEL TAMAÑO DEL GRANO SOBRE LA RESPUESTA DEL FRIJOL A LA DEFICIENCIA DE FIERRO EN UN MEDIO HIDROPONICO.

Este estudio se proyectó para determinar si el tamaño del grano ejerció alguna influencia en la respuesta del frijol a la deficiencia de fierro en soluciones nutritivas; para ello se seleccionaron 4 variedades, Delicias, Pinto Norteño, Azabache y Affidavitt, las cuales fueron escogidas en base a la facilidad que presentaban para la separación de la semilla, además todas ellas presentaron susceptibilidad a la clorosis férrica en el estudio anterior. La agrupación de la semilla en dos tamaños para cada variedad se hizo en forma visual, en el cuadro 12 se indican los tratamientos.

CUADRO 12.- TRATAMIENTOS INCLUIDOS EN EL ESTUDIO DEL TAMAÑO DEL GRANO.

TRATAMIENTO	PESO DE 100 SEMILLAS (GRS)
DELICIAS-PEQUEÑO	15.16
DELICIAS-GRANDE	20.52
PINTO NORTEÑO-PEQUEÑO	18.45
PINTO NORTEÑO-GRANDE	21.74
AZABACHE-PEQUEÑO	17.73
AZABACHE-GRANDE	21.69
AFFIDAVITT-PEQUEÑO	22.88
AFFIDAVITT-GRANDE	28.60

Como medio de cultivo se usó la solución +CaP-Fe (tratamiento 4 del ensayo anterior), la cual en el estudio anteriormente descrito mostró eficiencia para producir los síntomas de la deficiencia de fierro en frijol. Los procesos de germinación de la semilla y siembra también fueron realizados de acuerdo con lo descrito en el estudio anterior.

La toma de datos se hizo al momento de la aparición de la clorosis, 13 días después de haberse iniciado el experimento. Las características que se consideraron fueron:

- .Clorosis (CLO)
- .Longitud del tallo (LGT)
- .Número de hojas (HJS)
- .Peso fresco del follaje (PFF)
- .Peso seco del follaje (PSF)
- .Número de raíces (RCS)
- .Longitud de la raíz primaria (LRP)
- .Peso fresco radicular (PFR)
- .Peso seco radicular (PSR)
- .Peso fresco total (PFT)
- .Peso seco total (PST)
- .PFR/PFF
- .PSR/PSF

Los procedimientos seguidos en la toma de datos fueron similares a los descritos en el estudio anterior.

Los tratamientos se distribuyeron en un arreglo combinado en bloques al azar con 4 repeticiones, el modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ijk} = U + r_j + s_i + v_k + sv_{ik} + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Observación del i^{avo} tamaño de semilla en la

k^{ava} variedad en la j^{ava} repetición.

U = Media general de todas las observaciones posibles para la situación específica del experimento.

r_j = Efecto promedio del j^{ava} repetición con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$r_j = \bar{y}_{.j.} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum r_j = 0$$

s_i = Efecto promedio del i^{avo} tamaño de semilla con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$s_i = \bar{y}_{i..} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum s_i = 0$$

v_k = Efecto promedio de la k^{ava} variedad con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$v_k = \bar{y}_{..k} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum v_k = 0$$

sv_{ik} = Efecto promedio de la interacción de la k^{ava} variedad con el i^{avo} tamaño de semilla con respecto a la media general U ; por lo tanto:

$$sv_{ik} = \bar{y}_{i.k} - \bar{y}... \quad \text{y} \quad \sum sv_{ik} = 0$$

e_{ijk} = Error experimental asociado al i^{avo} tamaño de semilla de la k^{ava} variedad en la j^{ava} repetición.

Se asume que el error experimental es independiente y se distribuye normalmente con media cero y varianza S_e^2 .

Los análisis de varianza se efectuó de acuerdo con los procedimientos que se presentan en el cuadro 13. Las correlaciones y el coeficiente de regresión entre el tamaño de la semilla y las características evaluadas se estimaron a través de los productos medios totales siguiendo las formulaciones presentadas en los estudios anteriormente descritos.

CUADRO 13.- ANALISIS DE VARIANZA DE LOS DATOS DE 4 VARIEDADES DE FRIJOL SEPARADOS EN 2 TAMAOS DE SEMILLA.

CV	G.L.	SC	CM
TOTAL	$rsv-1$	$\sum X^2_{ijk} - X^2_{...}/rsv$	
REPETICIONES (r)	$r-1$	$\sum X^2_{.j}/sv - X^2_{...}/rsv$	
TAMARO DE SEMILLA (s)	$s-1$	$\sum X^2_{i.}/rv - X^2_{...}/rsv$	M4
VARIEDADES (s)	$v-1$	$\sum X^2_{..k}/sr - X^2_{...}/rsv$	M3
s x v	$(s-1)(v-1)$	$\sum X^2_{i.k}/r - \sum X^2_{i.}/rv - \sum X^2_{..k}/rs + X^2_{...}/rsv$	M2
ERROR (e)	$(sv-1)(3-1)$	$\sum X^2_{ijk} - \sum X^2_{i.k}/r - \sum X^2_{.j}/sv + X^2_{...}/rsv$	M1

RESULTADOS

DETERMINACION DE LA EDAD DE LA PLANTA MAS APROPIADA PARA EVALUAR LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

El análisis de varianza combinado de las observaciones efectuadas en los 2 ensayos de líneas y variedades, nos indica que las diferencias entre ambos ensayos para grado de clorosis fueron no significativas para las lecturas a los 17 días después de la siembra, altamente significativas en las lecturas 39 días después de la siembra y solamente significativa cuando la clorosis se estimó 56 días después de la siembra; en peso de 100 semillas y para rendimiento en grano las diferencias entre los 2 ensayos de líneas y variedades fueron altamente significativas. Las diferencias entre genotipos dentro de cada ensayo fueron altamente significativas para todas las características consideradas (cuadro 14).

Si realizamos un análisis de varianza considerando los períodos de lectura como ambiente diferentes (cuadro 15), encontramos que promediando los 3 períodos de lectura no existen diferencias entre ensayos, lo anterior en parte es debido a la interacción, períodos de lectura-ensayos, la cual fue significativa. Esto nos indica que las variaciones entre períodos de lectura no fueron constantes de un ensayo a otro y que ambos grupos de variedades se comportaron en forma di-

ferente según la época de determinación de la deficiencia férrica. Los períodos de lectura también presentan diferencia significativa entre sí, y al igual que los ensayos sus diferencias se ven afectadas por la interacción período de lectura-ensayo.

CUADRO 14. VARIANZAS ESTIMADAS EN EL ESTUDIO DE EPOCAS DE LECTURAS DE CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

CAUSAS DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CLOROSIS ^{1/}			PESO DE 100 SEMILLAS	RENDIMIENTO EN GRANO.
		17 DIAS	39 DIAS	56 DIAS		
Grupos	1	0.33 ns	0.74 **	0.10 *	47.88 **	0.42 **
Repetición/g	2	0.05 ns	0.21 **	0.08 *	3.10 ns	0.18 **
Variedad/g	48	0.12 **	0.07 **	0.07 **	24.01 **	0.13 **
Error	48	0.06	0.03	0.02	2.34	0.02
CVe		18.38	10.23	6.69	9.11	25.01

$$1/ \chi = (\chi+1)^{1/2}$$

ns = no significativo * significativo (5%) ** altamente significativo (1%)

Las repeticiones dentro de los períodos de lectura x ensayo presentan diferencias altamente significativas, lo cual indica condiciones ambientales heterogéneas, que muy probablemente causan una interacción genotipo-ambiente, cuya magnitud no es posible precisar en este caso.

La interacción genotipo-período de lectura también resultó altamente significativa dentro de cada ensayo, debido a que las diferencias entre variedades de una lectura a otra

no fueron constantes, a pesar de ello los promedios de las 3 lecturas presentaron diferencias altamente significativas entre variedades dentro de cada ensayo.

CUADRO 15. ANALISIS DE VARIANZA COMBINADO CONSIDERANDO LOS 3 PERIODOS DE LECTURA DE CLOROSIS.

CAUSAS DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SC	CM	F	F. TABLAS	
					0.05	0.01
Total	299	46.57				
Grupos (g)	1	0.00	0.000	0.00 ^{ns}	18.51	98.50
Lecturas (l)	2	27.77	13.884	23.58*	19.00	99.00
l x g	2	1.18	0.589	5.18*	5.14	10.92
Repeticiones/lg (r/lg)	6	0.68	0.114	3.48**	2.10	2.80
Variedades/g (v/g)	48	7.14	0.149	2.80**	1.51	1.79
l x v/g	96	5.10	0.053	1.63**	1.26	1.38
Error (e)	144	4.70	0.033			

ns = no significativo * = significativo (5%) ** altamente significativo (1%)

$$x = (x+1)^{1/2}$$

Comparando las medias de los genotipos testigos, los cuales fueron evaluados en los 2 ensayos, se puede confirmar la presencia de la interacción genotipo x ambiente en todas las características medidas, ya que las diferencias entre variedades de un ensayo a otro fueron variables. Lo anterior impide hacer comparaciones entre las medias de variedades de ensayos diferentes (cuadro 16).

Considerando la totalidad de los genotipos evaluados, los ensayos 1 y 2 presentaron promedios de clorosis estadísticamente no diferentes en la primera lectura; en la segunda

lectura las líneas y variedades del ensayo 2 tuvieron en promedio una incidencia de clorosis mayor a la del ensayo 1 ($p \leq 0.01$), inversamente en la tercera lectura los genotipos del ensayo 1 presentaron una media de clorosis mayor que los del ensayo 2 ($0.05 \geq p > 0.01$). Los promedios del peso de 100 semillas y del rendimiento en grano fueron significativamente mayores ($p \leq 0.01$) en el ensayo 2 comparativamente con el ensayo 1 (cuadros 17 y 18).

CUADRO 16. CLOROSIS, PESO DE 100 SEMILLAS Y RENDIMIENTO EN GRANO DE 6 GENOTIPOS DE FRIJOL EVALUADOS EN 2 ENSAYOS.

ENSAYO	AGRAJEJO	AGRARISTA	CIATERO	MULATO	LEF-11-RB	AZABACHE	PROMEDIO
CLOROSIS A LOS 17 DIAS							
1	0.0	0.5	0.0	0.0	1.5	2.0	0.7
2	0.0	1.0	0.0	0.5	1.5	2.0	0.8
Promedio	0.0	0.8	0.0	0.3	1.5	2.0	0.8
CLOROSIS A LOS 39 DIAS							
1	2.0	2.5	2.5	2.0	2.0	3.0	2.3
2	1.5	2.0	2.0	1.0	2.5	3.0	2.0
Promedio	1.8	2.3	2.3	1.5	2.3	3.0	2.2
CLOROSIS A LOS 55 DIAS							
1	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0
2	2.5	2.5	3.0	2.5	3.0	5.0	3.1
Promedio	2.3	2.8	3.0	2.8	3.0	4.5	3.1
PESO DE 100 SEMILLAS (g)							
1	16.70	15.90	15.55	18.85	20.35	13.75	16.85
2	17.10	16.10	15.25	20.00	23.55	16.50	18.08
Promedio	16.90	16.00	15.40	19.43	21.95	14.25	17.47
RENDIMIENTO EN GRANO (t/ha)							
1	0.754	0.430	0.265	0.282	0.212	0.133	0.346
2	0.817	0.744	0.698	0.496	0.427	0.317	0.583
Promedio	0.786	0.587	0.482	0.389	0.320	0.225	0.465

El grado de clorosis férrica fue mayor a medida que se retrasó la fecha de medición en ambos ensayos y esto fue constante para todos los genotipos, solamente LRB-1 y LFRB-2 en el ensayo 1 y LFRB-19 en el ensayo 2, presentan reducciones en el grado de clorosis con respecto a la lectura anterior, en la tercera lectura las primeras y en la segunda la

Última (cuadro 17 y 18).

CUADRO 17. RENDIMIENTO, PESO DE 100 SEMILLAS Y GRADO DE CLOROSIS DE LOS GENOTIPOS DE FRIJOL INCLUIDOS EN EL ENSAYO 1.

Genotipo	CLOROSIS			PESO DE 100 SEMILLAS (g)	RENDIMIENTO EN GRANO (t/ha.)
	17 DIAS	39 DIAS	56 DIAS		
LFRB-1	0.0	2.5	1.5	13.25	1.360
LFRB-2	1.0	3.0	2.5	12.00	1.114
LFRB-3	0.5	2.0	2.5	9.00	0.954
Agraje*	0.0	2.0	2.0	16.70	0.754
LFRB-4	0.0	2.5	3.0	16.55	0.665
LFRB-6	0.5	2.5	3.0	16.40	0.614
LFRB-7	1.0	2.5	3.0	17.55	0.563
LEF-16-RB	0.5	2.5	3.0	15.65	0.517
LFRB-9	1.0	1.5	1.5	20.05	0.486
LFRB-11	1.0	2.5	3.0	23.50	0.477
LFRB-12	1.0	2.5	3.0	17.00	0.459
Agrarista *	0.5	2.5	3.0	15.90	0.430
LFRB-8	0.0	3.0	3.0	15.95	0.413
LEF-9-RB	0.0	2.0	3.0	15.35	0.383
LFRB-10	0.5	2.5	3.0	20.10	0.368
LFRB-5	0.5	2.5	3.0	14.80	0.347
LFRB-13	0.0	2.0	3.0	13.60	0.344
Mulato*	0.0	2.0	3.0	18.85	0.282
Clateño*	0.0	2.5	3.0	15.55	0.265
Negro Huasteco	0.0	3.0	3.5	13.95	0.252
LEF-30-RB	1.5	2.5	3.0	20.20	0.234
LEF-11-RB*	1.5	2.0	3.0	20.35	0.212
Bulicías 71	0.5	3.0	3.5	13.25	0.207
Jamapa	0.5	4.0	4.0	13.25	0.168
Azabache*	2.0	3.0	4.0	13.75	0.133
Promedio	0.5	2.5	2.9	16.10	0.480

* Testigos.

Considerando las 3 lecturas de clorosis, las líneas con menor incidencia de clorosis fueron LFRB-1 (1.3) y LFRB-1 (1.3) en el ensayo 1 y LFRB-23 (1.0) en el ensayo 2, opuestamente las variedades más cloróticas fueron Jamapa (2.8) y Azabache (3.0) del ensayo 1 y Azabache (3.3) en el ensayo 2. En el ensayo 1 la línea con el mayor tamaño de grano fue LFRB-11 (23.5 g/100 semillas) y la de grano más pequeño LFRB-3 (9.0 g/100 semillas); en el ensayo 2 fueron 3 líneas que presentaron el mayor tamaño de grano LFRB-27, LEF-11-RB y LFRB-18 (25.0, 23.55 y 22.7 g/cien semillas respectivamente), mientras que con la semilla de menor tamaño resultaron LFRB-25 y LFRB-26 (9.25 y 9.75 g/cien semillas respectivamente). En lo que se refiere al rendimiento en grano, las líneas con ma

yor productividad en el ensayo 1 fueron LFRB-1 (1.360 t/ha) y LFRB-2 (1.114 t/ha) y las menos productivas Jamapa y Azabache (0.168 y 0.133 t/ha respectivamente); en el ensayo 2 el mayor rendimiento lo obtuvo la línea LFRB-25 (1.031 t/ha) y el más bajo LFRB-20 (0.177 t/ha) (Cuadros 17 y 18).

CUADRO 18. RENDIMIENTO, PESO DE 100 SEMILLAS Y GRADO DE CLOROSIS DE LOS GENOTIPOS DE FRIJOL INCLUIDOS EN EL ENSAYO 2.

Genotipo	CLOROSIS			PESO DE 100 SEMILLAS (g)	RENDIMIENTO EN GRANO (t/ha.)
	17 DIAS	39 DIAS	56 DIAS		
LFRB-25	1.5	1.5	2.0	9.25	1.031
LFRB-26	2.0	2.0	2.5	9.75	0.881
LFRB-14	0.0	3.0	3.5	16.00	0.844
Agramejo*	0.0	1.5	2.5	17.10	0.817
S-17-RB	0.0	2.0	2.5	16.80	0.747
Agrarista*	1.0	2.0	2.5	16.10	0.744
LFRB-30	0.0	1.0	2.5	19.25	0.740
LFRB-15	0.5	2.0	3.0	13.20	0.735
S-18-RB	1.5	3.0	4.0	18.10	0.729
Clateño*	0.0	2.0	3.0	15.25	0.698
LFRB-16	1.0	2.0	3.5	19.10	0.689
LFRB-17	1.5	2.5	4.0	18.90	0.674
LFRB-27	0.0	0.5	3.5	25.00	0.615
LFRB-21	1.5	2.5	4.5	18.00	0.589
LFRB-22	1.5	2.0	3.0	18.40	0.580
LFRB-23	0.0	1.5	1.5	19.50	0.568
LFRB-24	0.0	1.0	3.0	19.70	0.506
Mulate*	0.5	1.0	2.5	20.00	0.496
LFRB-28	0.5	3.0	4.0	16.00	0.489
LFRB-29	1.5	2.5	3.5	13.85	0.447
LFRB-18	0.5	1.5	3.5	22.70	0.442
LEF-11-RB*	1.5	2.5	3.0	23.55	0.427
Azabache*	2.0	3.0	5.0	16.50	0.317
LFRB-19	1.5	0.5	3.5	20.35	0.248
LFRB-20	2.0	2.0	4.0	14.75	0.177
Promedio	0.8	1.9	3.1	17.48	0.609

* Testigos

El el cuadro 19 se muestran las correlaciones genéticas, fenotípicas y debidas al error experimental entre las características consideradas en el estudio. Las correlaciones genéticas fueron altas y positivas entre la primera y segunda lectura y entre esta con la 3a. (0.6722 y 0.6568 respectivamente), pero no así entre la primera y tercera lectura (0.3984). Las correlaciones entre el peso de 100 semillas con la primera y tercera lectura fueron de poca magnitud (0.0502 y 0.1060 respectivamente) pero fué alta y negativa con la segunda lec

INFLUENCIA DE LA INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE EN LA EVALUACION DE LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

El análisis de varianza de los datos obtenidos con 19 genotipos de frijol durante 3 ciclos de prueba, nos indicó que para incidencia de clorosis la varianza entre ciclos y la originada por la interacción genotipo-ciclo resultó altamente significativa, mientras que la varianza entre variedades fué solo significativa; para rendimiento en grano las diferencias para todas las causas de variación fueron altamente significativas; en el caso del peso de 100 semillas la varianza entre genotipos fué altamente significativa, pero no significativa para ciclos de prueba y solo significativa en la interacción genotipo-ciclos (cuadro 20).

CUADRO 20. VARIANZAS ESTIMADAS EN EL ESTUDIO DEL EFECTO AMBIENTAL SOBRE LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

CAUSAS DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CLOROSIS FERRICA ^{1/}	PESO DE 100 SEMILLAS	RENDIMIENTO EN GRANO
CICLOS	2	9.271**	4.085ns	6.845**
REPETICIONES/c	3	0.166**	1.243ns	0.079*
VARIETADES	18	0.116*	57.752**	0.296**
v x c	36	0.089**	2.463*	0.079**
ERROR	54	0.027	1.249	0.020
CVe		9.82	7.02	18.66

$$1/ (x + 1)^{1/2}$$

ns = no significativo * = significativo (5%) ** = altamente significativo (1%)

Los ciclos de prueba Primavera 1 y Otoño fueron los que presentaron la más alta incidencia de clorosis (2.8), mientras que en el ciclo Primavera-2 casi no hubo clorosis (0.2). El promedio del peso de 100 semillas fue ligeramente mayor en el ciclo otoño (16.25 g) comparado con el de los ciclos primavera-1 y 2 (15.59 y 15.92 g respectivamente). La mayor producción de grano por unidad de superficie fue obtenida en el ciclo primavera-2 (1.198 t/ha), mientras que en los ciclos primavera-1 y otoño el rendimiento en grano se vió significativamente disminuído (0.724 y 0.351 t/ha respectivamente) (Cuadro 21, 22 y 23).

CUADRO 21.- GRADO DE CLOROSIS EN 19 GENOTIPOS DE FRIJOL EN 3 CICLOS DE PRUEBA.

GENOTIPO	CICLOS DE PRUEBA			PROMEDIO	RANGO
	PRIMAVERA-1	OTONO	PRIMAVERA-2		
LFRB-23	1.5	1.5	0.0	1.0	1.5
LFRB-15	3.0	1.5	0.0	1.5	3.0
LFRB-3	1.5	3.0	0.0	1.5	3.0
LFRB-1	1.5	2.5	0.5	1.5	2.5
Agrarista*	2.5	2.5	0.0	1.5	2.5
Agramejo	2.5	3.0	0.0	1.8	3.0
LFRB-26	2.5	3.0	0.0	1.8	3.0
Mulato	2.5	3.0	0.0	1.8	3.0
Ciataño	3.0	3.0	0.0	2.0	3.0
S-17-RB	2.5	3.5	0.0	2.0	3.5
LFRB-2	2.5	4.0	0.0	2.2	4.0
LFRB-30	2.5	3.5	0.5	2.2	3.0
Janapa*	4.0	1.0	1.5	2.2	3.0
Delicias 71*	3.5	2.0	1.0	2.2	2.5
LFRB-16	3.5	4.0	0.5	2.3	3.5
LFRB-17	4.0	3.0	0.0	2.5	4.0
LFRB-14	3.5	3.5	0.0	2.5	3.5
S-18-RB	4.0	3.5	0.0	2.5	4.0
Azabache	5.0	4.0	1.0	3.3	4.0
Promedio	2.8	2.8	0.2	1.9	2.6

*Testigos.

La línea que presentó la más baja incidencia de clorosis a través de los ciclos de prueba fué LFRB-23 (1.0), mientras que la variedad Azabache mostró la mayor incidencia (3.3). Los valores mayores en peso de semilla correspondieron a las líneas LFRB-23, Muláto y LFRB-30 (20.63, 20.17 y 19.60 g/100 semillas respectivamente), opuestamente los materiales genéticos con el menor tamaño de semilla fueron LFRB-3 y LFRB-26 (10.05 y 9.37 g/cien semillas respectivamente). Las líneas más rendidoras fueron LFRB-1 (1.294 t/ha), LFRB-3 (1.095 t/ha) y LFRB-2 (1.072 t/ha), mientras que la menor producción de grano por unidad de superficie fué la de las variedades Jama pa (0.483 t/ha) y Delicias 71 (0.435 t/ha) (Cuadro 21, 22 y 23).

CUADRO 22.- PESO DE 100 SEMILLAS (g) DE 19 GENOTIPOS DE FRIJOL EN 3 CICLOS DE PRUEBA.

GENOTIPO	CICLOS DE PRUEBA			PROMEDIO	RANGO
	PRIMAVERA-1	OTOÑO	PRIMAVERA-2		
LFRB-23	19.50	20.25	22.15	20.63	2.65
Mulato	20.00	20.50	20.00	20.17	0.50
LFRB-30	19.25	20.00	19.75	19.60	0.75
LFRB-16	19.10	18.50	17.25	18.28	1.86
LFRB-17	18.90	17.50	18.20	18.20	1.40
Azabache	16.50	19.50	17.75	17.92	3.00
S-18-RB	18.10	15.75	18.70	17.52	2.95
Agramejo	17.10	16.00	16.00	16.37	1.10
S-17-RB	16.80	16.00	16.05	16.28	0.80
Clateño	15.25	17.50	15.80	16.18	2.25
LFRB-14	16.00	16.25	15.00	15.75	1.25
Agrarista*	16.10	15.00	15.90	15.67	1.10
Delicias 71*	13.25	16.75	16.45	15.48	3.50
LFRB-15	13.20	16.75	15.50	15.15	3.55
Jamapa*	13.25	13.50	15.60	14.12	2.35
LFRB-1	13.25	14.75	13.30	13.77	1.50
LFRB-2	12.00	13.50	10.50	12.00	3.00
LFRB-3	9.00	11.25	9.90	10.05	2.25
LFRB-26	9.75	9.50	8.85	9.37	0.90
Promedio	15.59	16.25	15.92	15.92	0.66

*Testigos.

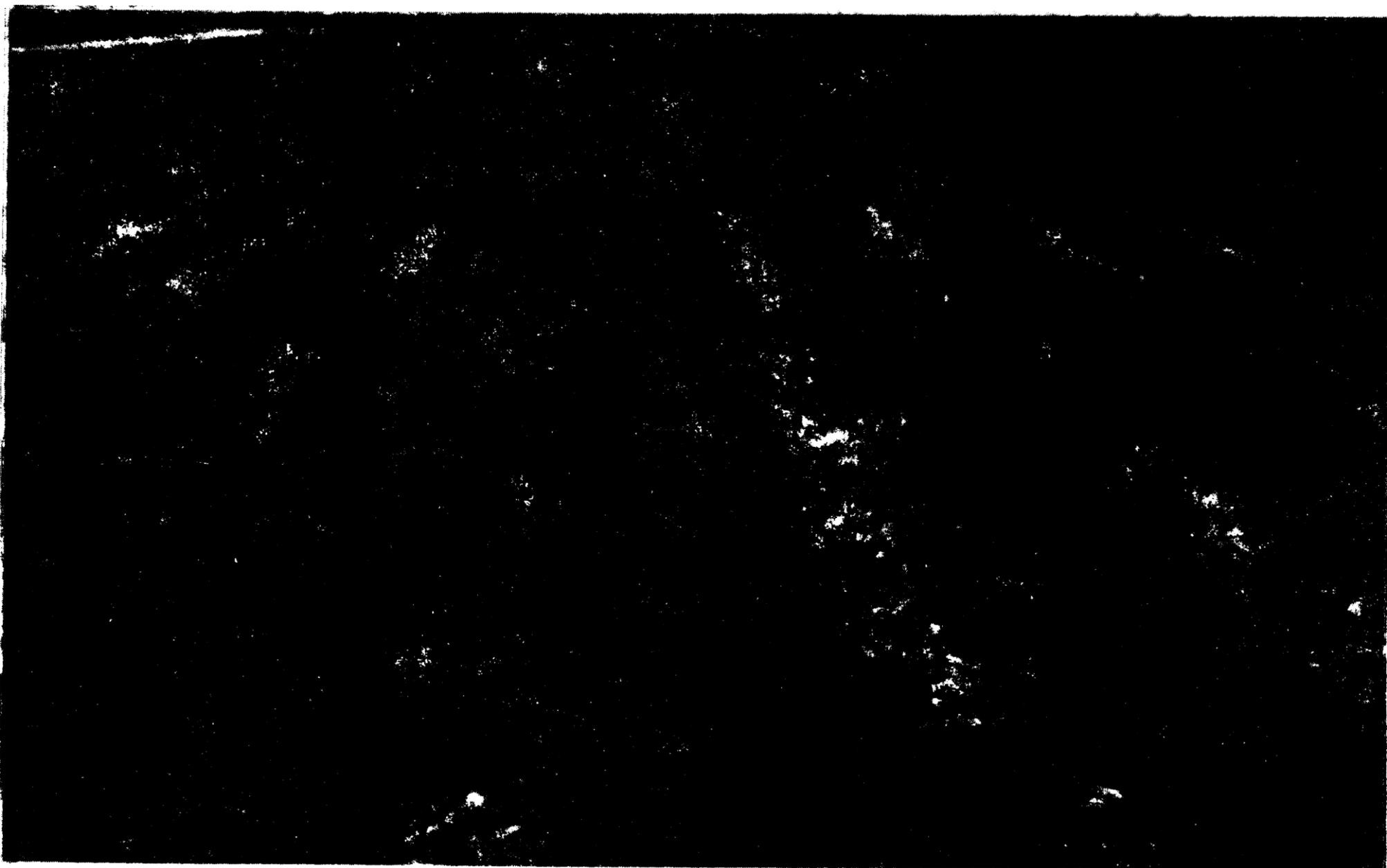


Fig. 3.— Plantas Fe - eficientes y Fe - ineficientes de frijol en parcelas vecinas.

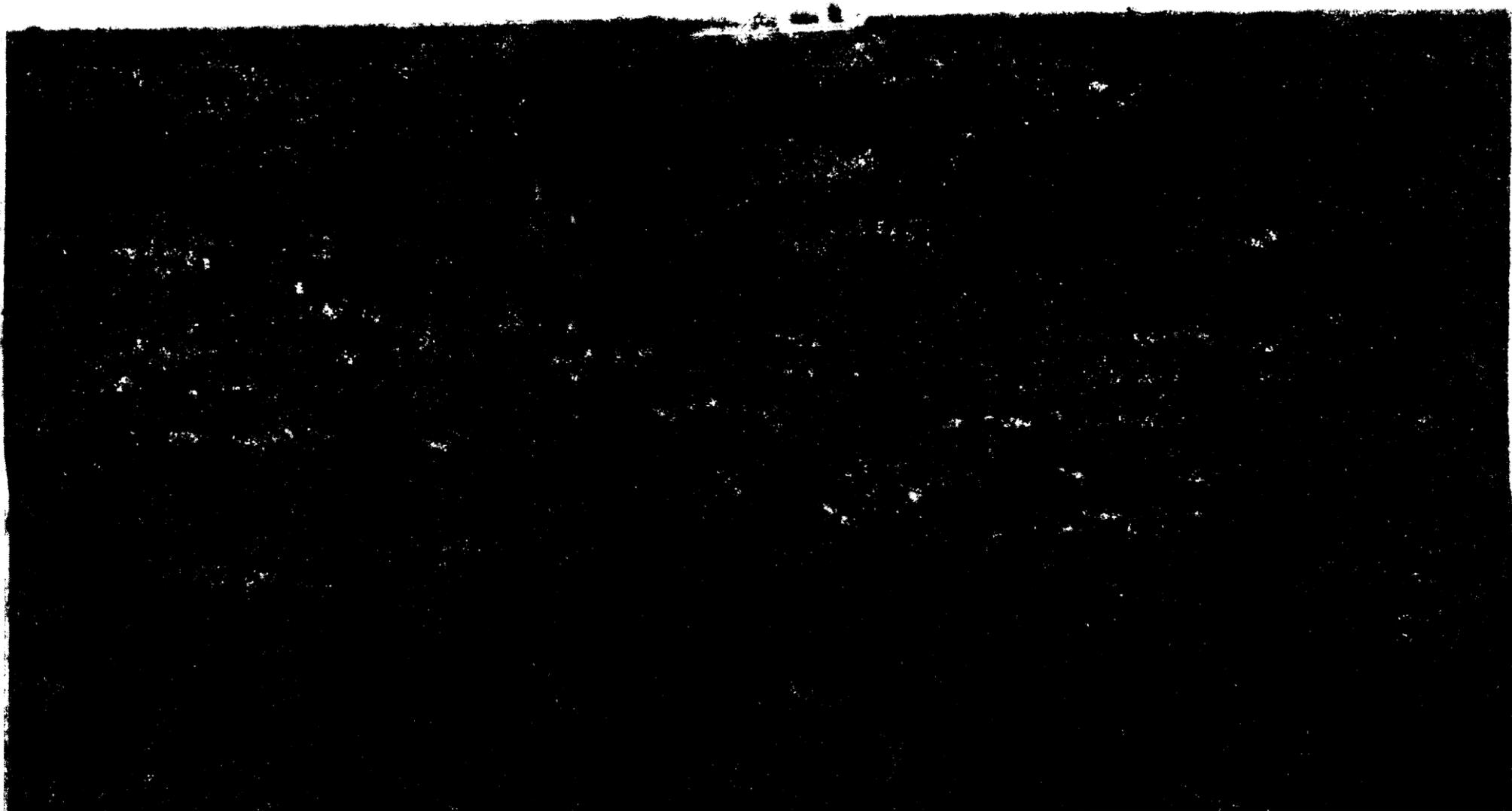


Fig. 4.— Algunos factores ambientales causaron sesgo en la estimación de la clorosis ferrica.

La interacción genotipo-ciclo, de acuerdo con los resultados del análisis de varianza, afectó tanto las diferencias entre ciclos como entre variedades. Las líneas y variedades evaluadas respondieron en forma diferente a las condiciones ambientales prevalecientes en cada uno de los 3 ciclos de prueba, provocando que las diferencias entre ellas de un ciclo a otro sufrieron significativas variaciones (figuras 3 y 4). La línea LFRB-23 fué la que presentó un grado de clorosis más uniforme a través de los 3 ciclos de evaluación, mientras que otras como LFRB-2, LFRB-17, S-18-RB y Azabache presentaron marcados contrastes. En peso de 100 semillas las líneas con variaciones mínimas a través de los 3 ciclos de prueba fueron Mulato, LFRB-30 y S-17-RB, mientras que por el contrario Azabache, LFRB-2, Delicias 71 y LFRB-15 presentaron amplias variaciones. La única línea que mantuvo un alto estandar de producción durante los 3 ciclos fué LFRB-1, mientras que los mayores contrastantes fueron los de Ciateño, Agrarista y LFRB-17 (Cuadros 21, 22 y 23).

En el cuadro 24 se muestran la correlación genética, fenotípica y debida al error experimental entre las características consideradas en este estudio. La asociación genética entre clorosis y el peso de 100 semillas fué baja (0.3045) pero fue alta y negativa con el rendimiento en grano (-0.7287); la correlación genética entre peso de 100 semillas y rendimiento en grano fue de un valor altamente significativo y de signo negativo (-0.8004). La correlación causada por la interacción genotipo-ciclo fué de alto valor solo entre las

características peso de 100 semillas y rendimiento en grano (0.6389), las correlaciones fenotípicas fueron siempre menores en magnitud que las genéticas y solamente entre las características peso de 100 semillas y rendimiento en grano tuvo un valor alto (-0.6305), las correlaciones debidas al error experimental fueron en todos los casos de escaso valor lo cual le da buena confiabilidad a los datos obtenidos. El cálculo del coeficiente de regresión nos estima una pérdida de 611 kg/ha de grano por cada grado que aumenta la incidencia de clorosis y la media de rendimiento esperada en caso de que no hubiera clorosis sería de 1918 kg/ha.

CUADRO 23.- RENDIMIENTO EN GRANO (t/ha) DE 19 GENOTIPOS DE FRIJOL EN 3 CICLOS DE PRUEBA.

GENOTIPO	CICLOS DE PRUEBA			PROMEDIO	RANGO
	PRIMAVERA-1	OTOÑO	PRIMAVERA-2		
LFRB-1	1360	1195	1328	1.294	0.165
LFRB-3	954	910	1422	1.095	0.512
LFRB-2	1114	875	1227	1.072	0.352
LFRB-26	881	832	1125	0.946	0.293
LFRB-14	844	332	1329	0.835	0.997
S-17-RB	747	363	1321	0.810	0.958
Agramejo	817	207	1367	0.797	1.160
Agrarista*	744	172	1414	0.777	1.242
LFRB-17	674	207	1430	0.770	1.223
Ciateño	698	164	1422	0.761	1.258
LFRB-16	689	329	1047	0.688	0.718
S-18-RB	729	80	1235	0.681	1.155
LFRB-15	735	70	1219	0.675	1.149
LFRB-23	568	149	1117	0.611	0.968
LFRB-30	740	203	750	0.564	0.547
Mulato	496	196	969	0.553	0.773
Azabache	317	172	1164	0.551	0.992
Jansa*	562	60	829	0.483	0.769
Delicias 71*	102	156	1047	0.435	0.945
Promedio	724	351	1198	0.758	0.847

*Testigos.

La heredabilidad en sentido amplio para la incidencia de clorosis resultó baja (23.32), mientras que para peso de 100 semillas y rendimiento en grano fue relativamente alto

(95.74 y 73.43 respectivamente) (cuadro 25).

CUADRO 24.- CORRELACIONES ENTRE LAS CARACTERISTICAS EVALUADAS EN EL ESTUDIO DEL EFECTO AMBIENTAL SOBRE LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

		PESO DE 100 SEMILLAS	RENDIMIENTO EN GRANO
	rg	0.3045*	-0.7287**
Clorosis	rga	0.1713ns	-0.1653ns
Férrica	re	0.0926ns	0.1291ns
	rf	0.1687ns	-0.3404**
	rg		-0.8004**
Peso de	rga		0.6389**
100	re		-0.0190ns
Semillas	rf		-0.6305**

ns = no significativo

* = significativo (5%)

** = altamente significativo (1%)

EFICIENCIA DE UN MEDIO HIDROPONICO PARA EVALUAR LA RESPUESTA DEL FRIJOL A LA DEFICIENCIA DE FIERRO.

Este experimento finalizó al hacerse presente la clorosis férrica en 4 de los 5 tratamientos evaluados, lo cual ocurrió a los 14 días, los resultados promedio de las 5 soluciones se resumen en el cuadro 26. Las 4 variantes a la SNB fueron efectivas para producir tensión férrica, ya que en todas ellas las plantas manifestaron diversos grados de clorosis, mientras que en la SNB las plantas presentaron una coloración normal.

En la variante +Ca -Fe las plantas mostraron bajos promedios para las características longitud del tallo, número de hojas, peso fresco del follaje, número de raíces, longitud de la

El comportamiento de las plantas fué muy similar en las soluciones +CaP-Fe y SNsFe; las diferencias más notorias entre ambos tratamientos las constituyeron significativas reducciones en número de hojas, peso seco de la raíz, peso fresco total, peso seco total y en la relación PSR/PSF (cuadro 28). En general y en base a los resultados se puede considerar que ambos medios provocaron una condición similar y su efecto promedio constituye lo que denominaremos efecto de la tensión férrica.

Al comparar las características promedio de las plantas desarrollándose en la solución completa y bajo tensión férrica (cuadro 29), se observa que la deficiencia de fierro aprovechable, además de la incidencia de clorosis, provocó una disminución significativa en el número de hojas y aumentó significativamente el número de raíces, la longitud total de raíces, peso fresco de la raíz, peso seco de la raíz, peso seco total, PSR/PSF, peso fresco del follaje y peso fresco total.

Las características longitud del tallo, peso seco del follaje, longitud de la raíz principal, longitud media por raíz y la relación PFR/PFF no sufrieron cambios significativos, resultando sus promedios en ambas soluciones estadísticamente no diferentes.

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas entre variedades para todas las características, excepto para las relaciones PFR/PFF, donde las diferencias sólo fueron significativas, y PSR/PSF donde todas las variedades fueron estadísticamente no diferentes (Cuadro 27).

CUADRO 26. CARACTERISTICAS PROMEDIO DE PLANTAS DE FRIJOL (14 DIAS) CRECIENDO EN 5 SOLUCIONES NUTRITIVAS EN UN CUARTO DE CRECIMIENTO.

CARACTERISTICA	SNB ¹	Solución Nutritiva 1/			
		+Ca-Fe	+P-Fe	+CaP-Fe	SNsFe
1.- Clorosis	0.00	2.31	2.12	2.31	2.67
2.- LGT	24.83	18.46	21.13	24.70	23.11
3.- HJS	1.38	0.89	1.06	1.35	1.13
4.- PFF	1.76	1.58	1.75	2.04	1.87
5.- PSF	0.20	0.25	0.23	0.21	0.20
6.- RCS	9.68	6.83	8.62	11.01	11.92
7.- LRP	10.23	7.22	9.56	10.74	10.94
8.- LMR	5.86	4.27	5.41	5.65	5.80
9.- LTR	58.14	29.04	46.63	63.78	69.21
10.- PFR	0.58	0.66	0.84	0.84	0.77
11.- PSR	0.02	0.13	0.08	0.08	0.05
12.- PFT	2.35	2.24	2.59	2.88	2.63
13.- PST	0.22	0.38	0.31	0.29	0.25
14.- PFR/PFF	0.38	0.45	0.50	0.43	0.44
15.- PSR/PSF	0.13	0.52	0.34	0.39	0.26

En el cuadro 30 se presentan las medias de las características de las 12 variedades evaluadas cuando crecieron en la solución nutritiva completa (SNB), las variedades Affidavitt, A. Amarillo, CIAS-72 y Canario 101, presentaron en la mayor parte de sus características promedios por encima de la media; las variedades Flor de Mayo y Navidad tuvieron 7 y 8 características promediando encima de la media y los materiales genéticos Ciateño, Agrarista, Azabache, Jamapa, Delicias 71 y Pinto Norteño promediaron en la mayoría de sus

características valores por abajo de la media.

CUADRO 27. VARIANZAS ESTIMADAS PARA LAS CAUSAS DE VARIACION DEL ESTUDIO DE DEFICIENCIA FERRICA EN UN MEDIO HIDROPONICO EN FRIJOL.

CARACTERISTICA	CAUSAS DE VARIACION					
	TRAT'S	REP/TRAT	VAR'S	VARxTRAT	ERROR	CVe(%)
	GL	4	5	11	44	55
1.- Clorosis	2.91 **	0.12 *	1.22 **	0.10 **	0.04	12.09
2.- ALT	172.64 **	42.31 **	655.37 **	9.42 ns	10.38	14.52
3.- HJS	1.03 **	0.66 **	0.82 **	0.07 ns	0.05	19.76
4.- PFF	0.69 **	0.25 **	3.23 **	0.11 ns	0.10	17.44
5.- PSF	0.013 **	0.008 **	0.027 **	0.002 ns	0.002	19.63
6.- RCS	95.94 **	27.75 **	31.08 **	4.61 ns	4.21	21.35
7.- LRP	54.34 **	2.88 ns	20.27 **	2.97 ns	3.72	19.82
8.- LMR	10.28 **	0.82 ns	2.69 **	0.91 ns	0.85	17.21
9.- LTR	6116.37 **	764.39 *	2247.77 **	290.71 ns	237.21	28.86
10.- PFR	0.31 **	0.02 ns	0.24 ns	0.03 ns	0.03	21.56
11.- PSR	0.033 **	0.010 **	0.003 **	0.002 ns	0.001	46.52
12.- PFT	1.53 **	0.16 ns	4.91 **	0.17 ns	0.12	13.71
13.- PST	0.086 **	0.031 **	0.038 **	0.005 ns	0.003	20.23
14.- PFR/PFF	0.04 ns	0.07 *	0.05 *	0.021 ns	0.02	34.69
15.- PSR/PSF	0.50 **	0.13 **	0.05 ns	0.03 ns	0.03	50.43

ns = No significativo

* = Significativo (5%)

** = Altamente significativo (1%)

Bajo tensión ferrica (cuadro 31) las variedades flor de Mayo, CIAS 72 y Canario 101 mostraron promedios en la mayor parte de sus características arriba de la media, mientras que el resto de las variedades, Navidad, Affidavit, Azabache, Pinto Norteño, Delicias 71, Azufrado Amarillo, Agrarista, Cia teño y Jamapa, por el contrario presentaban bajos promedios en la mayoría de las características.

La incidencia de clorosis varió significativamente en tre variedades cuando éstas se desarrollaron en condiciones deficientes en hierro, las variedades que presentaron menor grado de clorosis fueron Azufrado Amarillo, Canario 101, Flor de Mayo y CIAS-72, todos ellos no diferentes estadísticamen-

te. Las variedades que mostraron mayor severidad en el grado de clorosis fueron Ciateño, Affidavitt, Navidad, Agrarista, Azabache, Jamapa, Pinto Norteño y Delicias 71, todas ellas estadísticamente no diferentes entre sí pero diferentes al grupo de variedades con bajas lecturas de clorosis. Al comparar los grados de clorosis de la variedades evaluadas tanto bajo condiciones de campo como en el cuarto de crecimiento, podemos observar que las soluciones nutritivas representan un medio más severo para producir la clorosis férrica (Cuadro 32).

CUADRO 28. EFECTO DE LA TENSION FERRICA SOBRE CARACTERISTICAS DE PLANTAS DE FRIJOL (14 DIAS) EN UN MEDIO HIDROPONICO.

CARACTERISTICA	SNB	TENSION FERRICA	CAMBIO
1.- Clorosis	0.00	2.49	2.27**
2.- LGT	24.83	23.91	-0.92ns
3.- HJS	1.38	1.24	-0.14*
4.- PFF	1.76	1.95	0.19*
5.- PSF	0.20	0.21	0.01ns
6.- RCS	9.68	11.46	1.78**
7.- LRP	10.23	10.84	0.61ns
8.- LMR	5.86	5.72	-0.14ns
9.- LTR	58.14	66.49	8.35*
10.- PFR	0.58	0.80	0.22**
11.- PSR	0.02	0.06	0.04**
12.- PFT	2.35	2.76	0.41**
13.- PST	0.22	0.27	0.05**
14.- PFR/PFF	0.38	0.43	0.05ns
15.- PSR/PSF	0.13	0.32	0.19**

ns = no significativo * = significativo (5%) ** = altamente signif. (1%)

Tomando como base el grado de clorosis en cada variedad, podemos clasificar las variedades en 2 grupos.

1) Tolerantes, formado por las variedades Azufrado Amarillo, Canario 101, Flor de Mayo y CIAS-72 (calificaciones

menores de 2).

2) Susceptibles, con las variedades Ciateño, Affidavitt, Navidad, Agrarista, Azabache, Jamapa, Pinto Norteño, Delicias 71 (calificaciones mayores de 2).

CUADRO 29. PARTICIPACION DE LA VARIANZA ESTIMADA ENTRE TRATAMIENTOS EN SU COMPONENTES ORTOGONALES, DEL ANVA DEL EXPERIMENTO DEL CUADRO 27.

CARACTERISTICA	COMPARACIONES ORTOGONALES				
	TRAT'S	C1	C2	C3	C4
	GL	4	1	1	1
1.- Clorosis	2.91 **	1.08 **	10.44 **	0.08 ns	0.05 ns
2.- LGT	172.64 **	561.62 **	13.63 ns	30.24 ns	85.07 **
3.- HJS	1.03 **	2.80 **	0.32 *	0.56 **	0.35 *
4.- PFF	0.69 **	1.47 **	0.59 *	0.37 ns	0.35 ns
5.- PSF	0.013 **	0.040 **	0.001 ns	0.001 ns	0.005 ns
6.- RCS	95.94 **	285.01 **	50.77 **	9.81 ns	38.16 **
7.- LRP	54.34 **	145.08 **	5.96 ns	0.50 ns	65.80 **
8.- LMR	10.28 **	24.98 **	0.30 ns	0.25 ns	15.60 **
9.- LTR	6116.37 **	19282.05 **	1115.56 **	354.25 ns	3713.60 **
10.- PFR	0.31 **	0.01 ns	0.77 **	0.06 ns	0.04 **
11.- PSR	0.03 **	0.08 **	0.02 **	0.01 **	0.02 **
12.- PFT	1.53 **	1.21 **	2.70 **	0.73 *	1.51 **
13.- PST	0.09 **	0.24 **	0.04 **	0.02 *	0.05 **
14.- PFR/PFF	0.04 ns	0.09 ns	0.04 ns	0.00 ns	0.02 ns
15.- PSR/PSF	0.50 **	0.53 **	0.59 **	0.22	0.16 *

1/ C1 = (SNB¹; +CaP-Fe; SNsFe) vs (+Ca-Fe; + P-Fe) C3 = (+CaP-Fe) vs (SNsFe)
 C2 = (SNB¹) vs (+CaP-Fe; SNsFe) C4 = (+Ca-Fe) vs (+P-Fe)
 ns = No significativo * = Significativo (5%) ** = Altamente significativo (1%)

Considerando tal clasificación podemos realizar las comparaciones ortogonales para las características con varianza significativa entre variedades en los tratamientos de tensión férrica (cuadro 33). Los resultados indican diferencias altamente significativas entre las variedades tolerantes y susceptibles para clorosis, longitud del tallo, número de hojas, peso fresco del follaje, peso seco del follaje, número de raíces, longitud promedio por raíz, longitud total de raíz, peso fresco de la raíz, peso fresco total y peso seco total, las diferencias entre ambos grupos fueron solo sig

la tensión férrica.

CUADRO 31. CARACTERISTICAS PROMEDIO, PLANTAS DE 14 DIAS, DE 12 VARIEDADES DE FRIJOL EVALUADAS EN 2 SOLUCIONES NUTRITIVAS DEFICIENTES EN FIERRO EN CONDICIONES CONTROLADAS.

VARIEDAD	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LRP	LHR	LTR	PFR	PSR	PFT	PST	PFR/ PFF	PSR/ PSF
1.- F. de Mayo	0.55	42.90	1.55	2.28	0.25	11.95	11.23	5.61	67.15	1.13	0.10	3.40	0.35	0.50	0.42
2.- CIAS - 72	0.55	25.75	1.55	3.33	0.30	16.40	9.00	6.85	114.03	0.95	0.07	4.28	0.37	0.29	0.22
3.- Canario 101	0.45	19.28	1.10	2.80	0.30	14.15	10.05	6.02	85.40	0.95	0.06	3.75	0.36	0.34	0.21
4.- Navidad	3.15	35.18	1.35	1.78	0.23	8.70	10.48	4.42	38.90	0.75	0.10	2.53	0.33	0.42	0.46
5.- Affidavit	3.10	26.08	1.20	2.58	0.18	10.75	9.73	5.84	63.15	1.10	0.05	3.68	0.22	0.43	0.26
6.- Azabache	3.60	18.58	0.90	1.63	0.18	11.75	14.08	6.07	71.65	0.73	0.04	2.35	0.22	0.45	0.23
7.- P. Norteño	3.85	19.05	1.60	1.33	0.20	8.58	9.80	5.02	43.05	0.63	0.08	1.95	0.28	0.48	0.40
8.- Delicias-71	4.15	13.45	0.95	1.40	0.18	12.50	12.53	4.91	61.10	0.75	0.08	2.15	0.26	0.54	0.53
9.- A. Amarillo	0.40	23.25	1.35	1.78	0.18	12.55	10.65	6.52	79.60	0.73	0.04	2.50	0.22	0.42	0.23
10.- Agrarista	3.45	25.98	1.45	1.75	0.23	9.50	10.10	6.14	58.48	0.53	0.04	2.28	0.26	0.31	0.18
11.- Clateño	2.85	25.18	1.30	1.68	0.18	10.40	10.78	5.71	59.55	0.68	0.06	2.35	0.24	0.40	0.33
12.- Jamapa	3.75	12.23	0.60	1.15	0.09	10.35	11.68	5.59	55.85	0.73	0.04	1.88	0.13	0.64	0.43
MEDIA	2.49	23.91	1.24	1.95	0.21	11.46	10.84	5.72	66.49	0.80	0.06	2.76	0.27	0.43	0.32
RANGO	3.75	30.67	1.00	2.18	0.21	7.82	5.08	2.10	75.13	0.60	0.06	2.40	0.24	0.35	0.35
E. ESTANDAR	0.57	2.19	0.13	0.16	0.03	1.70	1.57	0.62	13.16	0.11	0.02	0.21	0.02	0.07	0.15

Otro factor que influyó grandemente en el grado de clorosis en cada una de las variedades fue la concentración férrica, en el cuadro 32 se muestran los resultados del análisis químico de la semilla para determinar la cantidad de hierro por semilla para cada variedad y su relación con la clorosis. El coeficiente de correlación entre mg de Fe/semilla y la lectura de clorosis fué de 0.74, negativo y altamente significativo. A su vez la cantidad de Fe por semilla estuvo determinado en gran proporción por el tamaño del grano, el coeficiente de correlación entre mg de Fe/semilla y el peso/semilla fué de 0.89, positivo y altamente significativo.

(36.06%) y la relación PSR/PSF (24.60%) fueron las características con los valores mas bajos de heredabilidad.

CUADRO 33. PARTICION DE LA VARIANZA SIGNIFICATIVA ENTRE VARIEDADES EN SUS COMPONENTES ORTOGONALES, DEL ANVA DEL CUADRO 27.

COMPARACIONES														
ORTOGONALES ^{1/}	G.L.	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LMR	LTR	PFR	PSR	PFT	PST	PFR/ PFF
Variedades	11	0.814**	298.7**	0.373**	1.72**	0.014**	20.7**	1.89*	1597.3**	0.14**	0.0018**	2.56**	0.021**	0.040**
C 1	1	8.610**	362.7**	0.510**	8.34**	0.062**	126.7**	6.63**	9650.1**	0.44**	0.0005ns	12.62**	0.073**	0.058*
C 2	1	0.005ns	1217.1**	0.141**	0.39*	0.000ns	17.5ns	2.16ns	2006.0*	0.19**	0.0059**	0.04ns	0.004ns	0.065*
C 3	1	0.008ns	1.5ns	0.001ns	4.42**	0.042**	19.8ns	0.02ns	1078.7ns	0.14*	0.0015ns	6.10**	0.059**	0.29ns
C 4	1	0.005ns	83.9**	0.405**	0.55**	0.000ns	10.1ns	1.36ns	1638.8*	0.00ns	0.0000ns	0.55ns	0.000ns	0.006ns
C 5	1	0.005ns	69.6*	0.361**	0.38*	0.006*	1.1ns	5.54*	773.2ns	0.17*	0.0081**	1.05ns	0.028**	0.003ns
C 6	1	0.203*	826.6**	0.000ns	2.64**	0.001ns	2.6ns	0.11ns	4.41ns	0.23**	0.0002ns	4.41*	0.000ns	0.029ns
C 7	1	0.000ns	165.6**	0.045**	1.28**	0.005ns	8.4ns	4.08*	1176.1ns	0.25**	0.0061**	2.65ns	0.022**	0.000ns
C 8	1	0.008ns	62.7*	0.845**	0.01ns	0.001ns	30.8*	0.03ns	651.6ns	0.03ns	0.0000ns	0.08ns	0.001ns	0.006ns
C 9	1	0.059ns	414.1**	1.563**	0.42**	0.018**	4.8ns	0.03ns	89.8ns	0.06ns	0.0003ns	0.16ns	0.023**	0.146**
C10	1	0.044ns	1.3ns	0.045ns	0.01ns	0.005ns	1.6ns	0.38ns	2.3ns	0.05ns	0.0010ns	0.01ns	0.002ns	0.019ns
C11	1	0.004ns	80.6**	0.180**	0.45**	0.014**	3.9ns	0.46ns	499.3ns	0.00ns	0.0000ns	0.45ns	0.014**	0.076**
ERROR		0.036	9.6	0.017	0.05	0.001	5.8	0.77	346.6	0.02	0.0005	0.09	0.002	0.009

^{1/} C 1 = Tolerantes Vs susceptibles.
 C 2 = (AAM; C-101; C72) VS (FMy) (tolerantes).
 C 3 = Tolerantes (semilla chica Vs grande).
 C 4 = C-101 VS C-72 (tolerantes semilla grande).
 C 5 = Pintos Vs bayos y negros (susceptibles).
 C 6 = Pintos susceptibles (semilla grande Vs chica).
 C 7 = Aff Vs Nav (pintos semilla grande susceptibles).
 C 8 = NtA Vs Dic (pintos semilla chica susceptibles).

C 9 = Bayos Vs negros (susceptibles).
 C 10 = Ctn VS Agr (bayos susceptibles).
 C 11 = Azb VS Jpa (negros susceptibles).
 ns = no significativo
 * = significativo (5%)
 ** = altamente significativo (1%)

Las características que presentaron un mayor grado de asociación genética con la incidencia de clorosis fueron PSR/PSF (1.0000), número de raíces (-0.9203), longitud total de raíces (-0.8268), peso seco del follaje (-0.7942), longitud media por raíz (-0.7573), peso fresco del follaje (-0.7485), peso fresco total (-0.7445) y longitud de la raíz principal (0.7248). La magnitud de la correlación genética con grado de clorosis fué intermedia para peso fresco de la raíz (-0.5875), peso seco total (-0.5745), PFR/PFF (-0.5521), longitud del tallo (-0.4734) y número de hojas (-0.4243). La característica menos correlacionada genéticamente con la presencia de clorosis fue peso seco de la raíz (-0.1653).

(36.06%) y la relación PSR/PSF (24.60%) fueron las características con los valores mas bajos de heredabilidad.

CUADRO 33. PARTICION DE LA VARIANZA SIGNIFICATIVA ENTRE VARIEDADES EN SUS COMPONENTES ORTOGONALES, DEL ANVA DEL CUADRO 27.

COMPARACIONES														
ORTOGONALES ^{1/}	G.L.	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LMR	LTR	PFR	PSR	PFT	PST	PFR/ PFF
Variedades	11	0.814**	298.7**	0.373**	1.72**	0.014**	20.7**	1.89*	1597.3**	0.14**	0.0018**	2.56**	0.021**	0.040**
C 1	1	8.610**	362.7**	0.510**	8.34**	0.062**	126.7**	6.63**	9650.1**	0.44**	0.0005ns	12.62**	0.073**	0.058*
C 2	1	0.005ns	1217.1**	0.141**	0.39*	0.000ns	17.5ns	2.16ns	2006.0*	0.19**	0.0059**	0.04ns	0.004ns	0.065*
C 3	1	0.008ns	1.5ns	0.001ns	4.42**	0.042**	19.8ns	0.02ns	1078.7ns	0.14*	0.0015ns	6.10**	0.059**	0.29ns
C 4	1	0.005ns	83.9**	0.405**	0.55**	0.000ns	10.1ns	1.36ns	1638.8*	0.00ns	0.0000ns	0.55ns	0.000ns	0.006ns
C 5	1	0.005ns	69.6*	0.361**	0.38*	0.006*	1.1ns	5.54*	773.2ns	0.17*	0.0081**	1.05ns	0.028**	0.003ns
C 6	1	0.203*	826.6**	0.000ns	2.64**	0.001ns	2.6ns	0.11ns	4.41ns	0.23**	0.0002ns	4.41*	0.000ns	0.029ns
C 7	1	0.000ns	165.6**	0.045**	1.28**	0.005ns	8.4ns	4.08*	1176.1ns	0.25**	0.0061**	2.65ns	0.022**	0.000ns
C 8	1	0.008ns	62.7*	0.845**	0.01ns	0.001ns	30.8*	0.03ns	651.6ns	0.03ns	0.0000ns	0.08ns	0.001ns	0.006ns
C 9	1	0.059ns	414.1**	1.563**	0.42**	0.018**	4.8ns	0.03ns	89.8ns	0.06ns	0.0003ns	0.16ns	0.023**	0.146**
C 10	1	0.044ns	1.3ns	0.045ns	0.01ns	0.005ns	1.6ns	0.38ns	2.3ns	0.05ns	0.0010ns	0.01ns	0.002ns	0.019ns
C 11	1	0.004ns	80.6**	0.180**	0.45**	0.014**	3.9ns	0.46ns	499.3ns	0.00ns	0.0000ns	0.45ns	0.014**	0.076**
ERROR		0.036	9.6	0.017	0.05	0.001	5.8	0.77	346.6	0.02	0.0005	0.09	0.002	0.009

^{1/} C 1 = Tolerantes Vs susceptibles.
 C 2 = (AAM; C-101; C72) VS (FMy) (tolerantes).
 C 3 = Tolerantes (semilla chica Vs grande).
 C 4 = C-101 VS C-72 (tolerantes semilla grande).
 C 5 = Pintos Vs bayos y negros (susceptibles).
 C 6 = Pintos susceptibles (semilla grande Vs chica).
 C 7 = Aff Vs Nav (pintos semilla grande susceptibles).
 C 8 = Mta Vs Dic (pintos semilla chica susceptibles).

C 9 = Bayos Vs negros (susceptibles)
 C 10 = Cta VS Agr (bayos susceptibles).
 C 11 = Azb VS Jpa (negros susceptibles).
 ns = no significativo
 * = significativo (5%)
 ** = altamente significativo (1%)

Las características que presentaron un mayor grado de asociación genética con la incidencia de clorosis fueron PSR/PSF (1.0000), número de raíces (-0.9203), longitud total de raíces (-0.8268), peso seco del follaje (-0.7942), longitud media por raíz (-0.7573), peso fresco del follaje (-0.7485), peso fresco total (-0.7445) y longitud de la raíz principal (0.7248). La magnitud de la correlación genética con grado de clorosis fué intermedia para peso fresco de la raíz (-0.5875), peso seco total (-0.5745), PFR/PFF (-0.5521), longitud del tallo (-0.4734) y número de hojas (-0.4243). La característica menos correlacionada genéticamente con la presencia de clorosis fue peso seco de la raíz (-0.1653).

CUADRO 34. HEREDABILIDAD (H^2) Y CORRELACIONES (r) ENTRE EL GRADO DE CLOROSIS Y CARACTERÍSTICAS DE PLANTAS DE FRIJOL DE 14 DÍAS CRECIENDO EN 2 SOLUCIONES NUTRITIVAS DEFICIENTES EN FIERRO.

CARACTERÍSTICA	H^2	r_g	r_e	r_f
1.- Clorosis	94.35			
2.- LGT	96.78	-0.4734 *	0.4714 *	-0.4368 *
3.- HJS	94.50	-0.4243 *	-0.0371 ns	-0.4028 ns
4.- PFF	97.09	-0.7485 **	0.0091 ns	-0.7161 **
5.- PSF	82.00	-0.7942 **	-0.1949 ns	-0.7579 **
6.- RCS	68.38	-0.9203 **	0.0580 ns	-0.6875 **
7.- LRP	36.06	0.7248 **	-0.1418 ns	0.3971 ns
8.- LMR	59.43	-0.7573 **	-0.1316 ns	-0.5861 **
9.- LTR	78.30	-0.8268 **	-0.0392 ns	-0.7148 **
10.- PFR	85.71	-0.5875 **	-0.3094 ns	-0.5548 **
11.- PSR	49.56	-0.1653 ns	-0.5020 *	-0.1165 ns
12.- PFT	96.56	-0.7445 **	-0.1278 ns	-0.7156 **
13.- PST	86.54	-0.5745 **	-0.4229 *	-0.5620 **
14.- PFR/PFF	78.50	-0.5521 **	-0.1494 ns	0.4597 *
15.- PSR/PSF	24.60	1.0000 **	-0.2986 ns	0.4332 *

ns = no significativo * = significativo (5%) ** = altamente significativo (1%)

Las correlaciones fenotípicas con clorosis fueron para todas las características inferiores a las correlaciones genéticas, correspondiendo los valores más altos a peso seco del follaje (-0.7579), peso fresco del follaje (-0.7161), peso fresco total (-0.7156), longitud total de raíces (-0.7148), y número de raíces (-0.6875), valores intermedios de correlación fenotípica con clorosis fueron para longitud promedio por raíz (-0.5861), peso seco total (-0.5620), peso fresco de la raíz (-0.5548), PFR/PFF (0.4597), longitud del tallo (-0.4368), PSR/PSF (0.4332), número de hojas (-0.4028) y longitud de la raíz principal (0.3971), baja asociación fenotípica existió entre clorosis y peso seco de la raíz (-0.1165). La correlación debida al error experimental fué intermedia

seco total; las diferencias varietales fueron significativas en número de hojas, peso fresco de la raíz y PSR/PSF y las variedades fueron estadísticamente no diferentes para grado de clorosis, número de raíces, longitud de la raíz principal y PFR/PFF (cuadro 35).

CUADRO 35. VARIANZAS ESTIMADAS PARA LAS CAUSAS DE VARIACION EN EL ESTUDIO DEL EFECTO DEL TAMAÑO DEL GRANO SOBRE LA CLOROSIS FERRICA EN UN MEDIO HIDROPONICO.

CARACTERISTICAS ^{1/}	CAUSAS DE VARIACION					C _{Ve}
	REP'S	SEMILLA	VAR'S	VAR X SEM	ERROR	
GL	3	1	3	3	21	
1.- PCS	2.54*	168.04**	92.83**	2.65*	0.67	3.93
2.- CLO	3.41*	0.04ns	1.60ns	1.14ns	0.85	43.47
3.- LGT	77.52ns	87.78ns	363.97**	31.98ns	26.39	23.18
4.- HJS	0.21ns	0.14ns	0.31*	0.03ns	0.07	30.20
5.- PFF	0.02ns	0.06ns	0.65**	0.07ns	0.04	12.61
6.- PSF	0.00ns	0.0014ns	0.0035**	0.0001ns	0.0004	17.97
7.- RCS	5.08*	0.03ns	0.45ns	0.44ns	1.24	19.90
8.- LRP	2.03ns	0.030 ns	1.69ns	2.78ns	1.28	15.38
9.- PFR	0.03ns	0.25**	0.09*	0.02ns	0.02	18.36
10.- PSR	0.00004ns	0.00011*	0.00020**	0.00002ns	0.00002	20.98
11.- PFT	0.05ns	0.55*	1.19**	0.15ns	0.08	11.07
12.- PST	0.0001ns	0.0023ns	0.0051**	0.0001ns	0.0006	17.85
13.- PFR/PFF	0.020ns	0.053ns	0.011ns	0.003ns	0.015	23.52
14.- PSR/PSF	0.004ns	0.002ns	0.004ns	0.001ns	0.001	23.57

La variedad con el grano de mayor tamaño, Affidavitt, tuvo promedios superiores al resto de las variedades en las características longitud del tallo, peso fresco del follaje, peso seco del follaje, peso fresco de la raíz, peso seco de la raíz, peso fresco total y peso seco total; la variedad de grano intermedio Pinto Norteño obtuvo los valores mas altos en grado de clorosis, número de raíces y PSF/PSF; Azabache con un tamaño de grano similar al de Pinto Norteño promedió altos valores en número de hojas y longitud de la raíz prin-

principal y finalmente la variedad con grano más pequeño Delicias 71, sobresalió solamente por su promedio alto en la relación PFR/PFF (cuadro 38).

CUADRO 36. PESO DE 100 SEMILLAS PARA 4 VARIETADES DE FRIJOL SEPARADAS EN 2 TAMAÑOS DE GRANO.

TAMAÑO DE GRANO	V A R I E T A D				MEDIA	DMS	DMS
	AFF	NTR	AZB	DLC		0.05	0.01
1.- GRANDE	28.60	21.74	21.69	20.52	23.14	1.20	1.64
2.- PEQUERO	22.88	18.45	17.73	15.16	18.55	1.20	1.64
MEDIA	25.74	20.09	19.71	17.84	20.85	0.60	0.82
DMS 0.05	1.20	1.20	1.20	1.20	0.85		
DMS 0.01	1.64	1.64	1.64	1.64	1.16	CV =	3.93%

El grado de asociación entre el peso de 100 semillas con longitud del tallo (0.71), peso fresco del follaje (0.73), peso seco del follaje (0.71), peso fresco de la raíz (0.68), peso seco de la raíz (0.75), peso fresco total (0.81) y peso seco total (0.75) resultó altamente significativo y positivo. La correlación entre el peso del grano y número de hojas fue significativa solamente y la correlación fué estadísticamente no significativa entre peso de 100 semillas con grado de clorosis, número de raíces, longitud de la raíz principal, PFR/PFF y PSR/PSF (cuadro 39).

CUADRO 37.- CARACTERISTICAS PROMEDIO, PLANTAS DE 13 DIAS, DE 4 VARIETADES DE FRIJOL SEPARADAS EN 2 TAMAOS DE GRANO Y EVALUADAS EN UNA SOLUCION NUTRITIVA DEFICIENTE EN FIERRO.

TAMARO DE GRANO	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LRP	PFR	PSR	PFT	PST	PFR/PFF	PSR/PSF
GRANDE	2.15	23.82	0.96	1.71	0.12	5.63	7.46	0.93	0.021	2.64	0.14	0.56	0.17
PEQUERO	2.08	20.51	0.83	1.62	0.11	5.56	7.26	0.76	0.017	2.38	0.13	0.48	0.15
DIFERENCIA	0.07 ^{ns}	3.31 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.17 ^{**}	0.004 [*]	0.26 [*]	0.01 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}

ns = no significativo * = significativo (5%) ** = altamente significativo (1%).

CUADRO 38.- CARACTERISTICAS DE 4 VARIETADES DE FRIJOL, PLANTAS DE 13 DIAS, EVALUADAS EN SOLUCION NUTRITIVA DEFICIENTE EN FIERRO.

VARIETADE	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LRP	PFR	PSR	PFT	PST	PFR/PFF	PSR/PSF
Affidavitt	1.85	31.33	1.00	2.08	0.15	5.60	7.29	1.00	0.024	3.08	0.17	0.48	0.16
P. Norteño	2.54	20.85	0.94	1.56	0.11	5.90	6.74	0.81	0.020	2.38	0.13	0.52	0.18
Azabache	2.45	14.65	1.03	1.59	0.12	5.33	7.74	0.78	0.019	2.36	0.13	0.50	0.16
Delicias 71	1.63	15.08	0.60	1.43	0.10	5.55	7.68	0.79	0.013	2.21	0.11	0.57	0.13
MEDIA	2.12	22.16	0.89	1.66	0.12	5.59	7.36	0.84	0.019	2.51	0.13	0.52	0.16
RANGO	0.91	16.68	0.43	0.65	0.05	0.57	1.00	0.22	0.011	0.87	0.06	0.09	0.05

CUADRO 37.- CARACTERISTICAS PROMEDIO, PLANTAS DE 13 DIAS, DE 4 VARIETADES DE FRIJOL SEPARADAS EN 2 TAMAOS DE GRANO Y EVALUADAS EN UNA SOLUCION NUTRITIVA DEFICIENTE EN FIERRO.

TAMARO DE GRANO	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LRP	PFR	PSR	PFT	PST	PFR/PFF	PSR/PSF
GRANDE	2.15	23.82	0.96	1.71	0.12	5.63	7.46	0.93	0.021	2.64	0.14	0.56	0.17
PEQUERO	2.08	20.51	0.83	1.62	0.11	5.56	7.26	0.76	0.017	2.38	0.13	0.48	0.15
DIFERENCIA	0.07 ^{ns}	3.31 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.17 ^{**}	0.004 [*]	0.26 [*]	0.01 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}

ns = no significativo * = significativo (5%) ** = altamente significativo (1%).

CUADRO 38.- CARACTERISTICAS DE 4 VARIETADES DE FRIJOL, PLANTAS DE 13 DIAS, EVALUADAS EN SOLUCION NUTRITIVA DEFICIENTE EN FIERRO.

VARIETA D	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LRP	PFR	PSR	PFT	PST	PFR/PFF	PSR/PSF
Affidavitt	1.85	31.33	1.00	2.08	0.15	5.60	7.29	1.00	0.024	3.08	0.17	0.48	0.16
P. Norleño	2.54	20.85	0.94	1.56	0.11	5.90	6.74	0.81	0.020	2.38	0.13	0.52	0.18
Azabache	2.45	14.65	1.03	1.59	0.12	5.33	7.74	0.78	0.019	2.36	0.13	0.50	0.16
Delicias 71	1.63	15.08	0.60	1.43	0.10	5.55	7.68	0.79	0.013	2.21	0.11	0.57	0.13
MEDIA	2.12	22.16	0.89	1.66	0.12	5.59	7.36	0.84	0.019	2.51	0.13	0.52	0.16
RANGO	0.91	16.68	0.43	0.65	0.05	0.57	1.00	0.22	0.011	0.87	0.06	0.09	0.05

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

DETERMINACION DE LA EDAD DE LA PLANTA MAS APROPIADA PARA EVALUAR LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

Las condiciones ambientales presentes durante el desarrollo de este estudio permitieron una clara manifestación de la clorosis férrica, la escasa precipitación hizo necesaria la aplicación de 2 riegos de auxilio, los cuales favorecieron la insolubilidad del fierro en el suelo por el alto contenido de sales en el agua de riego, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros de calcio y magnesio, que elevan los niveles de salinidad en el suelo en complicidad con el drenaje deficiente.

Debido a que la clorosis férrica es inducida por factores ambientales y depende de éstos para su manifestación (Wallace, 1961; Lucas y Knezek, 1972 y Gray, et al, 1974) su incidencia fué heterogénea, lo que se reflejó en variación significativa entre repeticiones dentro de los ensayos para las lecturas de clorosis a los 39 y 55 días y para rendimiento en grano (cuadro 14). Aparentemente y de acuerdo con los promedios de los testigos, incluidos en ambos ensayos, el ensayo 2 estuvo en una condición más favorable que el ensayo 1 (cuadro 16), presentando el primero mayores promedios en peso de 100 semillas y rendimiento en grano. La respuesta diferencial de los genotipos testigos a esas variaciones am-

bientales para todas las características evaluadas, nos indica la presencia de la interacción genotipo-ambiente, la cual en este caso no podemos estimar por el tipo de diseño empleado.

Considerando la totalidad de los genotipos evaluados, los ensayos 1 y 2 presentaron promedios estadísticamente iguales de clorosis a los 17 días; la deficiencia férrica fue mayor en el ensayo 1 para la lectura a los 39 días e inferior en la de 55 días comparativamente con el ensayo 2. El promedio del peso de 100 semillas y rendimiento en grano fueron estadísticamente superiores en el ensayo 2. Las diferencias y similitudes entre ambos ensayos pueden ser explicadas por 3 factores: 1) La asignación de genotipos en ambos ensayos fue al azar, por lo cual es posible que exista un desequilibrio en cuanto a potencial para las características evaluadas; 2) Aparentemente el ensayo 2 estuvo mejor situado en cuanto a condición ambiental y 3) La interacción genotipo-ambiente muy probablemente afectó los promedios de las variedades para las características estudiadas. Sin embargo no es posible precisar el peso de cada uno de los factores mencionados, (Cuadro 17 y 18).

Todos los genotipos, con muy escasas excepciones, mostraron mayor incidencia de clorosis a medida que se retrasó la lectura de la deficiencia férrica, sin embargo estos incrementos presentaron variaciones entre genotipos, ocurriendo una significativa interacción genotipo-época de lectura (Cuadro 15). Tal interacción provocó que la diferencia entre genotipos no fueron las mismas y que las posiciones de los ge

notipos de acuerdo con su grado de clorosis variarán de una lectura a otra (cuadros 17 y 18). Los análisis de varianza de cada uno de los 3 períodos de determinación de la deficiencia férrica indican diferencias altamente significativas entre variedades dentro de cada ensayo, la mayor variación entre genotipos se presentó en la primera lectura, pero así mismo fué la que tuvo el mayor error experimental; las lecturas a los 39 y 55 días presentaron varianzas similares entre genotipos, con el error experimental ligeramente mayor en la segunda lectura (cuadro 14).

En las diferencias observadas entre los 3 períodos de determinación de la deficiencia férrica jugaron un papel determinante los siguientes factores; 1) Edad de la planta y 2) Condiciones ambientales al momento de la lectura. La primera evaluación de clorosis se realizó sobre plantas con una ó dos hojas trifoliadas, estas presentaban daños por los fuertes vientos de la época y por la presencia de minador de la hoja, además de la incidencia de pudriciones radiculares y del tallo; durante este período el frijol en la región se caracteriza por un desarrollo vegetativo bastante lento que se prolonga aproximadamente hasta los primeros 35 ó 40 días, poco antes del inicio de la floración. Bajo estas condiciones es muy posible que los requerimientos de fierro por parte de la planta sean moderados y que la presencia de daños por factores ambientales y patógenos enmascaren y causen sesgo en la determinación visual de la clorosis férrica.

La segunda lectura realizada a los 39 días ocurrió después de la aplicación del primer riego de auxilio, precisamente cuando las plantas como respuesta a éste aceleraron su crecimiento vegetativo y produjeron numerosas hojas sobre las cuales se presentó la clorosis férrica, indicando una incapacidad de la planta para satisfacer la repentinamente elevada demanda de fierro para los nuevos crecimientos, esta situación fue desapareciendo a medida de que el suelo bajó su nivel de humedad, tomando progresivamente las plantas un color verde más normal, permaneciendo cloróticas solo las plantas más susceptibles. Bajo estas condiciones la clorosis se hace más evidente pero las diferencias entre variedades se reducen, debido a que la deficiencia férrica parece ser más crítica.

La tercera lectura a los 55 días se realizó bajo condiciones similares a los de la segunda, después del 2º riego de auxilio, apareciendo la clorosis sobre los nuevos crecimientos que se produjeron como respuesta a la aplicación de agua, pero a diferencia de los anteriores durante este período la planta se encontraba simultáneamente en floración, formación de vainas y llenado del grano, aspectos muy importantes para la producción de semilla al final del ciclo. En esa situación la clorosis en las plantas de frijol en la tercera lectura fue bastante clara, pero debido a su alta intensidad las diferencias entre genotipos fueron menores a las de primera lectura, pero de similar magnitud a los de la segunda, considerando los valores de la varianza estimada (Cuadro 14).

La línea LFRB-1 destacó tanto por su baja incidencia de clorosis como por su alta productividad, sin embargo su grano pequeño y de color café-rojizo presenta características de difícil comercialización. Otras líneas destacadas por su reducida incidencia de clorosis fueron LFRB-9 y LFRB-23, pero sus rendimientos resultaron extremadamente bajos. Por otra parte las variedades más susceptibles a la clorosis férrica fueron Jamapa y Azabache, ambas coincidentemente de grano color negro.

Los coeficientes de correlación debidos a causas genéticas entre las diferentes lecturas fueron positivas y altamente significativas (cuadro 19), existiendo una relación mayor entre las lecturas primera y segunda y casi similar en magnitud entre la segunda y tercera lecturas, la primera y tercera evaluación de clorosis presentaron una baja correlación genética, esta última fue afectada por un significativo valor de correlación causado por el error experimental. Los valores de correlación entre los diferentes períodos de determinación de la deficiencia férrica, muy probablemente se vieron afectados por las mismas causas que produjeron la interacción genotipo-época de la lectura las cuales fueron discutidas con anterioridad.

La lectura de clorosis a los 17 días presentó bajo valores de correlación tanto con el peso de 100 semillas como con el rendimiento en grano, lo cual significa que las determinaciones de la deficiencia férrica en ese período, reper-

cuten solo ligeramente en la producción final de grano. La lectura a los 55 días tuvo una correlación negativa y altamente significativa con el peso de 100 semillas, pero su asociación con el rendimiento de grano fué muy baja, lo anterior significa que a mayor clorosis en este época el tamaño del grano disminuye, pero su efecto sobre la producción final de semilla es casi nulo. Opuestamente a lo acontecido con la segunda lectura, la evaluación de clorosis a los 55 días tuvo una relación negativa y altamente significativa con el rendimiento en grano, teniendo poco efecto sobre el tamaño de la semilla. La clorosis en esa época, donde simultáneamente se presentan las etapas reproductivas de floración y formación de vainas y grano, afecta en una forma negativa la producción final de semilla, lo anterior por la importancia que tiene sobre el aspecto económico más relevante del cultivo y lo ya discutido sobre las condiciones prevalecientes en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, parece indicar que alrededor de los 55 días después de la siembra, es la fecha más adecuada para determinar el grado de clorosis férrica en frijol en el norte de Tamaulipas; el mayor valor de heredabilidad de la incidencia de clorosis para ese período (55 días), ofrece un apoyo extra a tal aseveración.

Para nuestro estudio fué válido establecer un período de días para evaluar la deficiencia de fierro, por la similitud en el número de días a floración de los genotipos ensayados, sin embargo y pensando en las amplias variaciones que existen en el germoplasma de frijol, tal vez sea más pre

ciso y de aplicación más general determinar en el futuro el período de evaluación de clorosis en base al desarrollo fenológico de las plantas.

INFLUENCIA DE LA INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE EN LA EVALUACION DE LA CLOROSIS FERRICA EN FRIJOL.

La evaluación de 19 genotipos de frijol a través de 3 ciclos de prueba, 2 en primavera y uno en otoño, nos permitió explorar en un mismo tipo de suelo 3 condiciones ambientales muy diferentes entre sí, que ocasionaron comportamientos muy distintos de los materiales y genotipos en respuesta a los factores que caracterizaron cada uno de los ambientes.

El ciclo primavera-1 tuvo una escasa precipitación, por lo que fue necesario aplicar 2 riegos de auxilio, normalmente la mala calidad del agua de riego sumada al deficiente drenaje que caracteriza al suelo del sitio experimental, elevan temporalmente los niveles de salinidad en el área de raíces de las plantas, dejando inclusive un residuo blanquesino (carbonatos de calcio) sobre el lomo del surco, la anterior situación provoca plantas con reducido desarrollo vegetativo y baja productividad; la clorosis férrica generalmente se agrava bajo estas condiciones y su incidencia es más evidente en el período de alta humedad en el suelo, posterior a la aplicación de los riegos; precisamente las determinaciones de deficiencia férrica en este ciclo se realizaron después del segundo riego de auxilio.

El ciclo de otoño en nuestro estudio se caracterizó por la alta precipitación registrada, principalmente en el período de crecimiento vegetativo del cultivo; en los primeros 50 días hubo alrededor de 286.2 mm de lluvia, mientras que en el resto del ciclo (aproximadamente otros 50 días) se presentaron alrededor de 51.5 mm, lo anterior hizo innecesaria la aplicación de riegos de auxilio. Inmediatamente después de la siembra (entre el 1º y 4º día) cayeron lluvias que totalizaron aproximadamente 20 mm esto ocasionó la formación de costras e impidió la normal emergencia de las plantulas, reduciendo en forma significativa la población de plantas. Por otra parte esta disminución de la población de plantas se vio agravado por la incidencia de pudriciones radiculares y del tallo, que se presentaron como consecuencia de los altos niveles de humedad prevalecientes en el suelo. Lo anterior provocó parcelas con pocas plantas, de escaso crecimiento vegetativo y consecuentemente muy bajos rendimientos, que presentaron durante casi todo el ciclo el amarillamiento clásico de la deficiencia férrica. Khan y Soltanpour en 1978 reportaron la estrecha relación entre niveles altos de humedad, pH alto y pudriciones radiculares con plantas de frijol cloróticas deficientes en Zinc, elemento con varias similitudes con el fierro en su función como compuesto nutritivo esencial para las plantas. La situación que se acaba de describir es muy normal en el ciclo de otoño en el norte de Tamaulipas y ha provocado que las siembras de frijol en este tipo de suelo se limiten a aquellas áreas que cuenten con in-

fraestructura para un drenaje rápido de los excedentes de humedad.

En el ciclo primavera-2 las precipitaciones fueron en magnitud muy similares a las del ciclo otoño, pero distribuidas mas uniformemente a través de todo el ciclo, si a esto agregamos que las condiciones de temperatura e insolación en este ciclo son más favorables para reducir la humedad en el suelo, podemos explicarnos el efecto tan distinto de precipitaciones tan similares sobre el crecimiento y productividad de las plantas de frijol. Por otra parte la magnitud de las lluvias hizo inecesaria la aplicación de riegos de auxilio, lo cual favoreció al cultivo. Lo anterior provocó que la clorosis férrica casi no se presentara durante todo el ciclo y solo una pocas variedades presentaron ligeros amarillamientos.

La disponibilidad de luz, significativamente reducida en el ciclo Otoño, tanto por el acortamiento de la duración del día como por una mayor proporción de días nublados, seguramente jugó un papel importante en la diferencias observadas entre ciclos tanto en lo que se refiere a producción de grano como a los niveles de clorosis presentes. Olsen, et al (1981) reportan que la luz interviene en la reducción del fierro en el interior de la planta para su aprovechamiento y por otra parte también es conocido que la clorofila es destruída bajo intensidades de luz excesivamente altas.

La descripción hecha de los factores más importantes que caracterizaron los ciclos de prueba, explicó las diferen-

cias que se presentaron entre ellos para las características consideradas en nuestro estudio. El ciclo primavera 2 presentó el más bajo promedio de clorosis, carácter en que los ciclos primavera-1 y otoño presentaron lecturas similares. El peso de 100 semillas no varió significativamente entre ciclos, presentando los 3 ambientes de prueba promedios estadísticamente no diferentes para este carácter. En rendimiento en grano las diferencias entre los 3 ciclos fueron amplias, el ciclo primavera-2 fué donde las variedades presentaron los rendimientos más altos, seguido por el ciclo primavera-1, siendo el ciclo otoño donde los promedios de rendimiento en grano fueron mas bajos (cuadros 21,22 y 23).

La línea LFRB-23 confirmó a través de los 3 ciclos su tolerancia a la clorosis férrica, la cual ya había exhibido en el estudio anterior, también en peso de 100 semillas obtuvo el mayor promedio, pero su potencial de rendimiento en grano fué muy inferior al obtenido por las variedades más rendidoras, aún en las condiciones más favorables. En rendimiento en grano la línea más destacada durante los 3 ciclos fué LFRB-1, presentando una gran estabilidad a través de los 3 ambientes, la principal cualidad de esta línea fue su resistencia a las pudriciones del tallo y radicales y a los excesos de humedad, su nivel de clorosis férrica apenas fué ligeramente superior al de la línea más resistente, LFRB-23, sin embargo su tamaño de grano es demasiado pequeño y de color café-rojizo lo cual hace difícil su comercialización. En el extremo opuesto la variedad más susceptible a la deficien

cia férrica fué Azabache, que además presentó un bajo rendimiento en grano y un aceptable peso de 100 semillas. La línea con el menor tamaño de semilla fué LFRB-26, la cual obtuvo un rendimiento aceptable de grano y su tolerancia a clorosis férrica fue regular. Las variedades Jamapa y Delicias-71 obtuvieron los rendimientos de grano más bajos, presentando susceptibilidad a pudriciones radiculares y del tallo, a las condiciones de salinidad moderada y a excesos de humedad, los niveles de clorosis en ambas variedades son altos, aunque esto no se reflejó en el promedio final de los 3 ciclos, debido a que ambas variedades vieron afectado significativamente su desarrollo en el ciclo otoño y bajo estas condiciones la clorosis férrica no se manifiesta en toda su potencialidad. Si consideramos que la variedad Jamapa es la de mayor uso en la región, por su tipo de grano y disponibilidad de semilla, y que condiciones similares a las del estudio se presentan en más del 50% del área de cultivable en la región, se comprenderá la urgente necesidad de sustituir dicha variedad por otra de mayor tolerancia a tales condiciones (cuadros 21 y 22).

La interacción genotipo-ambiente, altamente significativa para clorosis y rendimiento en grano y significativa para el peso de 100 semillas, afectó las diferencias entre los promedios de ciclos y variedades. La respuesta variable de los distintos genotipos a las condiciones tan diferentes de los ciclos de prueba, causaron cambios en la posición de los genotipos de un ambiente de prueba a otro en las 3 variables

consideradas, la característica menos afectada en este aspecto fué el peso de 100 semillas (cuadro 20).

Ya comentamos en párrafos anteriores como la manifestación de la clorosis férrica es enmascarada por factores que impiden el normal desarrollo de las plantas, por lo tanto la incidencia de tales factores y su desigual efecto entre los distintos genotipos, causará un sesgo en la determinación visual de la susceptibilidad a la deficiencia férrica de las plantas, tal es el caso en nuestro estudio del ciclo otoño; por otra parte la severidad de los factores adversos, similar a la ocurrida en ese ciclo, ponen en riesgo la continuidad de un programa de selección, por la posibilidad de la pérdida total de la semilla. En el extremo opuesto, un ambiente demasiado favorable como el ocurrido en primavera-2, no permite diferenciar los genotipos más eficientes en condiciones de bajo fierro aprovechable.

Tal situación es frecuente en el mejoramiento de plantas para resistencia a tensión ambiental, de ahí la necesidad expresada por diferentes autores de diseñar metodologías de mejoramiento genético que reduzcan los efectos ambientales desfavorables que involucra la adaptación de plantas a tales condiciones (Brown, et al, 1972; Levitt, 1972; Specht y Williams, 1978 y Lewis y Christiansen, 1981).

La relación entre el grado de clorosis y el peso de 100 semillas, estimadas através del coeficiente de correlación genético fué ligeramente baja, presentando consistencia con

los resultados del primer estudio, esto tal vez sea explicado por el hecho de que el peso de 100 semilla es uno de los componentes de rendimiento de mayor estabilidad (Valdez y Nuñez, 1976 y Kohashi, 1982). Por el contrario la asociación causada por factores genéticos entre la clorosis y el rendimiento fue de alto valor y negativa, también confirmando los resultados del estudio anterior.

La variación genética en el grado de clorosis explicó por un 53% de la variedad genética en el rendimiento en grano, en ello influyó seguramente el hecho de que los niveles de clorosis corresponden al período de iniciación de la etapa reproductiva del cultivo. Esto significa que la incidencia de la clorosis férrica sobre las plantas de frijol afecta la producción normal de grano, estimaciones realizadas usando el coeficiente de regresión total indican que por cada unidad de aumento en el grado de clorosis la pérdida de grano es de 611 kg/ha, bajo ese mismo cálculo la media de rendimiento en ausencia de clorosis aumentaría de 758 a 1918 Kg/ha (254%) (cuadro 24). La realización de estudios posteriores sobre la relación entre la clorosis férrica y otros componentes de rendimiento nos daría información mas precisa del efecto de la deficiencia férrica en la producción final de grano.

Un dato interesante es que el peso de 100 semillas presente una correlación negativa con el rendimiento, es decir, los rendimientos mayores fueron más frecuentes en las variedades de grano pequeño. Este tipo de relación aparentemente se

acentúa a medida que las condiciones del cultivo se hacen más críticas, lo anterior de acuerdo con las estimaciones de los coeficiente de correlación entre ambas características en cada uno de los ciclos por separado, en primavera 1 y 2 los coeficientes de correlación entre peso de 100 semillas y rendimiento en grano fueron muy similares (-0.3573 y -0.3597 respectivamente), mientras que en otoño el coeficiente de correlación genético entre estas características se elevó significativamente (-0.7439). Sería interesante establecer la naturaleza del efecto ambiental sobre las relaciones entre el rendimiento en grano y su componentes.

La heredabilidad en sentido amplio para la incidencia de clorosis fue de bajo valor (cuadro 25), afectada principalmente por la interacción genotipo-ambiente. Tal situación nos hace esperar avances lentos en la selección de genotipos resistentes a la clorosis férrica bajo condiciones de campo, dos alternativas se nos presentan para superar este problema y lograr avances mayores en la obtención de plantas resistentes a la deficiencia férrica, una de ellas es seleccionar simultáneamente en varias localidades con problemas de deficiencia férrica (Johnson, et al, 1955), lo cual aumentaría la probabilidad de evaluar nuestros genotipos bajo una presión de selección adecuada. La segunda alternativa sería desarrollar tecnologías bajo condiciones controladas que permitan aumentar la eficiencia de la selección eliminando en gran parte el efecto ambiental (Brown, 1976). Ambas opciones merecen ser consideradas.

Los altos valores de heredabilidad en sentido amplio tanto para peso de 100 semillas como para rendimiento en grano, fueron resultado en gran parte de la amplia variabilidad existente entre los genotipos evaluados seleccionados precisamente en base a sus orígenes diversos, la cual mantuvo su alto valor a pesar de los efectos de la interacción genotipo-ambiente. En el peso de 100 semillas posiblemente también influyó su estabilidad a través de diferentes ambientes (cuadro 25).

EFICIENCIA DE UN MEDIO HIDROPONICO PARA EVALUAR LA RESPUESTA DEL FRIJOL A LA DEFICIENCIA FERRICA.

En este estudio se usó una solución nutritiva recomendada por Brown (1976), en la cual las plantas se desarrollaron sin problemas de fitotoxicidad, no obstante cuando esta solución se usó en volúmenes reducidos (2 lts), las plantas presentaron síntomas similares a los ocasionados por exceso de boro, por lo que tal vez sea recomendable disminuir la concentración de este elemento al nivel usado por Clark, et al (1981) de 0.26 mg/lit.

Una concentración de hierro de 3 mg/lit, en la solución nutritiva, es suficiente para mantener la suplementación de hierro a un nivel aceptable para el desarrollo de plantas de frijol de 14 días, inclusive con exceso de fósforo (8 mg/lit) y calcio (12 mg/lit) las plántulas mantuvieron un color verde normal a esa concentración de hierro (datos no reportados). Fué necesario disminuir la concentración del hierro a 0.02

mg/lit para provocar tensión férrica y que el clásico síntoma de la clorosis férrica se manifestará a los 14 días de iniciado el experimento.

El incremento de la concentración de fósforo y calcio, a baja concentración de hierro (0.2 mg/lit), aparentemente no tiene efectos aditivos sobre la disponibilidad del hierro en el medio ya que con esos tratamiento por separado se alcanzaron niveles de clorosis similares a los de la solución con exceso de ambos elementos y deficiente en hierro. La solución libre de hierro también presentó lecturas de clorosis no diferentes estadísticamente a los de los tratamientos mencionados (cuadro 26). Clark, et al, (1981) recomiendan para seleccionar genotipos de sorgo por resistencia a clorosis férrica una solución nutritiva rica en P o NO_3 con plantas de 10 días, pero en plantas mayores es mas eficiente el P.

Las plantas de frijol de 14 días bajo tensión férrica incrementaron en forma significativa, en relación con su comportamiento en la solución normal, las siguientes características: clorosis, peso fresco del follaje, número de raíces, longitud total de raíces, peso fresco de la raíz, peso seco de la raíz, peso fresco total, peso seco total y la relación peso seco de la raíz/peso seco del follaje y opuestamente disminuyeron en forma significativa el número de hojas, el resto de las características evaluadas sufrieron modificaciones estadísticamente no significativas al ser medidas en la solución normal y bajo tensión férrica (cuadro 28).

Las variedades Azufrado Amarillo, Canario 101, Flor de Mayo y CIAS-72 fueron las de menor grado de incidencia de clorosis en este estudio considerandose como variedades tolerantes (rango de calificación entre 0.40 y 0.55); opuestamente Cia-teño, Affidavitt, Navidad, Agrarista, Jamapa, Pinto Norteño y Delicias-71 presentaron altas lecturas de clorosis (rango en tre 2.85 y 4.15) manifestando susceptibilidad a la clorosis férrica. La descomposición de la varianza entre variedades en componentes ortogonales en los tratamientos que provocan tensión férrica, indica diferencias significativas entre variedades susceptibles y tolerantes para las características clorosis, longitud del tallo, número de raíces, longitud de la raíz total, número de hojas, peso fresco del follaje, peso fresco de la raíz, peso fresco de la raíz/peso fresco del follaje, peso seco del follaje, longitud promedio por raíz, peso fresco total y peso seco total. Presentando las varieda des tolerantes promedios superiores en todas ellas, exceptuan-do incidencia de clorosis y la relación peso fresco raíz/pe-so fresco follaje en que resultaron inferiores (cuadro 33).

Sin embargo, esas diferencias parecen deberse principal-mente a los altos promedios para la mayoría de las caracte-rísticas de las variedades tolerantes Canario 101, CIAS-72 y Flor de Mayo combinados con bajos valores en casi todas las características de las variedades susceptibles Jamapa, Deli-cias-71 y Pinto Norteño. Para la relación peso fresco de la raíz/peso fresco del follaje los conceptos anteriores se in-vertieron principalmente por los bajos valores en el peso

fresco del follaje de las variedades Jamapa, Delicias y Pinto Norteño, el comportamiento de estas últimas parece indicar una pobre adaptación a las condiciones ambientales del estudio, pero sin poder definir claramente el efecto causal. La variedad susceptible Navidad presentó bajos promedios en la mayoría de las características radicales, principalmente en número de raíces, longitud total de raíces y longitud promedio por raíz en contraposición con un aceptable desarrollo vegetativo lo cual muy probablemente también determinó en parte las diferencias que en estas características se destacaron entre las variedades susceptibles y tolerantes (cuadro 31).

Las características que presentaron un grado de asociación genético altamente significativo con clorosis fueron peso fresco del follaje (0.7485), peso seco del follaje (-0.7942), número de raíces (-0.9203), longitud de la raíz principal (0.7248), longitud promedio por raíz (-0.7573), longitud total de raíces (-0.8268), peso fresco total (-0.7445) y peso seco de la raíz/peso seco del follaje (1.0000); de estas el valor de la relación PSR/PSF con clorosis se debe principalmente al bajo valor de la varianza genética de esa característica, por lo cual debe tomarse con reserva este resultado; por otra parte los altos valores, negativos y altamente significativos, de la relación entre clorosis con número de raíces y longitud total de raíces parece reforzar la importancia de estas características en la manifestación de la clorosis férrica (cuadro 34).

Ninguna característica morfológica parece claramente proporcionar una ventaja adaptiva a las variedades tolerantes a las condiciones de deficiencia de hierro aprovechable, aunque cierta consistencia se observa en dichas variedades a tener un mayor número de raíces y una mayor longitud total de raíces. Esto parece apoyar la naturaleza meramente química de los mecanismos de respuesta de las plantas de frijol a la deficiencia de hierro aprovechable y la localización de ellos principalmente en las raíces, tal y como lo han expresado numerosos autores (Ambler, et al, 1979; Brown, 1972, Brown y Ambler, 1973; Brown y Jones, 1975; Brown et al, 1972, Egmond y Atkas, 1977; Olsen, et al, 1981; Price, et al, 1972; Wilkinson, 1972).

Los valores de heredabilidad fueron altos para la mayoría de las características, exceptuando longitud de la raíz principal y peso de la raíz/peso seco del follaje para las cuales la varianza existente entre variedades fué de poca magnitud lo que no permitió evaluar satisfactoriamente tales características (cuadro 34); estos resultados confirman que bajo condiciones controladas es posible aumentar la expresión del potencial genético de las plantas y en consecuencia aumentar la eficiencia de los programas de selección, sobre todo en las primeras fases de los programas de mejoramiento, donde es necesario la eliminación de gran cantidad de material indeseable. El alto valor de heredabilidad del grado de clorosis y su fácil estimación bajo las condiciones de este estudio hacen impráctico el tratar de seleccionar para resistencia a deficiencia de hierro en forma indirecta.

La presencia en el grupo de variedades tolerantes de bajos niveles de clorosis aun en la solución completamente libre de fierro, parece indicar la posible influencia de la semilla sobre los resultados obtenidos; las variedades CIAS-72, Canario-101, Affidavitt, Flor de Mayo y Navidad 1165 presentaron en ese orden valores del peso de 100 semillas muy superiores a las de las variedades Pinto Norteño, Azufrado Amarillo, Delicias-71, Azabache, Agrarista, Ciateño y Jamapa, lo cual se reflejó en una superioridad de las primeras sobre los de grano pequeño en casi la totalidad de las variables medidas.

También el tamaño del grano influyó en la cantidad de fierro presente en la semilla ($r=0.89$), lo que a la postre determinó en gran medida la incidencia de clorosis sobre las variedades evaluadas, el coeficiente de correlación entre el grado de clorosis y el contenido de fierro en la semilla fue igual a -0.74 , es decir la variación en el contenido de fierro en la semilla explicó en un 55% la variación en el grado de clorosis que existió entre variedades (cuadro 32).

De acuerdo con el reporte del laboratorio de análisis químicos del CAERIB las variedades con menor incidencia de clorosis CIAS-72, Canario 101, Azufrado Amarillo y Flor de Mayo presentan un mayor contenido de fierro en la semilla, las únicas variedades susceptibles a la clorosis con un contenido férrico en el grano comparable al de las tolerantes fueron Affidavitt y Ciateño, las cuales a su vez presentaron

los niveles mas bajos de clorosis entre las variedades más ineficientes para aprovechar el fierro utilizable (cuadro 32). Lo anterior corrobora lo reportado por Tiffin (1972) de que las semillas germinadas tienen suficiente fierro para suplementar los requerimientos de la planta en los estados primarios de crecimiento, a lo cual hubiera que agregar que ese contenido es variable dependiendo del genotipo.

Esta situación parece indicar que la respuesta a la clorosis férrica de las plantas de frijol, estuvo lo suficientemente influenciada por el contenido férrico de la semilla como para impedir observar diferencias entre las variantes a la solución nutritiva básica evaluadas y explica el porque no existieron diferencias entre estas y la solución nutritiva sin fierro.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente debemos pensar que el período óptimo para evaluar la clorosis férrica en frijol en soluciones nutritivas, varía del establecido en sorgo por Clark, et al, de 10 días después de nacidas las plantas, por lo que es necesario una mayor investigación al respecto.

La comparación entre los niveles de clorosis de las variedades evaluadas tanto en condiciones de campo como en hidroponia bajo condiciones controladas, indica que la solución nutritiva es un medio donde la tensión férrica es de mayor magnitud, en el cual las plantas presentan amarillamientos más fuertes; tal vez en trabajos futuros debe pensarse en elevar la concentración férrica de la solución nutritiva o en

disminuir la de los elementos antagónicos (Ca y P), tratando de elevar un poco el contenido de fierro disponible a la planta.

EFFECTO DEL TAMAÑO DEL GRANO SOBRE LAS RESPUESTAS DEL FRIJOL A LA EFICIENCIA FERRICA EN UN MEDIO HIDROPONICO.

La separación visual en dos tamaños de la semilla de 4 variedades de frijol, resultó efectiva tal y como lo demuestran las diferencias altamente significativas entre los pesos promedio de muestras de 100 gramos de los 2 tipos de semilla (cuadro 35). Por otra parte las variedades evaluadas también mostraron diferencias altamente significativas para el peso de 100 semillas entre ellas. Una significativa interacción genotipo-peso de semilla fue causada porque las diferencias entre las variedades Pinto Norteño, Azabache y Delicias no fueron constantes de un tamaño de semilla a otro. La amplia variabilidad exhibida en tamaño de grano, nos proporcionó un marco adecuado para estudiar el posible efecto de tal factor sobre las características de plántulas de frijol, cultivadas en una solución nutritiva deficiente en fierro. La condición deficiente en fierro se logró usando la solución nutritiva con exceso de Ca y P y deficiente en Fe, que había mostrado su eficiencia en el estudio anterior.

Los resultados nos indican que el tamaño del grano causó variaciones significativas para las características peso fresco de la raíz, peso seco de la raíz y peso fresco total (cuadro 35), correspondiendo en los 3 casos los promedios ma

yores al tamaño grande de semilla. En general las plantas provenientes de la semilla de mayor tamaño presentaron promedios superiores, en todas las características valudadas, a los de plantas de semilla pequeña (cuadro 37). También la variedad con grano de mayor tamaño, Affidavitt, promedió lecturas superiores en 7 de las 13 características medias, mientras que la variedad de grano más pequeño Delicias-71, solo presentó un promedio superior en la relación PFR/PFF, aunque estadísticamente diferente al del resto de las variedades (cuadro 38).

El cálculo de los coeficientes de correlación demuestra que todas las características que estiman el desarrollo vegetativo muestran una relación positiva y significativa con el peso de 100 semillas; mientras que del sistema radicular, el número de raíces y la longitud de la raíz principal presentan variaciones no asociada significativamente al tamaño del grano, pero no así el peso fresco y seco de la raíz que muestran una correlación positiva y de magnitud similar a la mostrada por el peso fresco y seco del follaje. El peso fresco y seco total también presentan una asociación positiva y altamente significativa con el peso de la semilla; opuestamente la relación raíz/follaje, expresada tanto en términos de peso seco como fresco, no presentó una relación significativa con el tamaño del grano (cuadro 39).

Las características asociadas significativamente con el tamaño de las semillas presentan coincidentemente variación

significativa entre variedades, por el contrario las características en las cuales las variedades no presentan diferencias estadísticamente significativas, son aquellas que no estuvieron significativamente relacionadas con el peso de 100 semillas. Lo anterior parece indicar que el tamaño del grano afectó las diferencias entre variedades para las características significativamente asociadas con él (cuadro 39); los mayores promedios en estas características correspondieron a las variedades de grano de mayor tamaño, como ya se mencionó, lo cual demuestra la ventaja adaptativa de este tipo de variedades sobre las variedades de semilla de menor tamaño, esto está de acuerdo con lo expresado por diversos autores con respecto al comportamiento de las leguminosas, en estado de plántula, en relación con el tamaño de la semilla (Lush y Wien, 1980; Narayan, 1981).

Los datos indican asimismo que la producción de materia fresca y seca en la parte aérea y radicular se ve afectada en forma similar por el tamaño del grano, manteniéndose el equilibrio entre el desarrollo de ambas partes de la planta y el cual es característico de cada especie de acuerdo con el medio donde se desarrolla.

La incidencia de clorosis férrica aparentemente no fué afectada por el tamaño del grano, tal hecho se plantea tanto por los resultados del análisis de varianza, el cual indica diferencias no significativas entre tamaños de semilla para grado de clorosis, como por el bajo coeficiente de corre-

lación entre las dos características ($r = 0.26$).

Por lo tanto y de acuerdo con los resultados de este estudio y del anterior, el tamaño de la semilla parece no afectar directamente la incidencia de clorosis en plantas de frijol, cultivadas en una solución nutritiva deficiente en hierro bajo condiciones controladas, pero su efecto sobre las características morfológicas de las plántulas y sobre el contenido férrico del grano, con influencia significativa sobre la clorosis, indican que el tamaño del grano indudablemente ejerce una influencia indirecta sobre la manifestación de la clorosis férrica en plántulas de frijol. Lo anterior plantea la necesidad de evaluar la clorosis férrica en plantas de frijol con mayor desarrollo, una vez que el efecto del tamaño del grano se haya reducido al mínimo.

En un estudio alternativo a éste (datos no reportados), lecturas a los 29 días presentaron menor efecto del peso de la semilla y el orden de las variedades susceptibles y tolerantes fué substancialmente modificado. Estudios futuros deberán plantearse para determinar el período óptimo para evaluar la clorosis férrica en plantas de frijol bajo las condiciones de este estudio.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente:

1) La evaluación de la clorosis férrica en frijol, bajo las condiciones ambientales de Río Bravo, Tamps. resultó ser más efectiva cuando se realiza a los 55 días después de la siembra.

2) La clorosis férrica afecta negativamente la producción de semilla por unidad de superficie, para este estudio se estimó una pérdida de 611 kg/ha por cada unidad de aumento en el grado de clorosis férrica.

3) La magnitud de la interacción genético-ambiental reduce significativamente la heredabilidad para la clorosis férrica en frijol, bajo las condiciones ambientales de Río Bravo, Tamps., por lo tanto reducida ganancia por selección se esperarían de la evaluación en una sola localidad en la región mencionada.

4) Una solución nutritiva compuesta por las siguientes concentraciones (mg/lit) de elementos esenciales N (77); K (81), Mg (11), Ca (76), P (4), Cl(9), S(10), Mn(0.33), Zn (0.10), Cu (0.03), B(0.3), Mo (0.03) y Fe (0.2) es un buen medio para provocar tensión férrica en frijol. Una concentra-

ción de 3 mg/lit de fierro quelatado proporciona una adecuada suplementación de Fe.

5) El número de raíces y la longitud total de raíces parecen ser las características morfológicas de la planta de frijol de mayor importancia en la tolerancia a la deficiencia de fierro utilizable en el medio de cultivo.

6) Investigación posterior es necesaria para determinar la condición óptima para discriminar genotipos de frijol por su respuesta a la deficiencia férrica en soluciones nutritivas.

RESUMEN

Con el objetivo de obtener información sobre algunos aspectos importantes relacionados con la incidencia de clorosis férrica en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se efectuaron 4 experimentos, 2 en el campo y 2 en condiciones controladas, en el norte de Tamaulipas, México. La evaluación de 44 genotipos de frijol en el campo indicó que la estimación de la clorosis férrica a los 55 días después de la siembra presentó una correlación más estrecha con rendimiento y mayor heredabilidad que la evaluación en edad más temprana, 17 y 39 días, la edad de la planta y las condiciones ambientales aparecen como los factores más importantes en este trabajo. Un estudio adicional de la incidencia de la clorosis férrica sobre 19 genotipos de frijol, a través de 3 ciclos de prueba, mostró un alto valor de la interacción genotipo-ambiente, lo cual reduce sensiblemente la heredabilidad del carácter bajo condiciones de campo, esto hace esperar poca eficiencia en la selección para resistencia a clorosis férrica en tales condiciones. Tal situación plantea la necesidad de buscar alternativas de solución para acelerar el mejoramiento para resistencia a clorosis férrica. El desarrollo de plántulas de frijol en soluciones nutritivas deficientes en Fe y con exceso de P y Ca permitió observar diferencias entre variedades en incidencia de clorosis férrica, sin embargo la influencia de las

características del grano sobre el comportamiento del frijol en sus primeros estados de desarrollo, hace necesario es tudios posteriores para determinar la condición óptima en el estudio de la respuesta del frijol a la deficiencia de hierro en soluciones nutritivas. Ciertas características radi culares, número de raíces y longitud total de raíces, consistentemente presentaron tendencia a influir positivamente en la respuesta de las plantas a la tensión férrica. El al to valor de heredabilidad y su fácil evaluación, bajo con diciones controladas, parecen indicar que la selección de la tolerancia a clorosis férrica en hidroponia es más efectiva de lo que se esperaría de la selección hecha directamen te en el campo.

SUMMARY

Experiments on field and artificial conditions were conducted in the north of Tamaulipas, México, to obtain information above some aspects related with the incidence of iron chlorosis on dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Field evaluation of 44 bean genotypes, showed that the correlation between iron chlorosis and grain yield and heredability of the first, were higher when the iron chlorosis evaluation were made at 55 days after sowing than at 17 and 39 days. The results obtained indicated that growth stage and environmental conditions were important factors in this experiment. An additional study on incidence of iron chlorosis with 19 bean genotypes, during three growing seasons, indicated a high genotype-environment interaction, with reduced heredability for this character, that explains the low efficiency in the field selection for resistant iron chlorosis genotypes. Such conditions states the necessity to look for alternatives to accelerate the iron chlorosis resistance plant breeding programs. Bean plant growth in nutritious solution, Fe deficient and with excessive Ca y P, allowed observe clear differences between varieties in chlorosis incidence, however, influence of grain characteristics on bean growth, in the initial development stages, make necessary posterior studies to determine best condition for iron chlorosis evaluation on

plants growing on nutritious solution. Certain root characteristics, root number and total root length, presented consistent tendency to influence positively the plant response to iron stress. High heredability and easy evaluation, on artificial conditions, seem indicate that selection for iron chlorosis resistance, in this situation, is more efective than selection on field conditions.

LITERATURA REVISADA

- Allard, R. W. y Bradshaw, A. D. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*. 4:503-507.
- Ambler, J. E.; Brown, J. C. y Gauch, H. G. 1971. Sites of iron reduction in soybean plants. *Agronomy Journal*. 63:95-97.
- Asher, C. J. y Edwards, D. G. 1978. Relevance of dilute solution culture studies to problems of low fertility - tropical soils. In: *Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical soils*. Edited by C. S. Andrew y E. J. Kramprath. CSIRO, Australia. pp 131-152.
- Aung, L. H. 1974. Root shoot relationships. In: *The plant root and its Environment*. Edited by E. W. Carson. University Press of Virginia, U.S.A. pp 39-61.
- Basiouny, F. M.; Haller, W. T. y Garrard, L. A. 1977. Evidence for root Fe nutrition in *Hydrilla verticillata* - Royle. *Plant and Soil*. 48:621-627.
- Bienfait, H. F.; Duivenroorden, J. y Verkerke, W. 1982. Fe

rric reduction by roots of chlorotic bean plants: Indications for a enzymatic process. *Journal of Plant Nutrition*. 5:451-456.

Brown, J. C.; Ambler, J. E., Chaney, R. L. y Foy, C. D. 1972. Differential response of plant genotypes to micronutrients. In: *Micronutrients in Agriculture*. Edited by J. J. Mortvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp 389-418.

Brown, J. C. 1972. Competition between phosphate and the plant for Fe from Fe^{2++} ferrozine. *Agronomy Journal*. - 64:240-243.

Brown, J. C. 1967. Differential uptake of Fe and Ca by two corn genotypes. *Soil Science*. 103:331-338.

Brown, J. C. 1979. Effect of zinc stress on factors affecting iron uptake in navy bean. *Journal of Plant Nutrition*. 1:171-183.

Brown, J. C. 1976. Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress: iron deficiency and boron toxicity in alkaline soils. In: *Proceedings of Workshop on Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils*. Edited by M. J. Wright. Cornell University, Ithaca, N.Y. pp 83-94.

- Brown, J. C. y Holmes, R. S. 1955. Iron, the limiting element in a chlorosis: Part I. Availability and utilization of iron dependent upon nutrition and plant species. *Plant Physiology*. 30:451-457.
- Brown, J. C.; Holmes, R. S. y Specht, A. W. 1955. Iron the limiting element in a chlorosis: Part II. Copper-phosphorus induced chlorosis dependent upon plant species and varieties. *Plant Physiology*. 30:457-462.
- Brown, J. C. 1961. Iron chlorosis in plants. *Advances in Agronomy*. 13:329-369.
- Brown, J. C. y Jones, W. E. 1977. Fitting plants nutritionally to soils. I. Soybeans. *Agronomy Journal*. 69:399-404.
- Brown, J. C. y Jones, W. E. 1977. Fitting plants nutritionally to soils. II. Cotton. *Agronomy Journal*. 69:405-409.
- Brown, J. C. y Jones, W. E. 1977. Fitting plants nutritionally to soils. III. Sorghum. *Agronomy Journal*. 69:410-414.
- Brown, J. C. y Jones, W. E. 1975. Phosphorus efficiency as related to iron inefficiency in sorghum. *Agronomy Journal*. 67:468-472.
- Brown, J. C. y McDaniel, M. E. 1978. Factors associated with

differential response of oat cultivars to iron stress. Crop Science. 18:551-556.

Brown, J. C. 1978. Physiology of plant tolerance to alkaline soils. Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions. Cap. 12. ASA, CSSA, SSSA. pp 257-276.

Brown, J. C. 1976. Screening plants for iron efficiency. In: Proceedings of Workshop on Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem soils. Edited by M. J. Wright. Cornell University, Ithaca, N.Y. pp 335-357.

Brown, J. C.; Tiffin, L. O. y Holmes, R. S. 1960. Competition between chelating agents and roots as factor affecting absorption of iron and other ions by plant species. Plant Physiology. 35:878-886.

Brown, J. C.; Weber, C. R. y Caldwell, B. E. 1967. Efficient and inefficient use of iron by two soybean genotypes and their isolines. Agronomy Journal. 59:459-462.

Clark, R. B.; Yusuf, Y., Ross, W. M. y Maranville, J. W. - 1981. Screening for sorghum genotype differences to iron deficiency. Int. Symp. Iron Nutrition and Interactions in Plants. Brigham Young University, Provo, Utah, USA, Borrador de ponencia.

- Clarkson, D. T. y Hanson, J. B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Ann Rev. of Plant Physiol.* 31:239-298.
- Clarkson, D. T. y Sanderson, J. 1978. Sites of absorption and translocation of iron in barley roots. *Plant Physiol.* 61:731-736.
- Cochran, W. B. y Cox, G. M. 1980. *Diseños Experimentales.* 6a. Reimpresión de la 1a. Edición. Editorial Trillas. México.
- Coyne, D. P.; Korban, S. S.; Knudsen, D. y Clark, R. B. 1982. Genetic variation and inheritance of iron deficiency in crosses of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative.* 25:13.
- Coyne, D. P.; Korban, S. S.; Knudsen, D. y Clark, R. B. 1982. Inheritance of iron deficiency in crosses of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Plant Nutrition.* 5:575-740.
- Douglas, J. S. 1976. *Advanced guide to hydroponics.* Drake Publishers, Inc. New York, USA.
- Eberhart, S. A. y Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science.* 6:36-41.

- Egmond, F. V. y Atakas, M. 1977. Iron-nutrition aspects of the ionic balance of plants. *Plant and Soil*. 48:685-673.
- Epstein, E. y Jefferies, R. L. 1964. The genetic basis of selective ion transport in plants. *Ann, Rev. of Plant Physiol*. 15:169-184.
- Falconer, D. S. 1970. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. 1a. Edición en español. CECSA, México.
- Finlay, R. W. y Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Aust. J. Agric. Res*. 14:742-754.
- Foy, C. D.; Voigt, P. W. y Schwartz, J. W. 1977. Differential susceptibilities of weeping lovegrass strains to an iron-related chlorosis on calcareous soils. *Agronomy Journal*. 60:491-496.
- Fox, P. N. y Rosielle, A. A. 1982. Reference sets of genotypes and selection for yield in unpredictable environments. *Crop Science*. 22:1171-1175.
- Froehlich, D. M. y Fehr, W. R. 1981. Agronomic performance of soybean with differing levels of iron deficiency chlorosis on calcareous soil. *Crop Science*. 21:438-441.

- Galván, C. F. 1975. La siembra del frijol en el norte de Tamaulipas. Desplegable CIAT No. 32. Campo Agrícola Experimental Río Bravo, CIAT, INIA, SAG.
- García, L. R.; Alcalde, B. S. y Moreno, R. D. 1978. Amarillamiento de la soya (*Glycine max* L.) por deficiencia de fierro y efecto de la inundación del suelo. Avances de la Enseñanza e Investigación en el Colegio de Postgraduados de Chapingo, México. pp 218.
- García, M. H. 1979. Evaluación de la tolerancia y susceptibilidad del sorgo (*Sorghum bicolor* Moench) a la clorosis férrica y algunos mecanismos de adaptación. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Gray, C.; Anderson, W. B. y Welch, C. D. 1974. Iron and zinc deficiencies in field crops. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A and M University System. L-435.
- Gray, E. 1982. Genotype x Environment interactions and stability analysis for forage yield of orchardgrass clones. *Crop Science*. 22:19-23.
- Hallauer, A. R. y Miranda, J. B. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames,

Iowa, USA.

- Hanson, C. H.; Robinson, H. F. y Comstock, R. E. 1956. Biometrical studies of yield in segregating populations of Korean lespedeza. *Agronomy Journal*. 48:268-272.
- Hartzook, A.; Karstadt, D.; Naveh, M. y Feldman S. 1974. - Differential iron absorption efficiency of peanut (*Arachis hypogea* L.) cultivars grown on calcareous soils. *Agronomy Journal*. 66:114-115.
- Howeler, R. H. 1980. Desórdenes nutricionales. En: Problemas de Producción del Frijol: Enfermedades, Insectos, Limitaciones Edáficas y Climáticas de *Phaseolus vulgaris*. Editada por H. F. Schwartz y G. E. Galvez, CIAT, Cali, Colombia.
- Israelstam, G. F. 1970. Growth response to cyanide by plants grown in absence of iron. *Physiología Plantarum*. 23:1071-1076.
- Johnson, H. W.; Robinson, H. F. y Comstock, R.E. 1955. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agronomy Journal*. 47:314-318.
- Khan, A. y Soltanpour, P. N. 1978. Factors associated with Zn chlorosis in dry land beans. *Agronomy Journal*. 70:

1022-1026.

- Knezek, B. D. y Greinert, H. 1971. Influence of soil Fe and Mn EDTA interactions upon the Fe and Mn nutrition of bean plants. *Agronomy Journal*. 63:617-619.
- Kohashi, S. 1982. Investigaciones sobre fisiología de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). III. Los componentes del rendimiento. IX Congreso Nacional de Fitogenética. Programa y Resúmenes. SOMEFI. pp 69.
- Krauskopf, K. B. 1972. Geochemistry of micronutrients. In: *Micronutrients in Agriculture*. Edited by J.J. Mortvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America. Madison, Wisconsin, USA. pp 7-40.
- Kubota, J. y Allaway, W. H. 1972. Geographic distribution of trace element problem. In: *Micronutrients in Agriculture*. Edited by J.J. Mortvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America. Madison, Wisconsin, USA. pp 525-554.
- Ladiges, P. Y. 1977. Differential susceptibility of two populations of *Eucalyptus viminalis* Labill to iron chlorosis. *Plant and Soil*. 48:581-597.
- Larrea, R. E. 1969. Clorosis en Leguminosas de grano en el norte de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México*.

INIA, SAG. 11 (10):467-471.

Larsen, J. E. 1978. Nutrient solution for producing many - plants in soiless culture. Texas Agriculture Extension Service. The Texas A & M University System. College - Station, Texas, USA.

Larsen, J. E. 1978. Nutrient solution for tomatoes. Texas - Agricultural Extension Service. The Texas A & M University System. College Station, Texas. USA.

Larsen, J. E. 1979. Nutrient deficiency simptoms. Texas - Agricultural Extension Service. The Texas A & M University System. College Station, Texas, USA.

Leal D., J y Obando, R. G. 1969. Corrección de la clorosis_ del sorgo (*Sorghum vulgare* L.) en Anáhuac, N.L. por medio de la fertilización foliar a base de compuestos de hierro. Memorias del IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo I. pp 322-330.

Leal D. J. y Carmona, G. 1971. Etilo-Diamino-DI-o Hidroxifenil Acetato de sodio y fierro (NaFe EDDA (8.5% Fe₂O) - como corrector de la clorosis inducida al frijol y su efecto sobre la acumulación de hierro, calcio, magnesio y fósforo. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo I. pp 441-449.

- Leal D., J. y Vázquez, J. E. 1971. NaFeDDA (8.5% Fe₂O) como corrector de la clorosis inducida del frijol y su influencia sobre la producción de grano. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo I. pp 451-460.
- Levitt, J. 1972. Stress concepts. Responses of Plants to Environmental Stresses. Academic Press, Inc. New York, - N.Y., USA. pp 1-17.
- Lewis, C.F. y Christiansen, M. N. 1981. Breeding plants for stress environments. In: Plant Breeding II. Edited by - K. J. Frey. The Iowa State University Press. Ames, -- Iowa, USA. pp 151-177.
- Lindsay, W. L. 1974. Role of Chelation in micronutrient availability. In: The plant root and its environment. Edited by E. W. Carson. University Press of Virginia. pp 507-524.
- Longoria, G., G.; García L, R. y Alcalde B., S. 1971. Prevención de la clorosis férrica en suelos calcáreos por tratamiento de inundación. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo I. pp 426-429.
- Lucas, R.E. y Knezek, B. D. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants.

In: Micronutrients in Agriculture. Edited by J. J. Mor-
tvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America, Inc. Madison,
Wisconsin, USA. pp 265-288.

Lush, W. M. y Wien, H. C. 1980. The importance of seed size
in early growth of wild and domesticated cowpeas. J.-
Agric. Sci. Camb. 94:177-182.

Manjarrez J., R.; Villarreal F., E. y Moreno D., R. 1971. -
Corrección de la clorosis de fierro en sorgo de grano en
la región agrícola de Delicias, Chih. Memorias del V
Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo I. pp
484-493.

McDaniel, M. E. y Dunphy, D. J. 1978. Differential iron --
chlorosis of oat cultivars. Crop Science. 18:551-556.

Mikesell, M. E.; Panlsen, G. M.; Ellis, R. y Casady, A. J.
1973. Iron utilizacion by efficient and inefficient --
sorghum lines. Agronomy Journal. 65:77-80.

Miller, P.A.; Williams, J.C. y Robinson, H. F. 1959. Varie-
ty x environmental interactions in cotton variety tests
and their implications on testing methods. Agronomy --
Journal. 51:132-135.

Moore, D. P. 1972. Mechanism of micronutrients uptake by -

plants. In: Micronutrients in Agriculture Edited by J. J. Mortvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp 171-198.

Moore, D. P. 1974. Physiological effects of pH en Roots. - In: The plant root and its environment. Edited by E. W. Carson. University Press of Virginia. pp 135-151.

Narayan, A.; Saxena, N. P. y Sheldrake, A.K. 1981. Varietal differences in seed size and seedling growth of pigeon pea and chick pea. Indian J. Agric. Sci. 51: 389-393.

Nelson, W. L. y Bear, F. E. 1949. Plant-nutrient deficiency symptoms in legumes. In: Hunger Signs in Crops. A Symposium. The American Society of Agronomy and the National Fertilizer Association. pp 269-297.

Neumann, P. M. y Prinz, R. 1975. Foliar iron spray potentiaates growth of seedlings on iron-free media. Plant Physiology. 55:988-990.

Nguyen, H. T.; Sleper, D. A. y Hunt, K. L. 1980. Genotype x Environment interactions and stability analysis for -- herbage yield of tall fescue synthetics. Crop Science. 20:221-224.

Niebur, W. A. y Fehr, W. R. 1981. Agronomic evaluation of -

soybean genotypes to iron chlorosis. *Crop Science*. 21: 551-554.

Olsen, R. A.; Clark, R. B. y Bennett, J. H. 1981. The enhan cement of soil fertility by plant roots. *American Scientist*. 60:378-384.

Olsen, S. R. 1972. Micronutrients interactions. In: Micronu trients in Agriculture. Edited by J.J. Mortvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America. Madison, Wisconsin, USA. pp 243-264.

Ortíz C., J. y M. Carnero. 1969. El problema de la clorosis en el sorgo. Campo Agrícola Experimental de Río Bravo. Agencia General de Agricultura. Matamoros, Tamaulipas, México.

Pandey, D. P. y S. Kannan. 1979. Absorption and transport - of iron in plants as influenced by the major nutrient elements. *Journal of Plant Nutrition*. 1:55-63.

Pérez, O. y Alcalde, S. 1973. Liberación de fierro asimila- ble, variaciones en las relaciones nutrimentales y con tenido de clorofila en maíz H-30 por efectos de inunda ción y adicción de materia orgánica en suelos calcáreos. Avance en la Enseñanza e Investigación en el Colegio de Postgraduados de Chapingo, México, pp 264-265.

- Price, C.A.; Clark, H. E. y Funkhouser, E. A. 1972. Functions of Micronutrients in plants. In: Micronutrients in -- Agriculture. Edited by J. J. Mortvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp 231-242
- Prohaska, K. R. y Fehr, W. R. 1981. Recurrent selection for resistance to iron deficiency chlorosis in soybeans. - Crop Science. 21:524-526.
- Rediske, J. H. y Biddulph, O. 1953. The absorption and translocation of iron. Plant Physiology. 28:576-593.
- Resh, H. M. 1978. Hydroponic Food Production. Woodbridge Press Publishing Company.
- Rodríguez G., H. y Moreno R., D. 1971. La corrección de deficiencia de micronutrientes en sorgo de punta de riego en la región del bajío. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo I. pp 496-510.
- Rodríguez, V., S. 1978. Breeding for resistance to iron -- chlorosis in soybean. PhD. Thesis. Iowa State University.
- Russell, J. S. 1978. Soil factors affecting the growth of -- legumes on low fertility soils in the tropics and subtropics. In: Mineral Nutrition of Legumes in Tropical_

and Subtropical Soils. Edited by C.S. Andrew y E.J. -
Kramprath. CSIRO. Australia. pp 75-92.

Salisbury, F. B. y Ross, C. 1969. Mineral nutrition of plants.
Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Inc. -
pp 191-208.

SARH. 1981. Estudio agrológico detallado de la rehabilita--
ción del Distrito de Riego Núm. 25, Bajo Río Bravo, --
Tamps. Tomo I. Informe. Subdirección de Agrología, SARH.

Schwartz, H.F.; Galvez, G.; Schoonhoven, A.; Howeler, R.H.;
Graham, P. H. y Flor, C. 1978. Desordenes nutriciona--
les. Problemas de Campo en los cultivos de Frijol en -
América Latina. CIAT, Cali, Colombia. Serie GS-19.

Specht, J. E. y Williams, J. H. 1978. Testing soybean for
heat and drought tolerance. Eighth soybean seed research
conference. pp 17-32.

Stangel, P. J. 1976. World fertilizer reserves in relation to
future demand. In: Proceedings of workshop on plant --
adaptation to mineral stress in problems soils. Edited
by M.H. Wright. Cornell University, Ithaca, N.Y. pp
31-46.

Tiffin, L. O. 1966. Iron translocation. I. Plant culture, -

exudate sampling, Fe-citrate analysis. *Plant Physiology*. 41:510-514.

Tiffin, L. O. 1972. Translocation of micronutrients in -- plants. In: *Micronutrients in agriculture*. Edited by - J.J. Morvedt, et al. Soil. Sci. Soc. of America, Inc. Madison, Wis. U.S.A. pp 265-288.

Valdez L., C. y Nuñez R., R. 1976. Criterios de selección en frijol. Memoria del 6o. Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI. pp 218-226.

Wallace, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants. 2nd. edition. Chemical Publishing Co., Inc. - New York, N.Y., USA.

Wallace, A.; Cha, J. W. y Muller, R. T. 1977. Cyanide -- effects on transport of trace metals in plants. *Soil Science and Plant Analysis*. 8:709-712.

Wallace, A. 1982. Effect of liming on two trace elements - stresses including induced iron deficiency on bean -- plants. *Journal of plant nutrition*. 5:737-740.

Wallace, A.; El-Gazzar, A. M. y Khadr, A. H. 1979. Ammonia vs nitrate in the induction of iron deficiency and -- growth of bush plants. *Alexandria Journal of Agriculture*

ral Research. 27:131-134.

Wallace, A.; Muller, R. T. y Alexander, G. V. 1974. Effect of high levels of nitrilotriacetate on metal uptake by plants grown in soil. Agronomy Journal. 66:707-708.

Wallace, A.; Muller, R. T. y Alexander, G. V. 1978. Influence of phosphorus on zinc, iron, manganese and copper uptake by plants. Soil Science. 26:336-341.

Wallace, A.; Muller, R. T., Cha, J. W. y Alexander, G. V. 1974. Soil pH, excess lime and chelating agent on micronutrient in soybean and bush beans. Agronomy Journal. 66:698-700.

Wallace, A.; Romney, E. M. y Alexander, G. V. 1977. Some effects of fly ash (from coal burning) on bush bean plants grown in solution culture. Soil Science and Plant Analysis. 8:713-718.

Wallace, A.; Romney, E. M. y Cha, J. W. 1977. Nickel-Iron interactions in bush beans. Soil Science and Plant Analysis. 8:787-790.

Wann, E. V. y Hills, W. A. 1973. The genetics of boron and iron transport in the tomato. The Journal of heredity. 64:370-371.

Welch, C. D. y Gray, C. 1975. Iron chlorosis on Turf Grasses, Ornamentals and Vegetables. The Texas A & M University System. L. 435.

Wilkinson, H. F. 1972. Movement of micronutrients to plant roots. In: Micronutrients in Agriculture Edited by J. J. Mortvedt, et al. Soil Sci. Soc. of America, Inc. Madison Wisconsin, USA. pp 139-169.

Yoshida, S. y Tadano, T. 1978. Adaptation of plants to submerged soils. In: Crop tolerance to suboptimal land conditions. Cap. II. Edited by G.A. Jung, et al. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wis. USA pp 233-256.

A P E N D I C E

CUADRO 40. VARIANZAS Y COVARIANZAS ENTRE LAS CARACTERISTICAS MEDIDAS EN EL ESTUDIO DE EPOCAS DE LECTURA DE CLOROSIS.

		CLO 1	CLO 2	CLO 3	PCS	RTO
CLO 1	g	0.031	0.015	0.0105	-0.0285	-0.0115
	e	0.055	-0.002	0.0090	-0.0550	-0.0060
	f	0.058	0.014	0.0150	-0.0560	-0.0145
CLO 2	g		0.017	0.0130	-0.2585	0.0020
	e		0.033	0.0060	0.0100	-0.0046
	f		0.033	0.0160	-0.2535	-0.0003
CLO 3	g			0.024	0.0536	-0.0235
	e			0.018	-0.0230	-0.0070
	f			0.033	0.0420	-0.0270
PCS	g				10.84	-0.331
	e				2.34	0.022
	f				12.01	-0.320
RTO	g					0.056
	e					0.019
	f					0.066

CUADRO 41. VARIANZAS Y COVARIANZAS ENTRE LAS CARACTERISTICAS MEDIDAS EN EL ESTUDIO DE LA INTERACCION GENOTIPO - AMBIENTE.

		CLO	PCS	RTO
CLO	g	0.0045	0.0620	-0.0093
	ga	0.0310	0.0235	-0.0050
	e	0.0270	0.0170	0.0030
	f	0.0193	0.0726	-0.0105
PCS	g		9.2148	-0.4623
	ga		0.6070	0.0855
	e		1.249	-0.0030
	f		9.6253	-0.4343
RTO	g			0.0362
	ga			0.0295
	e			0.0200
	f			0.0493

CUADRO 42. VARIANZAS GENOTÍPICA, DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO-SOLUCIÓN NUTRITIVA, DEL ERROR Y FENOTÍPICA EN EL ESTUDIO DE CLOROSIS FERRICA EN UN MEDIO HIDROPÓNICO.

VARIANZAS.	PFR/ PSR/														
	CLO	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LRP	LMR	LTR	PFR	PSR	PFT	PST	PFF	PSF.
M ₃	9.21	298.69	0.37	1.718	0.0140	20.683	7.71	1.890	1597.29	0.14	0.0018	2.556	0.0205	0.040	0.056
M ₂	0.52	4.04	0.02	0.030	0.0018	6.537	2.50	0.740	249.39	0.02	0.0009	0.072	0.0027	0.006	0.028
M ₁	0.47	9.62	0.02	0.050	0.0014	5.821	4.93	0.767	346.57	0.02	0.0005	0.088	0.0018	0.009	0.042
S _g ²	2.17	72.27	0.09	0.418	0.0021	3.535	0.70	0.281	312.68	0.03	0.0002	0.617	0.0045	0.008	0.003
S _{gt} ²	0.03	0.00	0.00	0.000	0.0002	0.356	0.00	0.000	0.00	0.00	0.0002	0.000	0.0005	0.000	0.000
S _e ²	0.47	9.62	0.02	0.050	0.0014	5.820	4.93	0.767	346.57	0.02	0.0005	0.088	0.0018	0.009	0.042
S _f ²	2.30	74.67	0.09	0.430	0.0025	5.170	1.93	0.473	399.32	0.04	0.0005	0.639	0.0052	0.010	0.014

CUADRO 43. COVARIANZAS GENOTÍPICA, DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO-SOLUCIÓN NUTRITIVA, DEL ERROR Y FENOTÍPICA, ENTRE CLOROSIS Y LAS CARACTERÍSTICAS QUE SE INDICAN, EN EL ESTUDIO DE CLOROSIS FERRICA EN UN MEDIO HIDROPÓNICO.

COVARIANZAS.	PFR/ PSR/													
	LGT	HJS	PFF	PSF	RCS	LRP	LMR	LTR	PFR	DSR	PFT	PST	PFF	PSF
M ₃	-22.91	-0.750	-2.845	-0.231	-8.488	3.35	-2.445	-86.70	-0.63	-0.0155	-3.473	-0.246	0.279	0.311
M ₂	-0.17	-0.004	0.021	-0.018	0.713	0.02	-0.073	3.24	0.00	-0.0005	0.017	-0.019	-0.010	0.010
M ₁	1.00	-0.010	0.001	-0.005	0.096	-0.22	-0.079	-0.50	-0.03	-0.0073	-0.026	-0.012	-0.010	-0.042
S _g	-5.93	-0.185	-0.713	-0.053	-2.550	0.89	-0.592	-21.55	-0.15	-0.0036	-0.862	-0.057	0.072	0.088
S _{gt}	0.00	0.000	0.000	-0.007	0.309	0.00	0.000	0.00	0.00	0.0034	0.000	0.003	0.000	0.000
S _e	1.00	-0.004	0.001	-0.005	0.096	-0.22	-0.079	-0.50	-0.03	-0.0073	-0.026	-0.012	-0.010	-0.042
S _f	-5.73	-0.186	-0.713	-0.006	-2.372	0.84	-0.611	-21.68	-0.16	-0.0038	-0.868	-0.062	0.070	0.078