

CIAT

SB

327

P79c

1980

C-1

12623

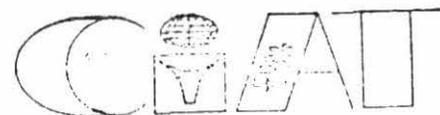
# Problemas de Producción del Frijol

Enfermedades, Insectos, Limitaciones  
Edáficas y Climáticas de *Phaseolus vulgaris*

Editado por  
Howard F. Schwartz y Guillermo E. Gálvez

Editor de Producción  
Stellia Sardi de Salcedo

Traducido por  
Jorge I. Victoria



BIBLIOTECA

14 ABR. 1980

47823

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia

12623

## Capítulo 19 Desórdenes Nutricionales

R.H. Howeler

Página

|   |     |
|---|-----|
| Introducción.....   | 343 |
| Efecto del pH del Suelo en la Disponibilidad de Nutrientes..... | 344 |
| Deficiencias y Toxicidades Nutricionales                        |     |
| Toxicidad de Aluminio.....                                      | 344 |
| Deficiencia y Toxicidad de Boro .....                           | 345 |
| Deficiencia de Calcio.....                                      | 346 |
| Deficiencia de Cobre .....                                      | 347 |
| Deficiencia de Hierro.....                                      | 348 |
| Deficiencia de Magnesio.....                                    | 348 |
| Deficiencia y Toxicidad de Manganeso.....                       | 348 |
| Deficiencia de Nitrógeno.....                                   | 350 |
| Deficiencia de Fósforo.....                                     | 353 |
| Deficiencia de Potasio.....                                     | 355 |
| Deficiencia de Azufre.....                                      | 356 |
| Deficiencia de Zinc.....  | 356 |
| Literatura Citada .....   | 358 |

## Capítulo 19

# Desórdenes Nutricionales

### Introducción

En América Latina el frijol se cultiva en diferentes tipos de suelos, con diversas deficiencias o toxicidades nutricionales que pueden limitar el desarrollo de la planta y su rendimiento. En América Central y el occidente de América del Sur, el frijol por lo general se produce en la zona montañosa donde predominan los Andosoles (Inceptisoles). Las deficiencias de fósforo y nitrógeno son las más frecuentes, aunque las deficiencias de elementos menores y la toxicidad de aluminio y manganeso pueden restringir considerablemente los rendimientos en ciertas áreas.

En las regiones situadas entre cordilleras, el frijol se siembra en valles que se caracterizan por tener suelos aluviales de alta fertilidad pero que pueden presentar deficiencias de ciertos elementos menores. En muchas partes de Venezuela y Brasil, la producción de frijol se lleva a cabo en Oxisoles y Ultisoles de baja fertilidad, mas bien ácidos. El frijol puede sufrir en estos suelos de toxicidad de aluminio y/o manganeso, y de deficiencia de fósforo, y ocasionalmente de zinc.

Los problemas nutricionales, generalmente se diagnostican analizando el suelo y el tejido vegetal, y observando los síntomas. Las muestras de suelo se toman con un barreno de la rizosfera de la planta, combinando varias submuestras provenientes de la misma área en una sola muestra. Las muestras foliares (sin pecíolos) normalmente se toman de la parte superior de la planta, de las hojas más jóvenes al momento de iniciarse la floración. Las hojas se secan en el horno a temperaturas entre 60 y 80°C durante 24 a 48 horas, luego se trituran y se analizan. Si las plantas presentan síntomas de desórdenes nutricionales, se toman muestras de suelo y plantas de áreas con y sin síntomas, y se comparan los resultados de los análisis para identificar el elemento que está causando los síntomas.

Algunas veces se aplican diversos elementos bien sea al suelo o al follaje y se observa si los síntomas continúan desarrollándose o desaparecen, a fin de identificar el elemento que está limitando el crecimiento. Este último método requiere mucho tiempo para obtener resultados pero es muy útil cuando no existen laboratorios disponibles para analizar el suelo y el tejido vegetal.

Con el objeto de utilizar estas técnicas de diagnóstico, los investigadores deben reconocer los síntomas de desórdenes nutricionales y saber cuáles

## Capítulo 19

son los niveles críticos a partir de los cuales se presentan síntomas de deficiencia o toxicidad en el suelo y las plantas. Estos aspectos se describen más adelante para cada uno de los elementos.

### Efecto del pH del Suelo en la Disponibilidad de Nutrientes

El pH óptimo para producir frijol fluctúa entre 6,5 y 7,5. Dentro de estos límites, la mayoría de los elementos nutritivos de la planta presentan su máxima disponibilidad. Sin embargo, los suelos en América Latina tienen un pH inferior a 6,5, y existen importantes áreas agrícolas con un pH superior a 7,5. El frijol tolera un pH bajo, entre 4,5 y 5,5, pero por debajo de este límite generalmente desarrolla síntomas de toxicidad de aluminio y/o manganeso.

En los suelos alcalinos, el frijol tolera un pH inferior a 8,2 (19), pero muchos suelos con pH alto también pueden presentar inconvenientes debido al exceso de sales (salinidad), exceso de sodio (alcalinidad), deficiencia de elementos menores y drenaje deficiente. De acuerdo con los mapas de la FAO, 55 millones de hectáreas tienen problemas de sales en América del Sur (20). La salinidad puede ser causada por un exceso de cloruro de sodio, cloruro de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio. No obstante, las sales de cloruro son las que ocasionan raquitismo, amarillamiento, aborto de flores, maduración prematura y bajos rendimientos en el frijol (20). El exceso de sales de sodio disminuye la asimilación de la planta y dispersa los minerales arcillosos en el suelo, entorpeciendo por ende el drenaje. El frijol tolera un porcentaje máximo de saturación de sodio de 8-10% y una conductividad eléctrica (medida de salinidad) hasta de 1 mmho/cm. Por encima de estos niveles, los rendimientos disminuyen significativamente (19).

Los problemas de salinidad del suelo se pueden solucionar sembrando especies y variedades tolerantes a la sal. Cuando los suelos tienen buen drenaje interno, la aplicación de azufre o yeso en combinación con grandes cantidades de agua puede reducir la salinidad pero a un costo muy alto.

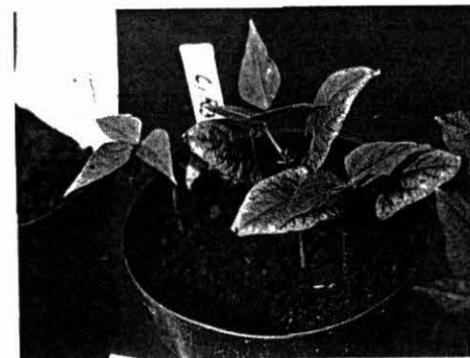
## Deficiencias y Toxicidades Nutricionales

### Toxicidad de Aluminio

La toxicidad de aluminio ocurre en grandes áreas de América Latina con Oxisoles, Ultisoles e Inceptisoles ácidos.

La Figura 1 presenta los síntomas de toxicidad del aluminio. Cuando la toxicidad es muy acentuada, las plantas pueden morir poco después de la germinación. Bajo condiciones menos severas, las hojas bajas toman un color amarillo uniforme y sus márgenes se vuelven necróticos, el crecimiento de la planta se torna raquítico y los rendimientos disminuyen considerablemente. El frijol es particularmente susceptible a la toxicidad de aluminio, sin embargo, existen grandes diferencias varietales en cuanto a la susceptibilidad (30, 31). Los frijoles negros son menos susceptibles que los de otros colores (14). No obstante, esta observación podría no ser del todo correcta por tratarse de una muestra muy limitada de los otros colores.

Fig. 1 - Crecimiento raquítico de la planta y necrosis de los márgenes foliares producidos por la toxicidad de aluminio.



La toxicidad del aluminio se controla mediante una incorporación profunda de cal agrícola, óxido de calcio, o hidróxido de calcio hasta que el pH se encuentre por encima de 5,2 a 5,5, o el contenido de aluminio sea de menos de 25-30% (25); sin embargo, desde el punto de vista económico esto no siempre es factible. La aplicación de 1,5-2 ton/ha de cal neutraliza 1 meq de aluminio/100 g de suelo. Seis ton/ha de cal fueron efectivas para un suelo ácido de cenizas volcánicas, como se comprobó por el mejor desarrollo de las plantas. La aplicación de escorias básicas y ciertas rocas fosfóricas también puede reducir la toxicidad por aluminio, en tanto que los fertilizantes formadores de ácidos, como el sulfato de amonio y la urea pueden agudizar aún más el problema.

### Deficiencia y Toxicidad de Boro

La deficiencia de boro es común en suelos de textura tosca, con un bajo contenido de materia orgánica, y niveles altos de aluminio e hidróxido de hierro (6, 64). También puede ser importante en los suelos aluviales con un pH alto y un contenido total de boro bajo (15, 16, 17).

Las plantas con deficiencias de boro tienen tallos gruesos y hojas con manchas amarillas necróticas (Figs. 2 y 3). En los casos menos severos, las hojas son arrugadas y curvadas hacia el envés, síntomas estos similares a

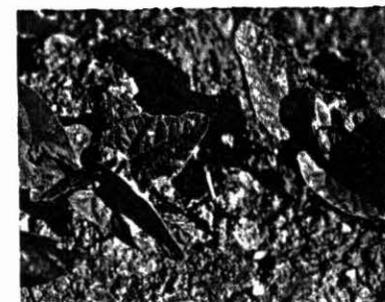


Fig. 2 - Síntomas en la hoja producidos por la deficiencia de boro.



Fig. 3 - Crecimiento anormal de la planta (izquierda) debido a la deficiencia de boro.

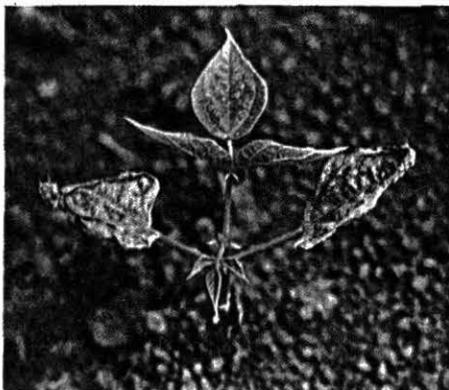


Fig. 4 - Amarillamiento y necrosis de los márgenes foliares causados por la toxicidad de boro.

los producidos por el ataque de virus o Empoasca. Bajo condiciones de deficiencia marcada de boro, las plantas permanecen raquíticas o mueren poco después de la germinación. El nivel crítico de deficiencia de boro es 20-25 ppm en las hojas (38) y 0,65 ppm de boro extractable con agua caliente en el suelo.

Esta deficiencia se puede controlar aplicando al suelo de 1 a 2 kg/ha de boro al momento de la siembra en forma de bórax (Solubor) o cualquier borato sódico, o mediante aplicaciones foliares de 1% de bórax. Existen grandes diferencias varietales en cuanto a la susceptibilidad a la deficiencia de boro. En general, los frijoles negros son más susceptibles que los rojos (17).

La toxicidad de boro induce amarillamiento y necrosis de los bordes de las hojas primarias poco después de la emergencia (Fig. 4), y de las hojas más viejas. El nivel crítico de toxicidad del boro es de 40-45 ppm en las hojas y 1,6 ppm en el suelo (38). Fox (29) encontró que el frijol es más susceptible a la toxicidad por boro que el maíz, el algodón, y la alfalfa. Los síntomas de toxicidad aparecen cuando el contenido de boro en el suelo es superior a 5 ppm. La toxicidad se presenta normalmente cuando los fertilizantes no se aplican de manera uniforme o cuando se aplican en bandas muy cerca a la semilla, especialmente durante las épocas secas.

### Deficiencia de Calcio

En muy pocas oportunidades se observa deficiencia de calcio en el frijol, aunque el contenido bajo de calcio puede afectar tanto el crecimiento de la planta como la fijación del nitrógeno en muchos suelos ácidos. La deficiencia de calcio y la toxicidad por aluminio suelen ocurrir simultáneamente en los Oxisoles y Ultisoles. El frijol cultivado en estos suelos ácidos generalmente responde al encalamiento, como resultado de la disminución de los iones de aluminio intercambiable y/o manganeso, y el aumento del calcio, magnesio y molibdeno disponibles.

Los síntomas de deficiencia de calcio son evidentes en las hojas, las cuales toman un color verde oscuro, con solamente un leve amarillamiento de los bordes y ápices; las hojas también se arrugan y curvan levemente

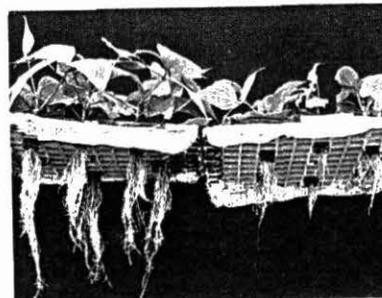


Fig. 5 - Sistema radical pobremente desarrollado (derecha) debido a la deficiencia de calcio.

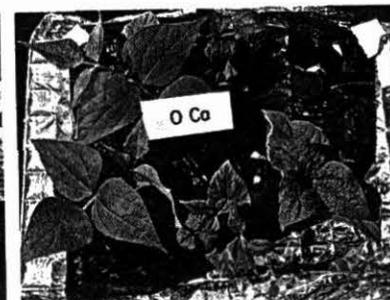


Fig. 6 - Acortamiento de los entrenudos y crecimiento tipo roseta de la planta (al frente) producidos por la deficiencia de calcio.

hacia el envés. Las plantas con deficiencia de calcio permanecen pequeñas, y el desarrollo radical disminuye notablemente (Fig. 5). A menudo se presenta acortamiento de los entrenudos, y como consecuencia las hojas se agrupan en roseta (Fig. 6). Los niveles óptimos de calcio en las hojas son de 2% (1), aunque también se han detectado contenidos de 5-6% (7, 10).

Un nivel crítico de calcio de 1,44% se presentó en las hojas maduras superiores al iniciarse la floración (18). Como existe poca translocación del calcio dentro de la planta, las hojas apicales dependen de la continua asimilación del calcio a través del sistema radical de la planta (8, 9, 41). El contenido de calcio de las hojas disminuye al incrementar las aplicaciones de potasio (28).

La deficiencia de calcio se controla incorporando a bastante profundidad cal calcítica o dolomítica, óxido de calcio o hidróxido de calcio. Las dosis bajas (e.g., 500 kg/ha) generalmente son suficientes para remediar la deficiencia de calcio, pero a menudo se emplean cantidades superiores para neutralizar las cantidades tóxicas del aluminio. Las fuentes de fosfato de calcio, tales como la escoria básica, la roca fosfórica y el superfosfato, contribuyen significativamente a la nutrición de calcio.

### Deficiencia de Cobre

La deficiencia de cobre se presenta en los terrenos pantanosos de la Florida (Everglades) (62), y en los suelos orgánicos o muy arenosos, pero no se ha estudiado en América Latina. El frijol es en realidad poco sensible a la deficiencia de cobre en comparación con los otros cultivos (43).

Las plantas de frijol con deficiencia de cobre son raquíticas, con entrenudos cortos, y las hojas jóvenes se tornan grises o verde azulosas. El contenido normal de cobre en las hojas superiores oscila de 15-25 ppm.

La deficiencia de este elemento se controla mediante las aplicaciones al suelo de 5-10 kg/ha de cobre, en forma de sulfato de cobre. Las aplicaciones foliares (0,1% de cobre) de sulfato o quelatos de cobre son también efectivas.

## Deficiencia de Hierro

La deficiencia de hierro no es común, pero puede ocurrir en ciertos suelos orgánicos o minerales con un pH alto, particularmente en presencia de carbonato de calcio libre.

Las hojas superiores de las plantas con deficiencia de hierro son levemente amarillas a blancas, con las nervaduras inicialmente verdes (Fig. 7). Los niveles normales de hierro en las hojas de frijol pueden ser de 100-800 ppm (7, 10).

La deficiencia de hierro se puede controlar aplicando EDTA (ácido etilendiaminetetracético) o cualquier otro quelato al suelo. El hierro inorgánico es precipitado con facilidad, especialmente en suelos con pH alto (37). La aplicación de EDDHA (ácido etilendiaminodi-*o*-hidroxifenilacético) aumentó el transporte de hierro dentro de la planta al reducir la asimilación de cobre, mientras que el DTPA (ácido dietil-triaminopentacético) aumentó la asimilación de cobre, manganeso, zinc y hierro (63). La aplicación foliar de quelatos de hierro también puede controlar la deficiencia de hierro en aquellos casos en que el crecimiento inicial de la planta no ha sido afectado significativamente.

## Deficiencia de Magnesio

El magnesio es un componente básico de la clorofila, y por lo tanto un nivel óptimo es vital para la fotosíntesis. La deficiencia de magnesio ocurre generalmente en suelos ácidos de poca fertilidad, con bajo contenido de bases, y en suelos de cenizas volcánicas con niveles relativamente altos de calcio y potasio.

La clorosis intervenal y la necrosis se presentan primero en las hojas más viejas (Fig. 8) y se extienden después a toda la hoja y al follaje más joven (Fig. 9). El magnesio no se transloca fácilmente. Durante épocas de estrés la mayor parte del magnesio va a las hojas más jóvenes, causando una deficiencia en las hojas más viejas. El contenido de magnesio en las hojas de plantas con deficiencia de magnesio generalmente es de 0,22-0,3% (18, 56), en comparación con 0,35-1,30% de las plantas normales (7, 10).

La deficiencia de magnesio se puede controlar mediante las aplicaciones al suelo de 10-20 kg/ha de magnesio, en la forma de cal dolomítica, óxido de magnesio o sulfato de magnesio, o mediante aplicaciones foliares de una solución de 1% de sulfato de magnesio, si la deficiencia no es muy grave. La cal y el óxido de magnesio se deben esparcir al voleo y luego se incorporan, mientras que el sulfato de magnesio es más efectivo cuando se aplica en bandas. Las hojas primarias absorben rápidamente el magnesio, pero no lo translocan con facilidad (12). Sin embargo, éste se distribuye fácilmente en la planta cuando se aplica al sistema radical.

## Deficiencia y Toxicidad de Manganeso

La deficiencia de manganeso se presenta en suelos orgánicos, suelos minerales con un pH alto, o suelos ácidos sumamente encalados (27). Los niveles altos de calcio disminuyen tanto la asimilación de hierro como la de



Fig. 7 - Clorosis intervenal de las hojas causada por la deficiencia de hierro.

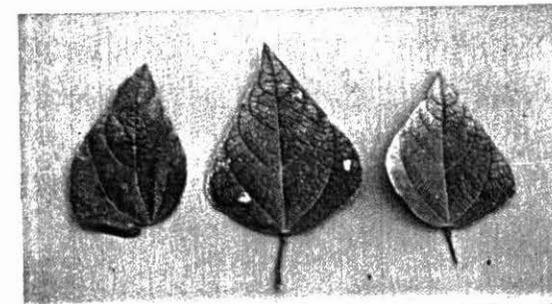


Fig. 8 - Síntomas de deficiencia de magnesio en el follaje más viejo.

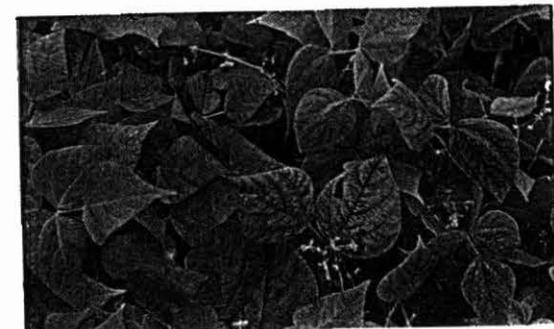


Fig. 9 - Síntomas de deficiencia de magnesio en el follaje joven.

manganeso. Bajo estas condiciones, la proporción óptima de hierro:manganeso es aproximadamente 2.

Las plantas con deficiencia de manganeso son raquílicas y sus hojas superiores toman un color amarillo-oro en las áreas entre las venillas, dando la apariencia de moteado (Fig. 10). Las plantas con deficiencia contienen menos de 30 ppm de manganeso, mientras que las normales pueden contener de 75-250 ppm.

La deficiencia de este elemento se puede controlar mediante la aplicación al suelo de 5-10 kg/ha de manganeso en la forma de sulfato de manganeso u óxido manganeso (27), o por medio de aplicaciones foliares de quelatos de manganeso. La aplicación de manganeso y ácido etilendiaminotetracético (EDTA) no fue efectiva, porque aumentó la asimilación del hierro e indujo deficiencias más acentuadas de manganeso en suelos orgánicos (40). El manganeso y el zinc son absorbidos principalmente durante los primeros 40 días de crecimiento de la planta (5).

La toxicidad de manganeso se ha observado en suelos ácidos, de ceniza volcánica, pobremente drenados en Colombia (18), y en suelos hidromórficos en Brasil (23).

La Figura 11 muestra los síntomas de toxicidad de manganeso, que incluyen la clorosis intervenal de las hojas jóvenes. En los casos más severos las plantas se vuelven completamente cloróticas, y las hojas superiores son pequeñas, arrugadas y curvadas hacia el envés (Fig. 12). Los síntomas de toxicidad de manganeso se confunden fácilmente con los de deficiencia de zinc y magnesio.

Tanto la toxicidad de manganeso, como la deficiencia de magnesio se presentan en suelos ácidos, pero la primera produce los síntomas en las hojas jóvenes mientras que la última afecta las hojas más viejas. La deficiencia de zinc es más común en suelos con un pH alto. El frijol es más susceptible a la toxicidad de manganeso que el maíz, y la toxicidad afecta gravemente el crecimiento de la planta, la formación de nódulos y la fijación de nitrógeno (23). Las plantas que sufren de toxicidad de manganeso pueden contener de 1000-3000 ppm (18).

La toxicidad de manganeso se puede corregir mediante el encalamiento (18, 23) y el mejoramiento del drenaje en el campo.

### Deficiencia de Nitrógeno

Aunque el frijol es una leguminosa y por lo tanto capaz de fijar simbióticamente nitrógeno con la cepa apropiada de *Rhizobium* (33, 34), las dificultades edáficas, varietales o de inoculación pueden limitar la fijación (16, 23, 58), y de paso obligan a la planta a depender del nitrógeno del suelo o de los fertilizantes nitrogenados. La deficiencia de nitrógeno es más frecuente en los suelos con bajo contenido de materia orgánica. También ocurre en suelos ácidos en los que los niveles tóxicos de aluminio o manganeso, o las deficiencias de calcio y magnesio, restringen la descomposición microbiológica de la materia orgánica y la fijación de nitrógeno por el *Rhizobium*.

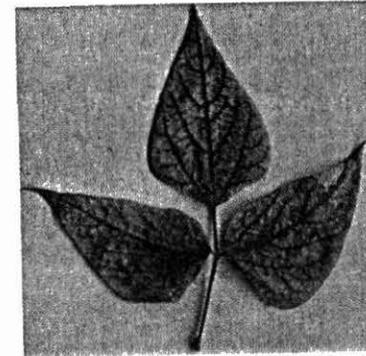


Fig. 10 - Síntomas de deficiencia de manganeso en el frijol.



Fig. 11 - Clorosis intervenal causada por la toxicidad de manganeso.



Fig. 12 - Síntomas en la planta inducidos por una severa toxicidad de manganeso.

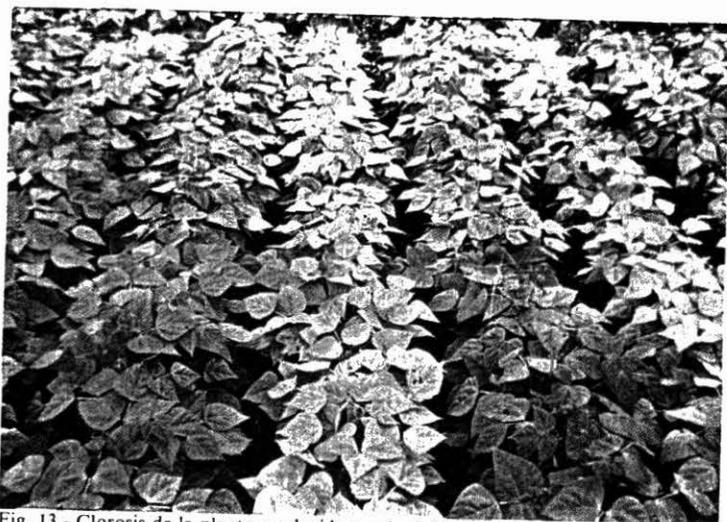


Fig. 13 - Clorosis de la planta producida por la deficiencia de nitrógeno.

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno son evidentes tan pronto como las hojas bajas de la planta toman un color verde pálido y eventualmente se amarillean; tal decoloración avanza gradualmente hacia arriba (Fig. 13). El crecimiento de la planta es raquítico y los rendimientos disminuyen. Las hojas superiores de la planta con síntomas de deficiencia generalmente tienen un contenido de nitrógeno de menos de 3%, al inicio de la floración (10, 56) comparado con un nivel óptimo de 5% en las plantas normales (44). Carvajal (13) encontró que los pecíolos son más útiles que las láminas foliares para diagnosticar la deficiencia de nitrógeno. Sus resultados indicaron que los niveles críticos en el pecíolo son 600 ppm para los nitratos, 200 ppm para el nitrógeno orgánico soluble y 800 ppm para el nitrógeno total soluble.

La deficiencia de nitrógeno se puede controlar aplicando fertilizantes nitrogenados o incorporando estiércol animal (59) y abono verde (2, 48, 50, 52). No se han observado diferencias significativas entre las diversas fuentes de nitrógeno como urea, nitrato amónico, nitrato sódico o nitrato cálcico-amónico (47, 58), o entre las épocas de aplicación (47). En los suelos ácidos, las fuentes como el nitrato cálcico-amónico, y en los suelos alcalinos, las fuentes como el sulfato de amonio, pueden ser benéficas. En general, sin embargo, la selección de la fuente de nitrógeno se basa en el costo por kilogramo de nitrógeno utilizable. Con las aplicaciones de nitrógeno se observó desde ninguna respuesta en muchos ensayos en Brasil (25, 35, 51), hasta respuestas acentuadas con dosis tan altas como 200 (24) y 400 kg/ha de nitrógeno (17). De 232 ensayos con NPK realizados en Brasil, solamente 67 dieron una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada (45). Los fertilizantes nitrogenados generalmente se aplican en bandas al momento o poco después de la siembra, o en dosis divididas, durante la siembra y al comienzo de la floración.

En un suelo ácido, de cenizas volcánicas en Colombia, se obtuvo una respuesta negativa (quema del follaje) a la aplicación en bandas de más de

80 kg/ha de nitrógeno en forma de urea durante una sequía. La aplicación de 320 y 640 kg/ha de nitrógeno produjo resultados negativos en el mismo suelo debido a una disminución del pH del suelo y a la inducción subsiguiente de toxicidad de manganeso. Los niveles de manganeso en las hojas aumentaron de 250 ppm en los testigos a 600 ppm con la aplicación alta de nitrógeno (19).

En los suelos donde el fósforo es el principal factor limitante, el frijol no responderá al nitrógeno, hasta que se apliquen suficientes cantidades de fósforo (61). Para una buena fijación de nitrógeno se requieren cantidades adecuadas de cal y fósforo (16, 23, 55), puesto que las especies de *Rhizobium* son sensibles a niveles altos de aluminio o manganeso, y bajos de calcio y fósforo. El encalamiento puede aumentar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados (55), y de la fijación del nitrógeno (23). Cuando las condiciones de suelo y temperatura contribuyen a la fijación de nitrógeno, se aconseja inocular la semilla con *Rhizobium*, como sustituto o complemento de los productos químicos nitrogenados.

### Deficiencia de Fósforo

La deficiencia de fósforo es probablemente el principal problema nutricional del frijol en América Latina. Limita los rendimientos del frijol en muchas áreas de Brasil, especialmente en el Campo Cerrado (35), en los Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico (1), y en los Andosoles de Colombia (16, 17) y América Central (22, 46).

Las plantas de frijol deficientes en fósforo son raquíticas, tienen pocas ramas (Fig. 14) y las hojas bajas se vuelven amarillas y necróticas antes de alcanzar la madurez (Fig. 15). Las hojas superiores suelen ser pequeñas y de color verde oscuro. La deficiencia de fósforo reduce la floración y afecta la



Fig. 14 - Crecimiento raquítico de la planta y ramificación escasa en respuesta a los incrementos en los niveles de deficiencia de fósforo, de izquierda a derecha (izquierda).



Fig. 15 - Síntomas cloróticos y necróticos en la hoja inducidos por la deficiencia de fósforo (derecha).

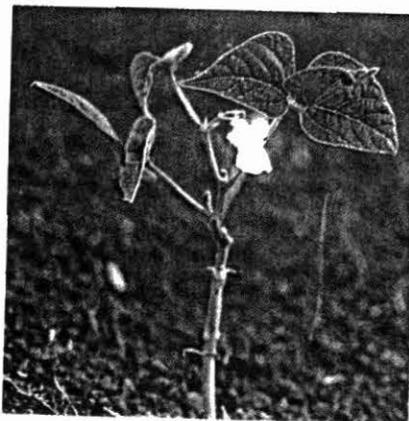


Fig. 16 - Reducción de la floración y formación de hojas pequeñas causadas por la deficiencia de fósforo.

maduración (Fig. 16). Las aplicaciones de fósforo hacen que las plantas sean más altas y más vigorosas.

Las hojas de las plantas con deficiencia generalmente contienen menos de 0,2% de fósforo (56). En las hojas adultas superiores, un contenido de fósforo de 0,2 (21) a 0,4% (44) es óptimo durante la etapa de 10% de floración. En el CIAT (17), se calculó un nivel crítico de 0,35% de fósforo. El contenido crítico de fósforo (método de extracción de Mehlich) en los suelos de Minas Gerais (Brasil) fue 8 ppm (11), en tanto que en el CIAT (18) fluctuó de 10-15 ppm (métodos de Olson, Bray I y II).

La deficiencia de fósforo usualmente se corrige aplicando fertilizantes fosforados, tales como superfosfato triple, superfosfato simple, roca fosfórica o escoria básica. Estos materiales se deben esparcir al voleo e incorporar en el suelo, a excepción del superfosfato, el cual se debe aplicar en bandas en suelos de alta fijación de fósforo. Mejores resultados se obtienen mediante la aplicación de superfosfato triple o simple en suelos que también son deficientes en azufre. La escoria básica y las rocas fosfóricas son más apropiadas para suelos ácidos, cuyos contenidos relativamente altos de calcio o carbonato de calcio tienen un efecto neutralizante. La efectividad de la roca fosfórica triturada varía considerablemente, según la estructura cristalina de la roca extraída. La disponibilidad de fósforo de cada fuente la da su solubilidad en citrato de amonio. Los experimentos con frijol en Colombia muestran una buena correlación entre este índice de solubilidad y la efectividad agronómica de las rocas fosfóricas (18).

La disponibilidad de fósforo de las rocas fosfóricas se puede mejorar acidificándolas parcialmente con ácido sulfúrico, o mezclándolas con azufre y bacterias productoras de azufre (17, 18). En la mayoría de los suelos, el frijol responde a las aplicaciones de bajas cantidades de fósforo (22, 35), mientras que en algunos requiere 400 kg/ha de  $P_2O_5$  (18).

En un suelo fijador de altas cantidades de fósforo en Colombia, el frijol respondió a aplicaciones al voleo de superfosfato triple tan altas como 2060 kg/ha de  $P_2O_5$ . Sin embargo, cuando el fósforo se aplicó en bandas, se

obtuvieron rendimientos similares con 300 kg/ha de  $P_2O_5$  (19). En consecuencia, en suelos fijadores de fósforo, las fuentes altamente solubles, como el superfosfato triple, se deben aplicar en bandas para disminuir el contacto del fertilizante con el suelo. Las fuentes menos solubles, como la escoria básica y las rocas fosfóricas, necesitan un buen contacto con el suelo para disolverse y son más efectivas cuando se aplican al voleo y luego se incorporan (19, 57).

En Brasil, el frijol respondió positivamente a las aplicaciones de fósforo en 103 de un total de 232 ensayos (45). Sin embargo, las aplicaciones altas de fósforo pueden inducir deficiencia de zinc (3, 42).

### Deficiencia de Potasio

En raras oportunidades se observa deficiencia de potasio en el frijol, pero puede ocurrir en Oxisoles y Ultisoles de poca fertilidad, o en suelos con alto contenido de calcio y magnesio. En Brasil, únicamente se obtuvo una respuesta positiva al potasio en 15 de 232 ensayos con NPK (45).

Los síntomas típicos de deficiencia de potasio son amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes foliares. Estos síntomas aparecen primero en las hojas bajas y gradualmente se extienden hacia arriba (Fig. 17). Manchas necróticas pueden presentarse en algunos casos de deficiencia muy marcada. El contenido óptimo en la hoja es de 2% de potasio (44). Blasco y Pinchinat (10) y Berríos y Bergman (7) encontraron niveles ligeramente más altos en el frijol cultivado en el campo. Las plantas con deficiencia tienen menos de 2% de potasio en las hojas superiores al iniciarse la floración, y este nivel puede ser inferior en plantas cultivadas en suelos con alto contenido de calcio o magnesio.

La deficiencia de potasio se puede corregir mediante la aplicación en bandas al momento de la siembra de 50-100 kg/ha de potasa ( $K_2O$ ), en forma de cloruro de potasio o sulfato de potasio. Este último se recomienda para suelos que tienen una baja disponibilidad de azufre.



Fig. 17 - Síntomas en las hojas inducidos por la deficiencia de potasio.

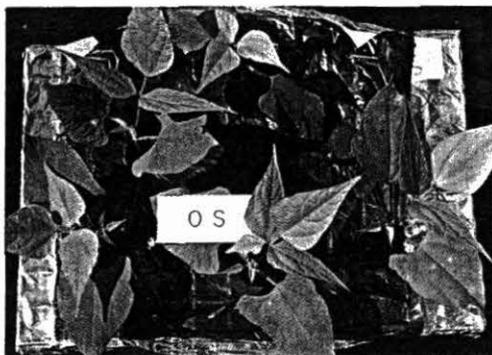


Fig. 18 - Síntomas de clorosis foliar ocasionados por la deficiencia de azufre.

### Deficiencia de Azufre

La deficiencia de azufre no es común en América Latina, pero puede presentarse en Oxisoles y Ultisoles de poca fertilidad, especialmente en aquellos muy distantes de los centros industriales (49).

Los síntomas de deficiencia de azufre se manifiestan como un amarillamiento uniforme de las hojas superiores (Fig. 18), similar al ocasionado por la deficiencia de nitrógeno. Aunque el crecimiento apical es menor, el desarrollo radical sufre muy poco por la deficiencia de azufre. Esta deficiencia se presenta en la soya si las plantas contienen menos de 0,15% de azufre (32), mientras que en el frijol el nivel crítico oscila de 0,20-0,25% (19). Una proporción adecuada de nitrógeno:azufre es importante para la formación de proteína (60). La proporción óptima de nitrógeno:azufre en la parte apical del frijol es de aproximadamente 15:1. La deficiencia de azufre produce una acumulación de nitrógeno inorgánico y del radical amida de los compuestos nitrogenados en las hojas e inhibe la síntesis de las proteínas. En suelos con deficiencia de azufre, se debe fertilizar simultáneamente con nitrógeno y sulfato en una proporción de nitrógeno:azufre de 15:1.

La deficiencia de azufre se puede controlar aplicando de 10-20 kg/ha de azufre elemental, o fertilizantes que contengan azufre, tales como sulfato de amonio, superfosfato simple o sulfato de potasio. Ciertos fungicidas, como el Elosal, pueden contribuir al aprovechamiento del azufre por la planta.

### Deficiencia de Zinc

La deficiencia de zinc ocurre en suelos con un pH alto, o en suelos ácidos que han recibido altas cantidades de cal y/o fósforo.

Los síntomas de deficiencia de zinc comienzan como un amarillamiento intervenal de las hojas más jóvenes (Fig. 19) y de las más viejas (Fig. 20), que posteriormente pueden llegar a convertirse en manchas necróticas.

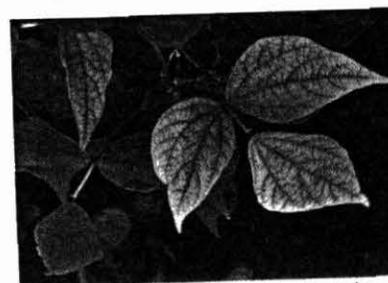


Fig. 19 - Clorosis intervenal de las hojas más jóvenes inducida por la deficiencia de zinc.



Fig. 20 - Síntomas de deficiencia de zinc en las hojas más viejas.

El nivel crítico de zinc en el tejido de frijoles es de 15-20 ppm (42), mientras que el nivel normal varía de 42-50 ppm (39). Los niveles mayores de 120-140 ppm de zinc pueden disminuir los rendimientos (3). Las aplicaciones altas de cal, fósforo, hierro (3), o cobre (53, 54) pueden inducir deficiencia de zinc.

Las variedades difieren en la susceptibilidad a la deficiencia de zinc. Un suministro bajo de zinc disminuyó el contenido de almidón y la sintetasa del almidón soluble de una variedad susceptible a la deficiencia de zinc, lo que sugiere que el zinc puede ser esencial para la síntesis del almidón (39).

Esta deficiencia se puede controlar mediante la aplicación al suelo de 5-10 kg/ha de zinc, en la forma de sulfato de zinc (3), o aplicando foliarmente de 0,3-0,5% de sulfato de zinc o quelatos de zinc (3, 36). Las fuentes de zinc se deben incorporar en el suelo manualmente, porque su incorporación en los gránulos de fertilizantes disminuye su solubilidad (26), excepto cuando se mezcla con polifosfatos de amonio.

## Literatura Citada

1. Abruña, F., R. Perez-Escolar, J. Vicente-Chandler, J. Figarella y S. Silva. 1974. Response of green beans to acidity factors in six tropical soils. *J. Agr. Univ. Puerto Rico* 58: 44-58.
2. Almeida, L.D. de. 1972. Efeitos da época de incorporação ao solo, de restos vegetais de soja comum (*Glycine max* (L.) Merrill), sobre a produção de feijoeiro. *Bragantia* 31: 17-40.
3. Ambler, J.E. y J.C. Brown. 1969. Cause of differential susceptibility to zinc deficiency in two varieties of navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agron. J.* 61: 41-43.
4. Anderson, G.D. 1974. Bean responses to fertilizers on Mt. Kilimanjaro in relation to soil and climatic conditions. *East African Agr. For. J.* 39: 272-288.
5. Batista, C.M., W. Brune y J.M. Braga. 1975. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): V - absorção de micronutrientes. *Experimentiae* 19: 33-57.
6. Bergen, K.C. 1949. Boron in soils and crops. *Adv. Agron.* 1: 321-351.
7. Berríos, L. y E.L. Bergman. 1968. La influencia de magnesio en el análisis foliar, rendimiento y calidad de habichuelas tiernas (*Phaseolus vulgaris* L.). *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. (Región del Caribe)* 11: 151-158.
8. Biddulph, O., S. Biddulph, R. Cory y H. Koontz. 1958. Circulation patterns for phosphorus, sulfur and calcium in the bean plant. *Plant Physiol.* 33: 293-300.
9. Biddulph, O., R. Cory y S. Biddulph. 1959. Translocation of calcium in the bean plant. *Plant Physiol.* 34: 512-519.
10. Blasco, M. y A.M. Pinchinat. 1972. Absorción y distribución de nutrientes en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). IICA-CATIE - Turrialba, Costa Rica, XVIII Reunión Anual del PCCMCA, Managua, Nicaragua.
11. Braga, J.M., B.V. de Felipo, C. Vieira y L.A.N. Fontes. 1973. Vintes ensaios de adubação N-P-K da cultura do feijão na zona de Mata, Minas Gerais. *Rev. Ceres* 20: 370-380.
12. Bukovac, M.J., F.C. Teubner y S.H. Wittwer. 1960. Absorption and mobility of Magnesium<sup>28</sup> in the bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 75: 429-434.
13. Carvajal, J.F. 1974. El contenido de nitrógeno soluble en la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) como guía de la fertilización nitrogenada. *Turrialba* 24: 205-213.
14. CIAT. 1972. Sistemas de Producción de Frijol. *En, Informe Anual 1971*, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
15. CIAT. 1973. Sistemas de Producción de Frijol. *En, Informe Anual 1972*, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

16. CIAT. 1974. Sistemas de Producción de Frijol. *En, Informe Anual 1973*, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
17. CIAT. 1975. Sistemas de Producción de Frijol. *En, Informe Anual 1974*, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
18. CIAT. 1976. Sistemas de Producción de Frijol. *En, Informe Anual 1975*, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
19. CIAT. 1977. Sistemas de Producción de Frijol. *En, Informe Anual 1976*, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
20. Colmenares, J. y M. Blasco. 1974. Effects of different salts added to a soil on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production. *Turrialba* 24: 38-46.
21. Delgado, E. 1971. El nivel crítico del fósforo en el frijol. Tesis, Univ. Costa Rica.
22. Del Valle, R. 1974. Efecto de siete niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada sobre el rendimiento del frijol, bajo las condiciones del Jalpatagua. XX Reunión Anual del PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras.
23. Dubreiner, J. 1966. Manganese toxicity effects on nodulation and nitrogen fixation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in acid soils. *Plant Soil* 24: 153-166.
24. Edge, O.T., L.K. Mughogho y U.W.U. Ayonoadu. 1975. Responses of dry beans to varying nitrogen levels. *Agron. J.* 67: 251-254.
25. Eira, P.A. da, G.G. Pessanha, D.P.P. S. Britto y A.R. Carvajal. 1973. Comparação de esquemas experimentais em experimentos de adubação mineral de nitrogênio e fósforo na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pesqui. Agropec. Bras. Ser. Agron.* 8: 121-125.
26. Ellis, B.G., J.F. Davis y W.H. Judy. 1965. Effect of method of incorporation of zinc in fertilizer on zinc uptake and yield of pea beans (*Phaseolus vulgaris*). *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: 635-636.
27. Fitts, J.B., N. Gammon Jr. y R.B. Forbes. 1967. Relative availability to plants of manganese from several sources. *Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc.* 27: 243-251.
28. Fleming, J.W. 1956. Factors influencing the mineral content of snap beans, cabbage and sweet potatoes. *Arkansas Agr. Exp. Sta. Bull.* 575.
29. Fox, R.H. 1968. Tolerancia de las plantas de maíz, algodón, alfalfa, y frijol a concentraciones altas de boro soluble en agua en los suelos de la Costa Sur del Perú. *An. Cient. (La Molina, Peru)* 6: 185-197.
30. Foy, C.D., W.H. Armiger, A.L. Fleming y W.J. Zaunmeyer. 1967. Differential tolerance of dry bean, snap bean and lima bean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. *Agron. J.* 59: 561-563.
31. Foy, C.D., A.L. Fleming y G.C. Gerloff. 1972. Differential aluminum tolerance in two snap bean varieties. *Agron. J.* 64: 815-818.
32. Geopfert, C.F., J.R. Jardim y C. Vidor. 1974. Nutrição da cultura da soja. *Bol. Tec., Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.*

33. Graham, P.H. y J. Halliday. 1977. Inoculation and nitrogen fixation in the genus *Phaseolus*. En, Exploiting the legume *Rhizobium* symbiosis in tropical agriculture. J.M. Vicent (ed.), Hawaii Agr. Exp. Sta. Misc. Publ. 145, pp. 313-334.
34. Graham, P.H. y J.C. Rosas. 1977. Growth and development of indeterminate bush and climbing cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. inoculated with *Rhizobium*. J. Agr. Sci. 88:503-508.
35. Guazelli, R.J., J.F. Mendes, G.R. Bauwin y S.F. Miller. 1973. Efeitos agronômicos e econômicos do calcário, nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes nos rendimentos de soja, feijão e arroz em Uberaba, Minas Gerais. Pesqui. Agrop. Brasileira Ser. Agron. 8: 29-37.
36. Guedez, A.H. 1960. Respuesta relativa de la soya y el frijol a aplicación de nutrientes en un suelo de la serie "Valle" bajo condiciones de invernadero. Acta Agron. (Palmira, Colombia) 10:305-329.
37. Heinonen, S. y H. Warris. 1956. The uptake of iron as ferric sequestrene by *Vicia fabae* and *Phaseolus vulgaris*. Physiol. Plant 9: 618-623.
38. Howeler, R.H., C. Flor y C. González. 1978. Diagnosis and correction of B deficiency in beans and mung beans in a Molisol from the Cauca Valley of Colombia. Agron. J. 70:493-497.
39. Jyung, W.H., K.K. Schlender y J. Scale. 1975. Zinc nutrition and starch metabolism in *Phaseolus vulgaris* L. Plant Physiol. 55: 414-420.
40. Knezek, B.D. y H. Greinert. 1971. Influence of soil Fe and Mn/EDTA interactions upon the Fe and Mn nutrition of bean plants. Agron. J. 63: 617-619.
41. Koontz, H.V. y R.E. Foote. 1966. Transpiration and calcium deposition by unifoliate leaves of *Phaseolus vulgaris* differing in maturity. Physiol. Plant 19: 313-321.
42. Lessman, G.M. 1967. Zinc-phosphorus interactions in *Phaseolus vulgaris*. Ph.D. Dissert., Michigan State Univ., East Lansing, Mich., 71 p.
43. Lucas, R.E. y B.C. Knezek. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. En, Micronutrients in Agriculture, pp. 265-288. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin.
44. MacKay, D.C. y J.S. Leefe. 1962. Optimum leaf levels of nitrogen, phosphorus and potassium in sweet corn and snap beans. Canadian J. Plant Sci. 42: 238-246.
45. Malavolta, E. 1972. Nutrição e adubação. En, Anais do Simpósio Brasileiro de Feijão. Campinas 1971, Univ. Fed. Viçosa, Viçosa (Minas Gerais), Brasil.
46. Martini, J.A. y A.M. Pinchinat. 1967. Ensayos de abonamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el invernadero con tres suelos de áreas frijoleras de Costa Rica. Turrialba 17: 411-418.
47. Mascarenhas, H.A.A., S. Miyasaka, T. Igue, A. de A. Veiga y S. Alves. 1966. Influências das formas de fertilizantes nitrogenados e suas épocas de aplicação na cultura de feijoeiro. Bragantia 25: 61-63.
48. Mascarenhas, H.A.A., S. Miyasaka y L.A.C. Lovadini. 1967. Efeito da adubação verde do feijoeiro "da seca" com *Crotalaria juncea* L. empregando-se toda vegetação ou retirando-se do campo as hastes despojadas de suas folhas. Bragantia 26: 219-234.
49. Miyasaka, S., E.S. Freire, S. Alves y T.R. Rocha. 1966. Adubação mineral do feijoeiro. III. Efeitos de NPK da calagem e de uma mistura de enxofre e micronutrientes em solo massapé-salmourão. Bragantia 25: 179-188.
50. Miyasaka, S., E.S. Freire, T. Igue, J. Teofilo Sobrinho y L.D.A. de Almeida. 1967. Repostas do feijoeiro a aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta na presença de adubações minerais com P, PK, NP ou NPK. Bragantia 26: 335-344.
51. Miyasaka, S., E.S. Freire, H.A.A. Mascarenhas, T. Igue y S.B. Paranhos. 1967. Adubação mineral do feijoeiro. X. Efeitos de N, PK, S e de uma mistura de micronutrientes, em terra-roxa-legítima e terra-roxa-misturada. Bragantia 26: 286-301.
52. Miyasaka, S., E.S. Freire, H.A.A. Mascarenhas, C. Nery, M. Campana y G. de Sordi. 1966. Efeito da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sobre a produção do feijoeiro "da seca", em terra-roxa-misturada. Bragantia 25: 277-290.
53. Pauli, A.W., R. Ellis Jr. y H.C. Moser. 1968. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. Agron. J. 60: 394-396.
54. Polson, D.E. y M.W. Adams. 1970. Differential response of navy beans (*Phaseolus vulgaris*) to zinc. I. Differential growth and elemental composition at excessive Zn levels. Agron. J. 62: 557-560.
55. Pontes, L.A.N., L.J. Braga y F.R. Gomez. 1973. Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a aplicação de calcário, adubo nitrogenado e fosfatado, em municípios da zona da Mata, Minas Gerais. Rev. Ceres 20: 313-325.
56. Ramírez, S.F. 1969. Síntomas de deficiência de minerales en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y sus relaciones nutritivas específicas. Tesis de Grado, Fac. Agron., Univ. Costa Rica, San José.
57. Saman, Y.S. 1963. Effect of methods of phosphate and lime placement on dry matter content and yield of dry bean, *Phaseolus vulgaris*. Ph. D. Dissert., Cornell Univ., Ithaca, N.Y., 145 p.
58. Spurling, A.T. 1973. Field trials with Canadian Wonder beans in Malawi. Exp. Agr. 9: 97-105.
59. Stephens, D. 1969. The effects of fertilizers, manure and trace elements in continuous cropping rotations in Southern and Western Uganda. East African Agr. For. J. 34: 401-417.
60. Stewart, B.A. y L.K. Porter. 1969. Nitrogen-sulfur relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays* L.), and beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Agron. J. 61: 267-271.

## Capítulo 19

61. Stolberg, A.G. zu. 1977. Einfluss der N/P Düngung auf Ertrag und Protein von Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris* L.) auf verschiedenen Standorten in Kolumbien. Ph.D. Dissert., Justus-Liebig Univ., Giessen, Alemania.
62. Townsend, S.R. 1939. Diseases of beans in Southern Florida. Florida Agr. Exp. Sta. Bull. No. 336.
63. Wallace, A., R.T. Mueller, J.W. Cha y G.V. Alexander. 1974. Soil pH, excess lime and chelating agent on micronutrients in soybeans and bush beans. Agron. J. 66: 698-700.
64. Walsh, T. y J.D. Golden. 1952. The boron status of Irish soils in relation to occurrence of boron deficiency in some crops in acid and alkaline soils. Int. Cong. Soil. Sci. Trans. 5th. Comm. IV. Leopoldville, Bel. Congo Zaire II: 167-171.