TOLERANCIA A CLOROSIS FÉRRICA DE DIFERENTES CULTIVARES DE FRIJOL EN SUELOS CALCÁREOS

IRON CHLOROSIS TOLERANCE OF DRY BEAN GENOTYPES IN CALCAREOUS SOILS

José Luis Lara Mireles[1*], Rigoberto Vázquez Alvarado[1], Emilio Olivares Sáenz[2] y Juan Fco. Pissani Zúñiga[2]

[1]Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carr. San Luis Potosí-Matehuala, km 14.5. San Luis Potosí, San Luis Potosí. Tel. y Fax: 01 (444) 852-4059. Correo electrónico: jllara@uaslp.mx [2]Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carr. Zuazua-Marín km 17.5, Marín, N. L.
* *Autor para correspondencia*

RESUMEN

La clorosis férrica en plantas cultivadas en suelos calcáreos de zonas con escasa precipitación pluvial, puede reducir 100 % el rendimiento de grano de las variedades susceptibles de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Entre los métodos disponibles para controlar la deficiencia de Fe se incluye el uso de variedades resistentes. Considerando que en los recursos de germoplasma de frijol de México podrían existir materiales capaces de absorber hierro en condiciones de baja disponibilidad del mismo, el presente estudio consistió en evaluar la tolerancia a clorosis férrica de variedades de frijol sembradas en suelos calcáreos. El experimento se estableció en un invernadero del Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL). Los tratamientos fueron dos suelos con diferente contenido de bicarbonatos (HCO_3), que causan clorosis férrica en frijol y 38 cultivares de frijol, distribuidos en arreglo factorial con un diseño completamente al azar y dos repeticiones. La diferencia de los promedios se analizó con la prueba de Tukey (0.05). Los síntomas de clorosis fueron registrados al inicio de floración, con base en la escala de clasificación utilizada por Hernández *et al.* (1996). Los suelos evaluados causaron diferente grado de clorosis férrica en los cultivares de frijol, presentando mayor clorosis los cultivares desarrollados en el suelo migajón arcilloso con 2.3 ppm de Fe disponible, en comparación con el suelo franco arcillo limoso con 3.8 ppm de Fe disponible. Los cultivares más tolerantes (Fe-eficientes) fueron: Pinto Villa, AN-22, Durango 222, Pinto Mex. 80, Navidad 1165 y Bco. 370 (3) y los cultivares más susceptibles (Fe-ineficientes) fueron: LEF-IRB, Pinto 114, Selección 4, Anzalduaz 91, Negro Jamapa, Flor de Mayo RMC, PC-148-93-38, Pinto Narro 1, LEF-25-RB, Manzano, Peruano, Negro Durango, Pinto Norteño, Bco. 370 (1), Bco. 370 (7), Canario 101, Negro Huasteco 81, II-952-M-26-1M-72 y Pinto Laguna 87.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., clorosis férrica, frijol, Fe-eficiencia, suelos calcáreos.

SUMMARY

The Fe-ehlorosis in plants growing in calcareous soils of regions with scare precipitation can reduce the grain yield up to 100 % of Fe-susceptible varieties of dried bean (*Phaseolus vulgaris L.).* The use of resistant varieties, is one the available methods to decrease the symptoms Fe-deficiency. Assuming that among the mexican dried bean germplasm could exist varieties that may be able to absorb Fe in soils with low Fe-availability, the present study was carried on to evaluate the Fe-chlorosis tolerance in selected dried bean varieties in calcareous soil. The experiment was established at the Agricultural Experimental Station of the Universidad Autónoma de Nuevo León. Two soil types with different HCO_3 contents, which caused Fe-chlorosis in the previous season, and 38 dried bean genotypes were evaluated. A complete randomized design with two replications was used. The mean differences were calculated using Tukey (0.05) test. Chlorosis symptoms were recorded at blooming, based in the scale proposed by Hernández et al. (1996). There were different degree of Fe-chlorosis between the soils among the varieties. The most severe symptoms were observed on the clay loam soil, which presented 2.3 ppm of Fe-available, compared with 3.8 ppm of Fe-avariable the silt clay loam soil. The tolerant varieties (Fe-efficient) were Pinto Villa, AN-22, Durango 222, Pinto Mex. 80, Navidad 1165 and Bco. 370 (3). The susceptible varieties (Fe-inefficient) were: LEF-IRB, Pinto 114, Selección 4, Anzalduaz 91, Negro Jamapa, Flor de Mayo RMC, PC-148-93-38, Pinto Narro 1, LEF-25-RB, Manzano, Peruano, Negro Durango, Pinto Norteño, Bco. 370 (1), Bco. 370 (7), Canario 101, Negro Huasteco 81, II-952-M-26-1M-72, and Pinto Laguna 87.

Index words: *Phaseolus vulgaris* L., iron chlorosis, dry bean, Fe-efficiency, calcareous soils.

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre la adaptación de las plantas a diferentes niveles de disponibilidad de nutrientes son de gran importancia dada la gran diversidad de tipos de suelos de nuestro país y por el alto costo de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Los desórdenes nutricionales de diferentes cultivos asociados con elementos menores han adquirido importancia conforme se han desarrollado variedades de alto rendimiento. La clorosis ocasionada por deficiencia de hierro (Fe) ha sido reconocida desde 1844 (Loué, 1988) y aun cuando fue la primera deficiencia nutrimental en plantas en ser investigada, en la actualidad se reconoce como la más difícil de entender y corregir (Romera y Díaz, 1991). La deficiencia de hierro limita el desarrollo de la planta y en casos severos causa la muerte de la misma. Comúnmente la clorosis férrica se expresa en plantas cultivadas en suelos calcáreos de escasa precipitación pluvial y puede reducir hasta en 100 % el rendimiento de grano de las variedades susceptibles de frijol (Clark, 1991).

Recibido: 15 de Mayo del 2004.
Aceptado: 26 de Agosto del 2004.

Aunque el Fe es el microelemento más abundante en los suelos y proporcionalmente se considera el cuarto elemento en peso de la corteza terrestre (alrededor de 5%), no todas las formas son asimilables, en suelos de pH alto (cerca de 8.0) las deficiencias de P y Fe son comunes. La clorosis férrica se produce por insuficiente absorción de Fe, aunque a veces puede ser debida a inactivación del Fe dentro de la planta (Loué, 1988). Algunas especies, principalmente dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas, han desarrollado un mecanismo conocido como estrategia I, que se caracteriza por acidificar la rizósfera y solubilizar los nutrientes no disponibles en un medio alcalino (Jones, 2000) e incrementar la actividad de una reductasa asociada a la membrana, la cual aumenta la tasa de reducción del Fe^{+3}. En la absorción de Fe por las dicotiledóneas (plantas con estrategia I), el factor más determinante además del genético es el pH elevado del suelo. En gramíneas se presenta la estrategia II, que se caracteriza por la liberación de compuestos quelatantes de Fe^{+3} llamados fitosideróforos (Marschner, 2002).

Uno de los métodos para controlar la deficiencia de hierro es la utilización de cultivares resistentes (Chaney, 1988), por lo que el propósito de esta investigación fue clasificar el grado de tolerancia a clorosis férrica de diferentes cultivares de frijol sembrados en suelos calcáreos, bajo el supuesto de que las plantas dicotiledóneas tienen mecanismos para incrementar la disponibilidad de los nutrientes por medios como la acidificación de la rizósfera; las plantas, que incrementan la disponibilidad del hierro en condiciones de baja disponibilidad del mismo, se les conoce como hierro eficientes; por tanto, en los recursos de germoplasma de frijol en México existen plantas hierro eficientes, que pueden desarrollarse en suelos calcáreos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en el Campo Agrícola Experimental, de la Facultad de Agronomía de la (FAUANL), localizado en el km 17 de la carretera Zuazua-Marín en el municipio de Marín, Nuevo León, México. Su ubicación geográfica corresponde a las coordenadas 25º 53´ LN y 100º 03 LW con una altitud de 375 m.

La siembra se realizó en macetas de 6 kg de capacidad, con tres semillas por maceta; a los 15 d se aclareó a dos plántulas por maceta. Se utilizaron 38 (*cv*) de frijol y dos suelos calcáreos provenientes del Campo Experimental de la FAUANL. La selección fue de acuerdo al contenido de bicarbonatos (HCO_3) de los suelos del área de influencia de la Facultad de Agronomía, para lo cual se muestrearon suelos de diferentes localidades. Los cultivares se colocaron en condiciones de intemperie y se utilizó una maya sombreadora de 8 mm (35 % sombra) para disminuir las altas temperaturas.

Descripción de tratamientos

Suelo. Se utilizaron dos suelos con diferente contenido de bicarbonatos (HCO_3) cuyos antecedentes eran causar clorosis férrica en frijol; las características se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los suelos utilizados en el experimento para seleccionar los cultivares tolerantes a clorosis férrica.

Suelo	Textura	Color	C.E.$^{+}$ (dS m^{-1})	pH	HCO_3 (me L^{-1})	$CaCO_3$ (%)	Fe^{++} (ppm)
Suelo 1	Franco arcillo limoso	Café claro	4.87	8.1	22.2	12.09	3.8
Suelo 2	Migajón arcillo-so	Café oscuro	4.59	7.8	15.8	13.10	2.3

$^{+}$Extracción con DTPA.
$^{++}$ Conductividad eléctrica.

Cultivares (*cv*). Los genotipos incluidos en el experimento fueron proporcionados por el programa de frijol de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (19 *cv*); Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Río Bravo (5 *cv*); Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luís Potosí (2 *cv*) y la FAUANL (4 *cv*) y el Programa de Genética del Colegio de Postgraduados (8 *cv*). En total fueron evaluados 38 cultivares, entre los cuales se encuentran materiales con diferente tipo y color de testa (pinto americano, pinto negro, bayo, negro, rosa, blanco y amarillo) (Cuadro 2).

Diseño experimental

Para el análisis se utilizó un arreglo factorial con un diseño completamente al azar y dos repeticiones. Con la combinación de los dos tipos de suelo y los 38 cultivares se tuvieron 76 tratamientos. Para la diferencia de los promedios se utilizó la prueba de Tukey (0.05). Los análisis correspondientes se realizaron con el paquete computacional de diseños experimentales FAUANL (Olivares, 1994).

Evaluación de tratamientos

Reacción a clorosis férrica. Los síntomas de clorosis fueron observados al inicio de floración, aproximadamente a los 50 días después de la siembra. Se utilizó la siguiente escala de clasificación para los diferentes grados de clorosis férrica (Hernández *et al.,* 1996): 1. Coloración normal, hojas de un verde intenso, sin enrollar; 2. Amarillamiento ligero en los márgenes, hojas de un verde más pálido, sin enrollar; 3. Amarillamiento intervenal moderado, sin enrollar; 4. Amarillamiento intenso, clorosis total de hojas con

principios de enrollamiento y 5. Amarillamiento severo con necrosamientos, clorosis total con hojas enrolladas. Esta escala corresponde a fenotipos completamente tolerantes (CT), moderadamente tolerantes (MT), moderadamente susceptibles (MS), susceptibles (S) y altamente susceptibles (AS), respectivamente.

Cuadro 2. Material genético utilizado en el experimento para identificar los cultivares tolerantes a clorosis férrica.

Genotipo	Origen	Tipo de población
LEF-Flor de Mayo	UAAAN-Nav.95	Flor de Mayo
Flor de Mayo-RMC	UAAAN-Dgo.94	Flor de Mayo
Pinto Mexicano-80	UAAAN-Ocampo.95	Pinto Americano
Delicias-71	UAAAN-Ocampo.95	Pinto Americano
Pinto Laguna-87	UAAAN-Nav.95	Pinto Americano
Pinto Villa	UAAAN-Nav.95	Pinto Americano
AN-22	UAAAN-Nav.95	Pinto Americano
Nav-1165	UAAAN-Nav.95	Pinto Americano
Zacatecas-1	UAAAN-Nav.95	Pinto Americano
LEF-25-RB	UAAAN-Ocampo.95	Pinto Americano
Pinto Narro-1	UAAAN-Nav.95	Pinto Negro
PC-84-92-25	UAAAN-Nav.95	Bayo crema
Durango-222	UAAAN-Nav.95	Bayo Blanco
Bayo Zacatecas	UAAAN-Nav.95	Bayo Blanco
II-952-M-26-IM-72	UAAAN-Nav.95	Bayo Blanco
Manzano	UAAAN-Dgo.94	Bayo Rosa
PC-146-93-38	UAAAN-Nav.95	Bayo Rosa
Peruano	UAAAN-Ocampo.95	Amarillo crema
Negro Durango	UAAAN-Dgo.94	Negro
Pinto-114	Río Bravo	Pinto Americano
FE-30-RB	Río Bravo	Ojo de cabra
Anzalduas-91	Río Bravo	Ojo de cabra
Negro Jamapa	Río Bravo	Negro
Negro Huasteco-81	Río Bravo	Negro
LEF-IRB	FAUANL	Bayo Rosa
Pinto norteño	FAUANL	Pinto Americano
Selección-4	FAUANL	Pinto Americano
Canario-101	FAUANL	Amarillo crema
Negro San Luis	FAUASLP	Negro
Flor de mayo SLP	FAUASLP	Flor de Mayo
Blanco-370 (1) M_7P_1	Programa de Genética, CP	Blanco
Blanco-370 (2) M_8P_1	Programa de Genética, CP	Blanco
Blanco-370 (3) $M_{10}P_2$	Programa de Genética, CP	Blanco
Blanco-370 (4) $M_{11}P_2$	Programa de Genética, CP	Blanco
Blanco-370 (5) $M_{13}P_1$	Programa de Genética, CP	Blanco
Blanco-370 (6) $M_{17}P_2$	Programa de Genética, CP	Blanco
Blanco-370 (7) $M_{20}P_1$	Programa de Genética, CP	Blanco
Blanco-370 (8) M_1P_1	Programa de Genética, CP	Blanco

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 3) mostró diferencias altamente significativas entre los dos tipos de suelo utilizados y los cultivares evaluados, no encontrando diferencia para la interacción de estos.

La prueba de medias muestra diferente grado de clorosis férrica presentada por los cultivares desarrollados en los diferentes suelos (Cuadro 4), clasificando las plantas desarrolladas en el suelo franco arcillo limoso como susceptibles (S) y las desarrolladas en el suelo migajón arcilloso como moderadamente susceptibles (MS).

Cuadro 3. Análisis de varianza para el grado de clorosis presentado por los diferentes cultivares de frijol a los 50 días después de la emergencia en dos tipos de suelo.

Factor de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F tablas 0.05	F tablas 0.01
Suelo	1	4.08	4.08	30.25**	3.91	6.81
Cultivares	37	162.86	4.40	32.64 **	1.47	1.72
Interacción	37	4.13	0.11	00.83 ns	1.47	1.72
Error	152	20.50	0.135			
Total	227	191.57				

CV = 10.58 %

* = P ≤ 0.05, ** = ≤ 0.01, ns = no significativo.

En los dos tipos de suelo se presentó clorosis férrica, debido al pH alcalino, al contenido de bicarbonatos y el bajo contenido de Fe disponible, lo que causó mayor clorosis. El suelo migajón arcilloso con 2.3 ppm de Fe disponible que el suelo franco arcillo limoso con 3.8 ppm. El contenido de Fe disponible en el suelo se considera bajo de acuerdo con Jones (2001), quien señala que menos de 3 ppm de Fe soluble en el suelo es bajo, y contenidos mayores de 5 ppm son adecuados para el desarrollo de los cultivos.

Cuadro 4. Grupos conformados por la prueba de medias para grado de clorosis férrica a los 50 días después de la emergencia para diferentes cultivares de frijol.

	Textura	Clorosis a los 50 días[+]	Tolerancia a clorosis férrica
Suelo 1	Franco Arcillo Limoso.	3.61 a	Susceptible
Suelo 2	Migajón Arcillo-so.	3.34 b	Moderadamente Susceptible

[+]Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

Con base en el grado de clorosis férrica (Cuadro 5) y la clasificación utilizada por Hernández *et al*. (1996), los cultivares se agruparon de la siguiente manera: Tolerante: Pinto Villa; moderadamente tolerante: AN-22, Pinto Méx. 80, Navidad 1165, Durango 222 y Bco. 370 (3); moderadamente susceptibles: Negro San Luis, FE-30-RB, LEF-Flor de Mayo, Flor de Mayo SLP, Delicias 71, Bayo Zacatecas, PC-84-92-25, Zacatecas 1, Bco. 370 (8), Bco. 370 (4), Bco. 370 (6), Bco. 370 (2) y Bco. 370 (5); susceptibles: PC-148-93-38, Peruano, Manzano, Negro Jamapa, Flor de Mayo RMC, Selección 4, Pinto 114, LEF-IRB, Pinto Norteño, Pinto Laguna, Negro Durango, Anzalduaz 91, Pinto Narro 1, LEF-25-RB, Bco. 370 (1) y Bco. 370 (7); altamente susceptibles: Negro Huasteco 81, II-952-M-26-1M-72 y Canario 101. Estos resultados coinciden con Hernández *et al*. (1996) al considerar como Fe-ineficientes a: Flor de mayo, Delicias 71, Negro Huasteco 81, Negro Zacatecas y Manzano, identificados por su alta susceptibilidad a clorosis férrica, además de Negro Jamapa y el Pinto 114, clasificado por los mismos investigadores como altamente susceptible y moderadamente susceptible, respectivamente.

Aun cuando el Fe se encuentra en el suelo en cantidades muy pobres (2.3 y 3.8 ppm, Cuadro 1), los cultivares clasificados como tolerantes (Pinto Villa) y moderadamente tolerantes [AN-22, Pinto Mex. 80, Navidad 1165, Durango 222 y Bco. 370 (3)], muestran capacidad de incrementar el Fe disponible para utilizarlo en sus tejidos, existiendo la posibilidad de que los cultivares tengan cierta selectividad para absorber Fe^{+2}, mediante mecanismos como la acidificación de la rizósfera, ya que en los suelos calcáreos el Fe se encuentra en forma férrica no disponible para la planta (Loué, 1988). Al acidificar el medio, el Fe se reduce y pasa a la forma ferrosa que es disponible para la planta; otro mecanismo podría activar las reductasas en el plasmalema de las células de la epidermis de la raíz (Marschner, 2002).

Los cultivares tolerantes a clorosis férrica se pueden utilizar en programas de mejoramiento genético para obtener variedades adaptadas a suelos calcáreos y reducir las pérdidas en el rendimiento a causa de la baja disponibilidad de hierro en estos suelos. Es conveniente considerar que algunas plantas tienden a manifestar síntomas de clorosis férrica, aun con contenidos adecuados de Fe en las hojas, debido a que la fisiología de la planta no le permite metabolizar dicho elemento, ya que la reducción del Fe^{+3} en la hoja es afectada negativamente por el pH elevado, siendo una de las posibles causas de la clorosis férrica (Romera y Díaz, 1991).

CONCLUSIONES

Los cultivares desarrollados en el suelo migajón arcilloso con 2.3 ppm de Fe disponible en comparación con el suelo franco arcillo limoso con 3.8 ppm de Fe disponible presentaron menor clorosis férrica.

Los cultivares más tolerantes (Fe-eficientes) al déficit de Fe fueron: Pinto Villa, AN-22, Durango 222, Pinto Mex. 80, Navidad 1165, Bco. 370 (3).

Los cultivares más susceptibles (Fe-ineficientes) a la déficit de Fe fueron: LEF-IRB, Pinto 114, Selección 4, Anzalduaz 91, Negro Jamapa, Flor de Mayo RMC, PC-148-93-38, Pinto Narro 1, LEF-25-RB, Manzano, Peruano, Negro Durango, Pinto Norteño, Bco. 370 (1), Bco. 370 (7), Canario 101, Negro Huasteco 81, II-952-M-26-1M-72, Pinto Laguna 87.

Cuadro 5. Grupos conformados por la prueba de medias para grado de clorosis férrica presentado a los 50 días después de emergencia en cultivares de frijol.

No.	Cultivar	Clorosis 50 dde[+-]	Tolerancia a clorosis férrica[+]
37	Negro Huasteco 81	4.58 a	AS
38	II- 952-M-26-1M-72	4.58 a	AS
15	Canario 101	4.50 ab	AS
33	PC-146-93-38	4.33 abc	S
35	Peruano	4.33 abc	S
34	Manzano	4.25 ab	S
31	Negro Jamapa	4.25 abc	S
32	Flor de Mayo RMC	4.25 abc	S
30	Selección 4	4.25 abc	S
11	Pinto 114	4.17 abc	S
29	LEF-IRB	4.17 abc	S
24	Pinto Norteño	4.08 abcd	S
25	Pinto Laguna	4.00 abcde	S
36	Negro Durango	4.00 abcde	S
7	Bco-370 (7)	3.92 abcde	S
21	Anzalduaz 91	3.92 abcde	S
18	Pinto Narro 1	3.83 abcde	S
22	LEF-25-RB	3.83 abcde	S
1	Bco. 370 (1)	3.75 bcdef	S
5	Bco. 370 (5)	3.58 cdefg	MS
20	Negro San Luis	3.33 defgh	MS
2	Bco. 370 (2)	3.33 defgh	MS
12	FE-30-RB	3.33 defgh	MS
6	Bco. 370 (6)	3.33 defgh	MS
4	Bco. 370 (4)	3.33 defgh	MS
26	LEF-Flor de Mayo	3.25 fgh	MS
28	Flor de Mayo S.L.P.	3.25 efgh	MS
19	Delicias 71	3.25 efgh	MS
17	Bayo Zacatecaz	3.00 fghi	MS
27	PC-84-92-25	2.92 ghij	MS
23	Zacatecaz 1	2.83 ghij	MS
8	Bco. 370 (8)	2.75 hijk	MS
3	Bco. 370 (3)	2.25 ijkl	MT
16	AN-22	2.17 kl	MT
9	Pinto Méx. 80	2.00 klm	MT
13	Navidad 1165	2.00 klm	MT
14	Durango 222	1.67 lm	MT
10	Pinto Villa	1.33	CT

[+]Medias con la misma letra en la columna son iguales estadísticamente (Tukey, 0.05).

[+]AS = Altamente susceptible; S = Susceptible; MS = Moderadamente susceptible; MT = Moderadamente tolerante; T = Tolerante; dds = días después de emergencia.

BIBLIOGRAFÍA

Chaney R L (1988) Recent progress and needed research in plant Fe nutrition. J. Plant Nut. 11(6-11):1589-1603.

Clark R B (1991) Iron: unlocking agronomic potential. Solutions 35(3):24-28.

Hernández R I, G Alcántar G, J L Tirado T, G Carrillo C (1996) Susceptibilidad y mecanismos de adaptación de fenotipos de frijol a la clorosis férrica. Agrociencia 30:13-19.

Jones B J (2000) Hydroponics, a Practical Guide for the Soilles Grower. St. Lucie Press. U.S.A. pp:42-44.

Jones B J (2001) Laboratory Guide for Conducting Soil Test and Plant Analysis. CRC Press. U.S.A. pp:101-103.

Loué A (1988) Los Micronutrimentos en Agricultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid España. pp:13-82.

Marschner H (2002) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London. pp:269-279, 511-512, 514-523.

Olivares S E (1994) Paquete de Diseños Experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía de la UANL. Marín, N.L., México.

Romera R J, M Díaz de la G (1991) La Nutrición Férrica de las Plantas. Servicio de Publicaciones. Universidad de Córdoba. 111 p.