

SUSCEPTIBILIDAD Y MECANISMOS DE ADAPTACION DE GENOTIPOS DE FRIJOL A LA CLOROSIS FERRICA

DRY BEAN GENOTYPES SUSCEPTIBILITY AND ADAPTATION MECHANISMS TO IRON CHLOROSIS

Ismael Hernández Ríos¹, Gabriel Alcántar González², Juan Luis Tirado Torres²
y Guillermo Carrillo Castañeda³

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos en condiciones de invernadero. En el primero se evaluó la susceptibilidad a la clorosis férrica de 21 variedades y dos líneas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), usando 0.1 ppm de Fe-EDTA en la solución nutritiva de Hoagland. Se encontró que Bayo Zacatecas fue la variedad más tolerante (Fe-eficiente) y Garbanillo Supremo la más susceptible (Fe-ineficiente). En el segundo experimento, ambas variedades fueron sometidas a 0 y 2 ppm de Fe-EDTA en la solución nutritiva de Steinberg; se observó una mayor y más rápida acidificación de la solución nutritiva con Bayo Zacatecas, lo que posiblemente le confiere en parte su Fe-eficiencia. Asimismo, esta variedad presentó la mayor concentración de clorofila y la mayor actividad nitrato reductasa, en comparación con Garbanillo Supremo; ambas variables estuvieron relacionadas con la Fe-eficiencia de las variedades. La mayor concentración mineral se observó en Garbanillo Supremo sin adición de Fe-EDTA.

Palabras clave: Clorosis férrica, Fe-eficiencia, frijol, *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

Two experiments were carried out under greenhouse conditions. In the first one the susceptibility to iron chlorosis was evaluated in 23 cultivars of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) using the Hoagland's nutrient solution at 0.1 ppm level of Fe-EDTA. It was found out that Bayo Zacatecas was the most tolerant genotype (Fe-efficient), while Garbanillo Supremo was the most susceptible (Fe-inefficient). In the second experiment, both Bayo Zacatecas and Garbanillo Supremo genotypes were grown with 0 and 2 ppm levels of Fe-EDTA in a

Steinberg's nutrient solution. Bayo Zacatecas showed higher and sooner acidification response; such response can be related with its Fe-efficiency. Likewise, Bayo Zacatecas showed the highest values of chlorophyll concentration and nitrate reductase activity in comparison with Garbanillo Supremo. Both chlorophyll concentration and nitrate reductase activity were related with the genotypes Fe-efficiency. About the mineral concentration, the highest values were found in the Fe-inefficient genotype without Fe-EDTA addition.

Key words: Iron chlorosis, Fe-efficiency, dry bean, *Phaseolus vulgaris* L.

INTRODUCCION

El hierro es el elemento más abundante en el planeta; ocupa el cuarto lugar como constituyente de las rocas de la corteza terrestre (Krauskopf, 1983) y aproximadamente 5% del peso total de ésta (Mengel y Kirkby, 1987). Clark (1991) señala que el contenido promedio de Fe en los suelos varía entre 2 y 6%; no obstante, la proporción de Fe soluble es extremadamente baja, debido a lo cual la deficiencia de Fe es la más extendida de las deficiencias minerales de las plantas y es considerada como una de las de más difícil corrección (Bates, 1982).

En términos generales, se ha asociado a la deficiencia de Fe en las plantas con suelos de tipo calcáreo (Mengel y Geurtzen, 1986), los cuales cubren aproximadamente 30% de la superficie terrestre y se ubican principalmente en las regiones áridas y semiáridas del planeta (Chen y Barak, 1982). En los suelos, el Fe se encuentra principalmente en forma de óxidos e hidróxidos férricos, cuya solubilidad determina la disponibilidad de este micronutriente para las plantas (Lindsay y Schwab, 1982). La solubilidad de tales compuestos es altamente dependiente del pH del suelo; se ha estimado que una concentración mínima suficiente de Fe en la solución del suelo para un abastecimiento adecuado a las plantas sólo puede ser obtenida a un pH de 3; al aumentar este valor a un poco más

¹ Campus San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados. Ixturbide #73. 78600, Salinas de Hgo., S.L.P.

² Programa de Edafología. Instituto de Recursos Naturales; ³ Programa de Genética. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillo, Edo. de México.

Recibido: Mayo, 1993.

Aceptado: Mayo, 1994.

Publicado en *Agronomía* 30: 13-19. 1996.

de pH 4, sólo se obtendrá 1% del Fe demandado por los cultivos (Lyndsay, 1983).

Además del pH, existen otros factores que tienen influencia sobre la solubilidad y disponibilidad del Fe y que pueden conducir a deficiencias de éste en los cultivos; algunos de estos factores son señalados por Lucas y Knezek (1983). La gran cantidad de factores que afectan la disponibilidad del Fe podría conducir a esperar deficiencias de este micronutriente en la generalidad de los suelos, de no ser por la existencia de factores modificantes que incrementan su solubilidad y, por lo tanto, su disponibilidad para las plantas (Brown y Jolley, 1986).

La amplia variabilidad genética ha permitido que las especies vegetales, y los genotipos dentro de especies, muestren diversos grados de potencialidad para adquirir el Fe presente en el medio de crecimiento (Mengel y Kirkby, 1987). La inadecuada disponibilidad del Fe en los suelos ha inducido mecanismos de adaptación en las plantas; la estructura, morfología y fisiología de las raíces pueden cambiar significativamente (Landsberg, 1984). Es aquí donde surgen los conceptos relacionados con la eficiencia en la utilización del Fe. De esta forma son conocidas como Fe-eficientes aquellas plantas cuyas modificaciones radicales conducen a incrementar la solubilidad, absorción y transporte del Fe (Römheld, 1987); a diferencia de éstas, las plantas Fe-ineficientes no muestran respuestas adaptativas (Kannan y Pandey, 1982).

Desde un punto de vista cualitativo, los mecanismos adaptativos pueden ser clasificados en por lo menos dos grupos principales, los cuales han sido denominados Estrategias I y II; estudios recientes indican que la primera de estas estrategias se presenta en la mayoría de las plantas, mientras que la segunda se ha observado exclusivamente en gramíneas (Römheld, 1987).

La participación del Fe en diversas fases anabólicas de la biosíntesis de la clorofila y en el mantenimiento del sistema captador de la energía luminosa, hacen de la clorosis y de la disminución de la capacidad fotosintética los síntomas más evidentes de la deficiencia de Fe en las plantas. Dentro de las especies que se cultivan en las regiones áridas de nuestro país, el frijol es una de las más importantes, pues diversos estudios la consideran como susceptible a las deficiencias de Fe, cuyos efectos pueden reducir hasta en 100% el rendimiento de grano (Clark, 1991; Cortinas, 1985). Debe considerarse, además, que se trata de una leguminosa que forma una parte básica de la dieta alimenticia. De lo anterior deriva la importancia de

identificar genotipos de frijol con capacidad de adaptación a condiciones de baja disponibilidad de Fe soluble en los suelos y estudiar algunos de los mecanismos presentes en esta especie.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrolló en condiciones de invernadero, constó de dos fases experimentales y se utilizaron soluciones nutritivas. La semilla utilizada fue desinfectada superficialmente para evitar en lo posible daños por fitopatógenos. Posteriormente, la semilla se hizo germinar en una cámara climatizada y luego se depositó para su desarrollo inicial en semilleros de polipropileno. Para la instalación de los experimentos se utilizaron plántulas seleccionadas por su uniformidad de desarrollo, empleándose las que presentaban las hojas simples totalmente extendidas y el inicio de la primera hoja compuesta (trifoliolada). La unidad experimental consistió en una maceta con tres litros de solución nutritiva y con cuatro plantas. La solución nutritiva se mantuvo constantemente aireada mediante el empleo de bombas peristálticas y mangueras de 5 mm de diámetro; la solución se renovó cada 7 días, manteniendo el volumen constante durante estos intervalos mediante la adición de agua destilada.

Experimento 1. El objetivo de este experimento fue evaluar el grado de susceptibilidad a la clorosis férrica de 21 variedades y dos líneas de frijol procedentes de diferentes regiones del país. Se utilizó la solución nutritiva modificada Núm. 1 de Hoagland (Brown y Jones, 1976a), con Fe-EDTA a una concentración de 0.1 ppm. Cada tratamiento se evaluó por duplicado bajo un diseño completamente al azar.

Para evaluar el grado de susceptibilidad de los materiales, se tomó como referencia básicamente la sintomatología visual derivada del nivel subóptimo de Fe-EDTA adicionado a la solución nutritiva. Para ello se utilizó la siguiente escala: 1, coloración normal; 2, amarillamiento ligero en los márgenes; 3, amarillamiento intervenal moderado; 4, amarillamiento intenso; y 5, amarillamiento severo con necrosamientos. El experimento se suspendió cuando se observaron los daños máximos (valor de 5) en por lo menos uno de los genotipos evaluados.

Experimento 2. En este experimento, el objetivo fue evaluar algunas respuestas adaptativas del germoplasma de frijol al estrés por hierro. Según los resultados del primer experimento, para este segundo se seleccionaron los dos genotipos que resultaron más contrastantes en cuanto a su grado de susceptibilidad. Se utilizó la solución nutritiva de

Steinberg (Brown y Jones, 1976a) con 0 y 2 ppm de Fe-EDTA. De esta forma se tuvieron cuatro tratamientos, resultantes de la combinación de los dos genotipos seleccionados por los dos niveles de Fe; los tratamientos se evaluaron bajo un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones.

Se registró la variación diaria de pH en la solución nutritiva y se evaluó la concentración de Fe "activo" (Fe^{2+}) (Katyal y Sharma, 1980), de clorofila (Arnon, 1949) y la actividad nitrato reductasa (ANR) (Smith et al., 1980), en la hoja compuesta más joven totalmente extendida.

Para ambos experimentos, los datos obtenidos se procesaron mediante análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple de medias (Tukey, 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSION

Experimento 1

Sintomatología visual

Como se indicó, el grado de susceptibilidad a la clorosis férrica en los genotipos bajo estudio se determinó con base en la sintomatología visual desarrollada. En el Cuadro 1 se muestran los valores promedio de daño observado en los genotipos al término del experimento.

Los genotipos Garbancillo Supremo y Jamapa mostraron los mayores daños, derivados del nivel subóptimo de Fe utilizado; dichos daños correspondieron a un valor de 5 en la escala utilizada, el cual indica un amarillamiento severo con tejido foliar necrosado. Fue el daño observado en estos dos genotipos lo que determinó la terminación del experimento. También se observa que los daños menores se presentaron en Bayo Zacatecas y Cacahuatle 72. Estos, con valores de 1.75, solamente mostraron un amarillamiento ligero, principalmente en el área marginal de las hojas. Los demás genotipos mostraron daños intermedios, entre los valores indicados para los anteriores y señalados.

Al tomar como base la clasificación de los daños presentada por Zaitte et al. (1988), Garbancillo Supremo y Jamapa se pueden considerar como altamente susceptibles a la clorosis férrica, mientras que Bayo Zacatecas y Cacahuatle se clasifican como variedades resistentes. El resto de los materiales mostraron desde susceptibilidad intermedia (Agrarista y Canario 107, con valores promedio de 2.75) hasta alta susceptibilidad (Ojo de Cabra 400

Cuadro 1. Grado de daño mostrado por 23 materiales de frijol bajo un nivel subóptimo de hierro en la solución nutritiva de Hoagland¹.

Genotipo	Grado de daño ¹
Flor de Mayo	4.00
Ciateño	3.50
Cacahuatle 72	1.75
Bayomex	3.75
Moch. N. 84	4.25
Delicias 71	4.25
Negro Huasteco 81	4.40
Agrarista	2.75
Línea 1374	4.00
Flor de Junio	4.25
Jamapa	5.00
Garbancillo Supremo	5.00
Canario 107	2.75
Negro Zacatecas	4.50
Ojo de Cabra 400	4.75
Porrillo Sintético	4.75
Bayo Río Grande	3.25
Línea 1196	3.50
Negro Puebla	4.00
Pinto 114	3.00
Negro 150	3.75
Manzano	4.50
Bayo Zacatecas	1.75

¹ Promedio de dos observaciones.

¹ Escala: hojas con: (1) coloración normal; (2) amarillamiento ligero en los márgenes; (3) amarillamiento intervenal moderado; (4) amarillamiento intenso; (5) amarillamiento severo con necrosamientos.

y Porrillo Sintético, con valores de 4.75). Los resultados indican que, de los materiales genéticos estudiados, existieron dos materiales con sintomatología similar hacia cada extremo de la escala empleada. Dentro de cada par de variedades se seleccionó únicamente a una de ellas, para contar de esta manera con un material tolerante y otro susceptible para el experimento siguiente. Para tal selección se siguió el criterio de uniformidad de respuesta, tanto dentro de la unidad experimental como entre repeticiones. Con base en ello se seleccionó a Bayo Zacatecas y a Garbancillo Supremo.

La variabilidad de respuesta observada no es más que el reflejo de la variabilidad genética que se presenta dentro de la especie; esta respuesta se relaciona con las funciones metabólicas del Fe en la planta, principalmente su participación en la síntesis de la clorofila, no obstante no formar parte de la molécula. Así, un inadecuado abastecimiento de este micronutriente conduce inicialmente a clorosis por carencia de clorofila y posteriormente a la degeneración de los tejidos en los que ésta debiera encontrarse.

Experimento 2

pH de la solución nutritiva

En la Figura 1 se muestran las variaciones diarias de pH en la solución nutritiva durante el transcurso del experimento, para las variedades Bayo Zacatecas y Garbancillo Supremo al ser desarrollados con adición (+Fe) o no (-Fe) de Fe-EDTA a la solución nutritiva. Para los cuatro tratamientos se presentó una tendencia inicial hacia la alcalinización; los valores más altos de pH se alcanzaron al cuarto día para Bayo Zacatecas-Fe, y al quinto día para los tratamientos restantes; debe resaltarse que para ambos niveles de Fe los mayores valores de pH correspondieron a Garbancillo Supremo. Posterior a la alcalinización inicial, en los cuatro tratamientos se presentó la tendencia contraria; ésta fue muy leve para los dos genotipos con adición de Fe-EDTA, y notoriamente pronunciada para los mismos, pero sin adición de Fe.

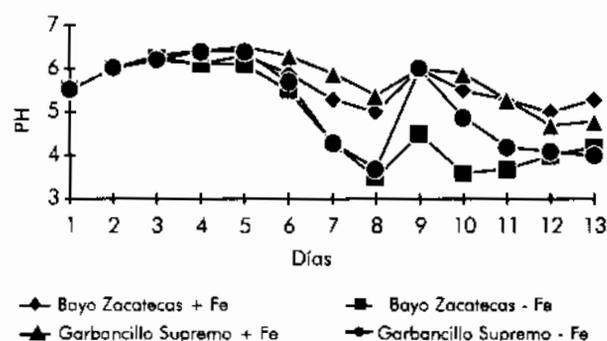


Figura 1. Variación del pH de la solución nutritiva de Steinberg por efecto de genotipos y niveles de hierro.

El comportamiento general observado al noveno día es atribuido a la renovación total de la solución nutritiva el día anterior. Las tendencias hacia la alcalinización se atribuyeron a un mayor consumo de nitratos en las fases iniciales de la adición o reposición de la solución nutritiva, con la consecuente salida de iones OH^- o HCO_3^- hacia la solución nutritiva. Posterior a las fases iniciales, pudo darse un ajuste en la absorción, tanto de NO_3^- como de NH_4^+ , como respuesta a los niveles de Fe en los tratamientos. Al hacer una comparación por separado de los tratamientos Bayo Zacatecas+Fe y Garbancillo Supremo + Fe, puede observarse en la Figura 1 que Bayo Zacatecas mostró, en términos generales, un mayor efecto de acidificación. Esta misma observación puede hacerse al comparar,

también por separado, a Bayo Zacatecas-Fe y Garbancillo Supremo-Fe. Se ha determinado que la acidificación en las plantas Fe-eficientes es una respuesta adaptativa por medio de la cual se tiende a incrementar la disponibilidad del Fe (Zocchi y Cocucci, 1990).

Los resultados presentados indican que la acidificación del medio externo es uno de los mecanismos que utiliza el frijol como respuesta a la indisponibilidad del Fe. En el presente estudio ambas variedades mostraron dicha respuesta; sin embargo, la diferencia en la susceptibilidad pudo radicar tanto en la magnitud como en la velocidad con que la misma se presentó. Esto concuerda con los resultados de Hurley *et al.* (1986) en frijol, y de Peña (1989), en soya (*Glycine max* L.); en ambos casos las respuestas se presentaron más rápidamente en el material genético considerado como Fe-eficiente.

Concentración de clorofila

Las mayores concentraciones se presentaron a 2 ppm de Fe-EDTA para ambas variedades; bajo ambos niveles de Fe la mayor concentración se obtuvo en Bayo Zacatecas. En promedio, la concentración de clorofila se incrementó en 28%, al pasar de 0 a 2 ppm de hierro, mientras que entre variedades Bayo Zacatecas fue 19% mayor que Garbancillo Supremo (Cuadro 2).

Aun cuando no forma parte de la molécula, el Fe es un nutriente indispensable para la síntesis de la clorofila (Bidwell, 1979), ya que participa en diversas fases anabólicas para su formación. Bajo un inadecuado abastecimiento de este micronutriente, tanto la biosíntesis como el mantenimiento de los niveles de clorofila son severamente afectados, por lo que el amarillamiento foliar o clorosis constituye el síntoma más evidente de la insuficiencia de hierro (Miller *et al.*, 1984).

Cuadro 2. Concentración media de clorofila (mg/g PF) en las variedades de frijol Bayo Zacatecas y Garbancillo Supremo, a 0 y 2 ppm de Fe-EDTA.

Concentración de Fe-EDTA (ppm)	Variedades		Promedio
	Bayo Zacatecas	Garbancillo Supremo	
0	4.091 b [†]	3.161 c	3.692 b
2	5.001 a	4.481 ab	4.741 a
Promedio	4.546 á	3.821 b	

[†] Medias con la misma letra no difieren estadísticamente ($p < 0.05$).

D.M.S. Tratamientos = 0.796

D.M.S. Factores = 0.396

Actividad nitrato reductasa (ANR)

En ambas variedades la mayor ANR se presentó bajo carencia de hierro (0 ppm) y entre variedades fue Bayo Zacatecas la que mostró una mayor ANR. En promedio, se presentaron diferencias estadísticas entre niveles de hierro y entre variedades. Considerando el promedio por niveles de Fe, la ANR fue superior en 110% a un nivel de 0 ppm de Fe-EDTA, comparada con el nivel de 2 ppm, mientras que al considerarse el promedio por variedades, la ANR en Bayo Zacatecas fue 218% mayor en relación con Garbancillo Supremo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Actividad nitrato reductasa ($\mu\text{M NO}_2^-/\text{g PF/h}$) en las variedades de frijol Bayo Zacatecas y Garbancillo Supremo a 0 y 2 ppm de Fe-EDTA.

Concentración de Fe-EDTA (ppm)	Variedades		Promedio
	Bayo Zacatecas	Garbancillo Supremo	
0	65.91 a [†]	23.99 b	44.95 a
2	34.80 ab	7.71 b	21.26 b
Promedio	50.36 a	15.85 b	

[†] Medias con la misma letra no difieren estadísticamente ($p < 0.05$).

D.M.S. Tratamientos = 39.40

D.M.S. Factores = 29.53

Los mayores valores de ANR en la variedad Fe-eficiente pueden atribuirse a diversos factores. Por un lado, pueden estar relacionados con el efecto que sobre el transporte de electrones tienen las proteínas férricas no hémicas, las cuales favorecen el flujo de electrones y el poder reductor para que se realice la ANR (Pandey, 1989). Por otra parte, considerando la posibilidad de que la reducción del Fe(III)-citrato sea llevada a cabo por la nitrato reductasa (Campbell y Redinbaugh, 1984), cabría esperar que la utilización interna (reducción) del Fe conlleve también una mayor ANR; Brown y Jones (1976b) señalan que es posible que el poder reductor producido como respuesta al estrés férrico pueda afectar la actividad de la enzima nitrato reductasa.

Hierro activo (Fe^{2+})

Respecto a la concentración de Fe activo, no se presentaron diferencias estadísticas para ninguno de los tratamientos, ni entre promedios para los factores bajo estudio. Solamente se observaron tendencias ligeras a incrementar la concentración

para el nivel de 2 ppm de Fe (46.05 vs. 45.68 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g PF}$) y para la variedad Bayo Zacatecas (46.75 vs. 44.99 $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g PF}$); no obstante, tales tendencias no permitieron establecer diferencias claras al respecto. Resultados similares han sido obtenidos en otros estudios.

Producción de materia seca

La acumulación de materia seca fue afectada significativamente por los factores bajo estudio (Cuadro 4). En promedio, Bayo Zacatecas produjo 56% más materia seca que Garbancillo Supremo, mientras que entre niveles de Fe-EDTA en la solución nutritiva, con 2 ppm se incrementó en 40% la producción de materia seca, respecto al promedio de los tratamientos sin adición de Fe-EDTA. Esto está relacionado con la participación del hierro en la síntesis de clorofila y el funcionamiento de los sistemas captadores de la energía luminosa, lo que a su vez está íntimamente ligado con los procesos de fotosíntesis y la producción y acumulación de materia seca.

Cuadro 4. Producción de materia seca (g) en las variedades de frijol Bayo Zacatecas y Garbancillo Supremo, a 0 y 2 ppm de Fe-EDTA.

Concentración de Fe-EDTA (ppm)	Variedades		Promedio
	Bayo Zacatecas	Garbancillo Supremo	
0	0.920 b [†]	0.548 c	0.734 b
2	1.233 a	0.833 b	1.033 a
Promedio	1.076 a	0.690 b	

[†] Medias con la misma letra no difieren estadísticamente ($p < 0.05$).

D.M.S. Tratamientos = 0.200

D.M.S. Factores = 0.104

Relaciones nutrimentales

Las alteraciones en el metabolismo del Fe afectan diversas relaciones nutrimentales. Así, a 0 ppm de Fe-EDTA se observó un incremento en los valores de algunas relaciones nutrimentales que son citadas como indicadores adecuados de la deficiencia de Fe en las plantas (Cuadro 5). Estos resultados concuerdan con los reportados por otros autores (Barak y Chen, 1984; Chen y Barak, 1982; Hanze et al., 1985) y son función de la acumulación relativa de los nutrimentos involucrados, que afecta o es afectada por la absorción y metabolismo del hierro en las plantas.

Cuadro 5. Valor de algunas relaciones nutrimentales en dos variedades de frijol con diferente Fe-eficiencia bajo dos niveles de Fe-EDTA en la solución nutritiva.

Relación nutrimental	Nivel de Fe-EDTA (ppm)	
	0	2
P/Fe	0.022	0.019
K/Ca	3.000	2.917
Mn/Fe	2.260	0.460
Cu/Fe	0.084	0.051
Zn/Fe	0.940	0.589

CONCLUSIONES

Con base en los resultados presentados se concluye que:

Existe una amplia variabilidad en el material de germoplasma de frijol respecto a la susceptibilidad a la clorosis férrica.

La variedad más tolerante fue Bayo Zacatecas, mientras que la más susceptible fue Garbancillo Supremo.

La concentración de clorofila y la actividad nitrato reductasa se relacionan directamente con la Fe-eficiencia de los materiales de frijol.

Bajo carencia de hierro, se incrementan algunas relaciones nutrimentales que pueden ser indicativas de la deficiencia de ese nutrimento.

LITERATURA CITADA

Arnon, D. I. 1949. Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24(1):1-15.

Barak, P. and Y. Chen. 1984. The effect of potassium on iron chlorosis in calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 7(1-5):125-133.

Bates, G. W. 1982. Parallels in plant and human iron nutrition. *J. Plant Nutr.* 5(4-7):269-276.

Bidwell, R.G.S. 1979. *Fisiología Vegetal*. AGT Ed. México. p. 185.

Brown, J. C. and W. E. Jones. 1976a. A technique to determine iron efficiency in plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:398-405.

Brown, J. C. and W. E. Jones. 1976b. Nitrate reductase activity in calcifugous and calcicolous tomatoes as affected by iron stress. *Physiol. Plant.* 38:273-277.

Brown, J. C. and B. D. Jolley. 1986. An evaluation of concepts related to iron deficiency chlorosis. *J. Plant Nutr.* 9 (3-7): 175-186.

Campbell W. H. and M. G. Redinbaugh. 1984. Ferric-citrate reductase activity of nitrate reductase and its role in iron assimilation by plantas. *J. Plant Nutr.* 7(1-5):799-806.

Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35:217-240.

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

Cortinas E., H. M. 1985. Determinación del grado de clorosis y su relación con características agronómicas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis MC. UAAAN. Saltillo, Coah.

Hanze, M., J. Rianse, R. Shwari, and H. Zaabout. 1985. Iron treatment of lime induced chlorosis: implications for chlorophyll, Fe^{2+} , Fe^{3+} and K^+ in leaves. *J. Plant Nutr.* 8(5):437-448.

Hurley, A. K., V. D. Holley, J. C. Brown, and R. H. Walser. 1986. Response of dry beans to iron deficiency stress. *J. Plant Nutr.* 9(3-7):805-814.

Kannan, S. and D. P. Pandey. 1982. Absorption and transport of iron in some crop cultivars. *J. Plant Nutr.* 5(4-7):395-403.

Katyál, J. C. and B. D. Sharma. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant Soil* 55:105-119.

Krauskopf, K. B. 1983. Geoquímica de los micronutrientes. In: *Micronutrientes en Agricultura*. Mortvedt, J. J., P. M. Giordano y W. L. Lindsay (comps.). AGT Ed. Méx. pp: 7-43.

Landsberg, E. C. 1984. Regulation of iron-stress response by whole-plant activity. *J. Plant Nutr.* 7(1-5):609-621.

Lindsay, W. L. 1983. Equilibrio de la fase inorgánica de los micronutrientes en suelos. In: *Micronutrientes en Agricultura*. Mortvedt, J. J., P. M. Giordano y W. L. Lindsay (comps.). AGT Ed. Méx. pp: 45-63.

Lindsay, W. L. and A. P. Schwab. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *J. Plant Nutr.* 5(4-7):821-840.

Lucas, R. O. and B. D. Knezek. 1983. Condiciones climáticas y de suelos que promueven las deficiencias de micronutrientes en plantas. In: *Micronutrientes en Agricultura*. Mortvedt, J. J., P. M. Giordano y W. L. Lindsay (comps.). AGT Ed. Méx. pp: 291-315.

Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. 4th. Ed. International Potash Institute. Worbaufen-Bern/Switzerland.

Mengel, K. and G. Geurtzen. 1986. Iron chlorosis on calcareous soils. Alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *J. Plant Nutr.* 9(3-7):161-173.

Miller, G. W. J. C. Pushnik, and G. W. Welkie. 1984. Iron chlorosis, a world wide problem. The relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant Nutr.* 7(1-5):1-22.

Pandey, D. P. 1989. Iron chlorosis and nitrate reductase activity in response to Fe stress and additional nitrate in sorghum. *J. Plant Nutr.* 12(3):375-386.

Peña R., R. 1989. Contribución al estudio de algunos mecanismos de adaptación de la soya (*Glycine max* L.) a la clorosis férrica. Tesis MC. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

Römheld, V. 1987. Different strategies for iron acquisition in higher plants. *Physiol. Plant.* 70:231-234.

Smith, G. S., K. R. Middleton, and A. S. Edmonds. 1980. Sodium nutrition of pasture plants. II. Effect of sodium chloride on growth, chemical composition and the reduction of nitrate nitrogen. *New Phytol.* 84:613-621.

Zaite, H. Z., D. P. Coyne, and R. B. Clark. 1988. Genetic variation, heritability, and selection response to iron deficiency chlorosis in dry beans. *J. Plant Nutr.* 11(6-11):739-746.

Zocchi, G. and S. Cocucci. 1990. Fe uptake mechanism in Fe-efficient cucumber roots. *Plant Physiol.* 92:908-911