

EFFECTO DE LA FERTILIZACION CON CALCIO, FOSFORO Y MOLIBDENO
EN LA FIJACION DE NITROGENO Y RENDIMIENTO EN EL FRIJOL-

COMUN

MICROCISIS:	1583
FECHA:	7/II/91
ENCARGADO:	VAREGAS.

Por

EDUARDO A. ROBLETO O.

Tesis presentada
como requisito previo a la
obtencion del titulo
de Ingeniero Agrónomo

ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

Abril - 1988

EFFECTO DE LA FERTILIZACION CON CALCIO, FOSFORO Y MOLIBDENO
EN LA FIJACION DE NITROGENO Y RENDIMIENTO EN EL FRIJOL
COMUN

Por

Eduardo A. Robieto O.

El autor concede a la Escuela Agricola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para los usos que considere necesario. Para otras personas y otros fines, se reservan los derechos de autor.



Eduardo A. Robieto O.

Abril 1988

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis especialmente a mi madre, persona que tiene toda mi admiración y que ha sabido apoyarme durante el transcurso de mis estudios. A mi padre y hermanos que son parte integral mía. A mis abuelos y tíos que han sido parte importante en la formación de mi carácter y que me brindaron aliento en los momentos difíciles. Finalmente quiero dedicar este trabajo a la familia Avila por haberme brindado su afecto durante este período.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial al Dr. Juan Carlos Rosas, al Dr. Silvio Zuluaga y al Dr. Raúl Santillán que muy gentilmente aceptaron ser parte de mi Comité Académico, ya que sin su guía hubiera sido más difícil el haberme graduado. Quiero agradecer también a mis muy buenos amigos Javier Montemayor, Jaime Guerrero, Reynaldo Sánchez, Oscar Sarmiento, Modesto Vindel, y Marco Castro por haberme brindado su agradable plática en las horas de aburrimiento. A Evelyn Oviedo, Oswaldo Varela, y Alejandro Palma que me ayudaron con el trabajo de campo. A Raúl Espinal por haberme prestado la computadora muchas veces, a Elsi Sorto por haberme ayudado a meter muchos datos y a Rafael Caballero por haberme ayudado a pasar esta tesis.

BIBLIOTECA WILSON POPENOE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
APARTADO 93
TEGUCIGALPA HONDURAS

INDICE

	Pag.
Título.....	i
Aprobación.....	ii
Derechos de Autor.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Indice.....	vi
I Introducción.....	1
II Revisión de Literatura.....	5
III Materiales y Métodos.....	14
IV Resultados.....	27
V Discusión.....	40
VI Conclusiones.....	45
VII Resumen.....	46
VIII Literatura Citada	48

I. INTRODUCCION

El cultivo del frijol común (Phaseolus vulgaris L.) es de mucha importancia en Centroamérica . Es un componente básico de la dieta diaria de los habitantes de esta región, con un consumo percapita anual es 14.6 kg, y una fuente importante de proteínas, ya que el grano posee entre 18 y 24% de proteína (FAO, 1978). En Honduras, el frijol es cultivado mayormente por pequeños agricultores; el 70% de la producción de frijol proviene de fincas de 3 ha o menos, y el cultivo ocupa una extensión total aproximada de 100,000 ha de tierra cultivable. A pesar de esto Honduras sigue siendo importador de frijol para poder abastecer su demanda interna (Adams, 1984).

El rendimiento promedio de frijol en Honduras es del orden de 533 kg/ha considerado bajo en relación al potencial de rendimiento observado en este cultivo (Adams, 1974). Esto es debido a que la mayoría de productores de frijol en Honduras, al igual que en otras áreas centroamericanas, son de escasos recursos y el cultivo se desarrolla mayormente bajo condiciones de suelos marginales y con fertilidad limitada, bajo contenido de nitrógeno, fósforo, y ciertos micronutrientes (Graham, 1981; Rosas y Bliss, 1986). Además, existen otros factores limitantes del rendimiento del frijol como plagas, enfermedades,

insuficiente precipitación, la falta de variedades de alto rendimiento bajo estas condiciones limitantes, y falta de calidad de grano aceptable (Adams, 1984).

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) puede ser importante en estas regiones ya que presenta la ventaja de proveer el nitrógeno requerido para un mejor crecimiento de las plantas, reduciendo así las inversiones de fertilizantes nitrogenados (Graham y Rosas, 1979). En la mayoría de los casos, cuando se utiliza fertilización con nitrógeno en condiciones tropicales, donde la eficiencia de su utilización es inferior al 50% (Sánchez, 1981; Henson y Bliss, no publ.). El nitrógeno proveniente del suelo mas aquel proporcionado en fertilizante, y aún cuando esta fuente se proporciona en cantidades óptimas, solo llegan a contribuir los requerimientos de las plantas de frijol suficiente para una producción frecuentemente por debajo del 50% de un rendimiento considerado comercialmente aceptable (Rosas et al., 1986). La fijación de nitrógeno, a través de una cepa altamente efectiva, en combinación con variedades de un alto potencial de rendimiento, y prácticas culturales favorables, puede ofrecer una alternativa para que los pequeños agricultores afronten situaciones que limitan el uso de fertilizantes nitrogenados, como son su alto precio y la falta de disponibilidad de ellos en lugares accesibles a los agricultores.

La simbiosis leguminosa-Rhizobium en el trópico es afectada por factores como los niveles nutricionales, acidez, y humedad del suelo (Graham y Hubbell, 1973). Para el caso del frijol existen indicaciones que la baja disponibilidad de calcio, fósforo, molibdeno y otros minerales reducen la FBN. La simbiosis no será efectiva ni aumentará los rendimientos de grano sino se tiene los nutrimentos necesarios y en forma disponible (Franco, 1977). El calcio es muy importante en la etapa de infección del pelo radical que se efectúa por medio de enzimas con ciertos requerimientos de pH para su mejor actividad (Gibson, 1976). El fósforo, reportado como uno de los elementos más limitantes en los trópicos para la FBN, forma parte esencial en los compuestos energéticos que se utilizan para un buen crecimiento de los nódulos y una buena actividad fijadora, requiriéndose niveles más altos de fósforo en plantas de frijol que están en simbiosis con Rhizobium (Graham, 1981). Una vez que los requerimientos de los elementos mayores han sido satisfechos los micronutrimentos pueden ser igualmente limitantes. Dentro de éstos el molibdeno es de suma importancia ya que es componente básico del sistema enzimático que reduce el nitrógeno atmosférico (Franco, 1979; Bowen y Kratky, 1982).

En este trabajo se reportan los resultados de dos experimentos de campo conducidos en la Escuela Agrícola Panamericana para estudiar los efectos de la fertilización

con calcio, fósforo, y molibdeno, en la nodulación y fijación de nitrógeno, y en el rendimiento de grano de frijol.

II. REVISION DE LITERATURA

Respuesta a calcio y pH

Es bien sabido que el calcio es uno de los elementos que cumple papeles específicos en la planta (Gibson, 1976), el rizobio, y la simbiosis (Graham y Hubbell, 1973). El calcio juega un papel importante en mantener las funciones de la membrana celular y está asociado a la estructura de ésta (Vincent, 1982); así mismo, junto con el magnesio son determinantes en la economía hídrica de la planta (Fassbender, 1967). Sin el calcio adecuado, independientemente del pH del suelo, los nódulos no se forman y los que se llegan a formar tienen una baja tasa de actividad fijadora (Norris, 1967); resultando efectos positivos al eliminarse la deficiencia de éste en la FBN (Fassbender, 1967). También modera los efectos tóxicos de manganeso y aluminio, reduce los efectos negativos del nitrógeno en la nodulación, y aumenta la disponibilidad de fósforo, magnesio y molibdeno, cuando es usado para enmendar el pH del suelo (Graham, 1981).

Los niveles de calcio necesarios para satisfacer los requerimientos del frijol y la bacteria Rhizobium son aproximadamente de 100-200 kg/ha (Munns, 1977). No obstante, los requerimientos de la simbiosis son bastante altos ya que se necesita un rango de pH óptimo de 5.5 a 6.7

(Graham, 1981), y el rango de cantidades de cal para obtener un pH adecuado en los trópicos fluctúa entre 1000 y 5000 kg/ha (Munns, 1977; Franco y Day, 1980).

En la mayoría de experimentos en los trópicos que incluyen niveles de calcio se ha encontrado que el encalamiento, en ciertas circunstancias, está correlacionado positivamente con nodulación y rendimiento (Norris, 1967; Iwaran et al., 1970; Franco, 1977). Además de afectar los parámetros de FBN, la acidez puede actuar indirectamente sobre estos reduciendo el crecimiento radical (Iwaran et al., 1970). Gibson (1976), sugiere que las cantidades de calcio necesarias para obtener una nodulación adecuada dependen de los requerimientos de pH de las enzimas que actúan en el proceso infectivo, penetrando las paredes celulares del pelo radical. Iwaran et al. (1970), respecto a esto establecieron que si no se tiene un nivel adecuado de acidez hay inhibición de la actividad de las pectinasas. Una vez pasado el proceso infectivo, el desarrollo de los nódulos y la actividad de éstos pueden ocurrir satisfactoriamente a una unidad de pH inferior a la requerida en la etapa de infección (Gibson, 1976; Franco, 1977; Graham, 1981).

Una manera de reducir las cantidades de calcio, y que en algunos casos ha resultado una tecnología bastante aceptada, es la de pelletizar la semilla inoculada con carbonato de calcio (Norris, 1967; Graham y Hubbell, 1973);

de esta manera la bacteria, sensitiva a la acidez de algunos fertilizantes fosfatados, queda protegida, con mayor persistencia en el suelo, y con el calcio necesario para subir el pH al grado requerido por las enzimas que disuelven el pelo radical (Munns, 1977; Freire, 1982; Graham y Chatel, 1983).

El encalamiento y las aplicaciones de calcio han sido cuestionados ya que las leguminosas tropicales, entre ellas el frijol, y las cepas con que nodulan han presentado una respuesta muy variable a esta práctica (Graham y Chatel, 1983; Fotch y Hernández, 1985). Esto probablemente es debido a que estas leguminosas evolucionaron en estos medios ácidos y de alto aluminio intercambiable junto con las correspondientes cepas noduladoras (Munns, 1977). Las leguminosas tropicales son más eficientes en la extracción de calcio del suelo que las de clima templado (Norris, 1967; Iwaran et al., 1970; Graham y Hubbell, 1973; Freire, 1982). Las cepas de los trópicos probablemente sean más tolerantes a condiciones ácidas debido a que requieren más magnesio que calcio, lo cual las hace menos sensitivas a la toxicidad de manganeso (Munns, 1977; Graham, 1981).

Para el caso del frijol se han obtenido buenos crecimientos a niveles de pH de 4.7-5.0 (Graham, 1981), especialmente en las variedades de grano de color negro. Se ha reportado que el pH limitante para algunas cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli en cultivo líquido

está entre 4.0-4.4 (Freire, 1982). Hay incluso respuestas negativas al encalamiento, que se han manifestado en forma de deficiencias de boro, zinc, hierro, y poca nodulación debido a que se reduce la capacidad competitiva de las cepas inoculadas, cuando se tiene un pH por encima del óptimo (Gibson, 1976; Graham y Chatel, 1983). En relación a esto Abruna et al. (citado por Freire, 1982), sugieren que debe existir una proporción de 225:1 de calcio:manganeso en los nódulos, y al tener un pH alto el manganeso se hace menos disponible.

La ventaja de la discusión anterior deriva en que se podrían seleccionar cultivares y cepas para frijol que sin encalamiento o con niveles moderados de cal, bajo condiciones moderadamente ácidas en los trópicos, nodulen, fijen, y den rendimientos aceptables; lo cual sería de mucho atractivo para los sistemas de producción de bajos insumos (Graham y Chatel, 1983).

Respuesta a fósforo

El fósforo en las leguminosas, además de ser un componente de proteínas, nucleótidos y fosfátidos, es necesario para la síntesis de estos, el crecimiento radical, el proceso de floración y la formación de la fruta (Passbender, 1967; Munna, 1977). El fósforo está reportado como el factor nutricional más limitante de la FBN en las regiones productoras de frijol en los trópicos (Graham,

1981). Bajos niveles de fósforo traen como consecuencia, además de reducción en el crecimiento del huésped, baja formación y alta senescencia de nódulos, y reducción en la actividad fijadora de la nitrogenasa, debido a la baja traslocación de carbohidratos hacia los nódulos (Gibson, 1976; Graham y Rosas, 1979; Graham, 1981). Las leguminosas que dependen de la simbiosis, además de tener un crecimiento radical y una distribución de materia seca diferente (Cassman et al., 1980), son dependientes en mayor grado de los procesos de transferencia de energía y requieren niveles de fósforo más altos que aquellas a las que se les suple con fertilizantes nitrogenados (Graham y Rosas, 1979; Graham, 1981; Fotch y Hernández, 1985).

La respuesta a la fertilización fosfatada en la FBN y rendimiento está positivamente documentada (Fotch y Hernández, 1985). Sin embargo, hay indicaciones de que incrementos en FBN no necesariamente se traducen en aumentos de rendimiento de grano y que esto puede ser debido a que la respuesta en nodulación y fijación sea demasiado tardía en ciertas condiciones (Wynne et al., 1987); o a que el material usado es de bajo potencial de rendimiento (Lazú, 1987).

Por otro lado, también hay reportes de aumentos en rendimiento que no se deben al aumento de los parámetros de FBN, sino a que al haber más fósforo hay un incremento del sistema radical que permite mayor absorción de nutrimentos

(Munns, 1977; Freire, 1982). En relación a lo anterior, existen varios reportes citados por Jones et al. (1977), de que la fertilización fosfatada en soya (Glycine max) no incrementa la nodulación y la fijación en etapas tempranas de crecimiento, y que en algunos casos hay respuesta negativa a los incrementos en las fertilizaciones de fósforo en suelos arenosos bajo aplicaciones de 0 y 666 kg/ha de fósforo. También se menciona que no hay respuesta a fósforo si éste no es acompañado de encalamiento que lo haga disponible. Respecto a esto Hernández y Potch (1985), reportaron que con adiciones de 1,000 kg/ha de carbonato de calcio y 66 kg/ha de fósforo se obtuvieron los mismos resultados en nodulación y rendimiento que con tratamientos de 266 kg/ha de fósforo sin calcio en guandú (Cajanus cajan).

Graham y Rosas (1979), demostraron que la fertilización fosfatada está altamente correlacionada a las variables de FBN, crecimiento, contenido de fósforo y nitrógeno en las diversas partes de la planta, y rendimiento de grano de frijol común. También concluyeron que los nódulos almacenan grandes cantidades de fósforo y no obtuvieron límites en la respuesta en FBN a la fertilización fosfatada incluso a niveles hasta de 315 kg/ha de fósforo. Esta respuesta progresiva fue confirmada por Boucher et al. (1986) y Pereira (1987).

Según Graham (1981), altos niveles de FBN y rendimientos serán obtenidos cuando se apliquen altos niveles de fósforo, calcio y potasio, ya que es difícil encontrar un material de frijol que tenga buenos niveles de nodulación y fijación de nitrógeno atmosférico a bajos contenidos de fósforo en el suelo (Graham y Rosas, 1979). No obstante, la asociación de las plantas de frijol con hongos micorrizas podría ser un componente atractivo de los sistemas de producción de bajos insumos, ya que a través de esta asociación, el frijol se puede procurar del fósforo necesario para la planta y las actividades de fijación. Dichas asociaciones incrementan el número de nódulos y el peso fresco de los nódulos (Freire, 1982; Valdés, 1986).

Respuesta a Molibdeno

El molibdeno es un componente básico de las enzimas que intervienen en la reducción de nitratos. Plantas que no están en simbiosis pueden presentar también deficiencias de nitrógeno cuando hay deficiencias de molibdeno (Franco, 1979; Vincent, 1982). También es un componente de la enzima nitrogenasa, que es la encargada de fijar el nitrógeno de la atmósfera (Vincent, 1982). El molibdeno ha sido reportado como un micronutriente que puede limitar seriamente el crecimiento y la fijación del frijol común, debido a su baja disponibilidad en los suelos ácidos

tropicales (Graham y Hubbell, 1973; Franco, 1977; Franco y Day, 1980; Bowen y Kratky, 1982). Las plantas leguminosas que están en simbiosis y con deficiencias de molibdeno presentan, además de deficiencias de nitrógeno, nódulos pequeños, algunas veces con un número anormalmente grande y falta de actividad de los mismos (Munns, 1977). Las plantas que son suplidas con niveles de molibdeno adecuado producen menos nódulos, pero estos tienen una mayor eficiencia al fijar nitrógeno (Franco, 1979).

Las respuestas en FBN debidas a molibdeno se han obtenido de diversas maneras; tratamientos a la semilla, tratamientos al suelo y aplicaciones foliares (Freire, 1982). Los niveles adecuados de molibdeno varían de 100-200 g/ha (Munns, 1977) hasta 1000-2000 g/ha (Franco y Day, 1980). Esta respuesta también tiene algunas limitaciones y no siempre se manifiesta positivamente; los requerimientos de los elementos mayores deben estar satisfechos para permitir que la respuesta a molibdeno se exprese en los variables de FBN (Franco, 1979; Freire, 1982). El pH es determinante en la respuesta a molibdeno ya que se requiere un rango de 5.0-5.8, o las enmiendas de cal que permitan eliminar la toxicidad de aluminio y manganeso (Franco, 1979; Freire, 1982). Suelos con pH por encima del rango anterior, o niveles de cal que suban el pH por encima de 6.0, ponen disponible el molibdeno para ser tomado por las raíces del frijol (Franco y Day, 1980). La fuente de

molibdeno es de mucha importancia, sobre todo si se va a peletizar las semillas con molibdeno e inoculante. Productos como molibdato de sodio, no deben ser puestos en contacto con la bacteria porque bajan la población de la cepa inoculada reduciendo su competitividad y la nodulación (Graham y Morales, 1974; Graham y Chatel, 1983). Por otra parte molibdato de amonio o ácido molibídico probaron ser buenas fuentes de molibdeno (Franco y Day, 1980).

III. MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en las Terrazas del Departamento de Agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), situada en el Valle del Río Yeguaré, 14°00' latitud norte y 87°02' longitud oeste, a una altitud de 800 msnm, y temperatura promedio de 22°C; durante las épocas de siembra de primera (Experimento 1) y postrera (Experimento 2) de 1987.

El material experimental de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) usado en los experimentos fue la línea UW 22-34. Esta línea proviene de la Universidad de Wisconsin, y actualmente está siendo usada en programas de mejoramiento de la EAP por sus buenas características de FBN. Las plantas de UW 22-34 poseen un hábito de crecimiento tipo 2, indeterminado-arbustivo, y su color de grano es negro.

El Experimento 1 fue sembrado el 30 de Junio de 1987 y cosechado el 11 de Septiembre, correspondiente a la época de primera, en la Terraza 7 de Agronomía. Durante este período de crecimiento se registraron 310 mm de precipitación. En el Cuadro 1 se muestran los detalles del análisis de suelo respectivo.

Cuadro 1. Resultados de los análisis de suelo de la Terraza 7 de Agroecología. Experimento 1. El Zamorano, Honduras, 1987.

Textura	Franco arenosa
pH	6.2
Materia orgánica (%)	1.62
Nitrógeno (%)	0.13
Fósforo (ppm)	14.0
Potasio (ppm)	289
Calcio (ppm)	1000
Magnesio (ppm)	115
Azufre (ppm)	3.13
Hierro (ppm)	122.0
Cobre (ppm)	3.0
Manganeso (ppm)	16.0
Zinc (ppm)	2.0
Boro (ppm)	0.2

Los tratamientos considerados en este experimento fueron nueve en total; tres niveles de fósforo, 0, 150, y 300 kg/ha de P_2O_5 aplicados en forma de superfosfato triple (0-46-0) y tres niveles de molibdato de sodio (Na_2MoO_4), 0, 0.5, y 1 kg/ha, aplicados en forma de solución en agua (Cuadro 2). Los tratamientos fueron aplicados inmediatamente antes de la siembra. Las parcelas con 0, 150, y 300 kg/ha de fósforo, recibieron 0, 117, y 234 g/surco de superfosfato triple, aplicados al fondo del surco, respectivamente. Las parcelas con 0, 0.5, y 1 kg/ha de molibdato de sodio (molibdeno), recibieron el equivalente a 0, 0.18, y 0.36 g/surco de este producto, respectivamente, disueltos en 200 ml de agua; dichas soluciones fueron aplicadas al fondo del surco. Todas las parcelas fueron inoculadas con inoculante granulado, aplicado a chorro corrido y al fondo del surco, producido con una mezcla de cepas (127k12b y 127k80c) de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli por Nitragin Co., Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos de Norteamérica.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con un arreglo de dos factores con tres niveles cada uno, distribuidos en bloques al azar en cuatro repeticiones. La parcela principal estaba constituida por los niveles de fósforo y la subparcela por los niveles de molibdeno. El tamaño de la parcela fue de 14.4 m, conformada por cuatro surcos distanciados a 60 cm con una

Cuadro 2. Relación de tratamientos incluidos en el Experimento 1. El Zamorano, Honduras, 1987.

Tratamiento número	Fósforo (kg/ha P_2O_5)	Moibdeno (kg/ha de Na_2MoO_4)
1	0	0.0
2	0	0.5
3	0	1.0
4	150	0.0
5	150	0.5
6	150	1.0
7	300	0.0
8	300	0.5
9	300	1.0

longitud de 6 m. La parcela útil fue de 5 m de largo por 1.2 m (dos surcos) de ancho. La siembra fue realizada en posturas de dos semillas distanciadas a 10 cm, con el fin de asegurar una población uniforme. A los 16 días después de la siembra (DDS), se procedió a un raleo dejando una planta por postura y una población equivalente a 166,666 plantas por hectárea.

Las observaciones realizadas incluyeron el registro de las etapas fenológicas de germinación, floración, y madurez fisiológica, reportados como DDS. Los días a emergencia se registraron cuando 50% de las semillas habían germinado en la parcela. Los días a floración fueron registrados cuando 50% de las plantas en la parcela tenían por lo menos una flor abierta. Los días a madurez fisiológica se tomaron cuando 90% de las vainas estaban secas (CIAT, 1982).

Los efectos de los tratamientos en la nodulación se determinaron midiendo los variables de número de nódulos y peso seco de nódulos, en muestras obtenidas en las etapas de desarrollo V4 (plantas con cuatro nudos vegetativos en el tallo principal) y R6 (50% de las plantas con por lo menos una flor abierta). Las muestra para medir las variables de FBN se obtuvieron excavando y extrayendo el sistema radicular de ocho plantas en cada unidad experimental. Se determinó el número de nódulos después de lavar las raíces y de secarlas al medio ambiente. El peso seco de los nódulos se midió después de haber secado los

nódulos a 70°C por 48 horas. También se estimaron los pesos secos de la parte aérea (follaje) y de raíces, después de haber secado las muestras respectivas a 70°C por 72 horas.

Los datos de rendimiento por parcela y de componentes de rendimiento (número de vainas/planta, número de semillas/vaina y peso seco de 100 semillas) fueron determinados en muestras tomadas a la madurez fisiológica. El rendimiento de semilla por parcela fue medido en g/parcela útil y luego ajustados a kg/ha al 14% de humedad. Los componentes de rendimiento fueron determinados en muestras de 20 plantas por parcela.

Durante el cultivo se efectuaron las prácticas culturales y los controles fitosanitarios necesarios. Tres semanas antes de la siembra se aplicó 1000 kg/ha de carbonato de calcio al voleo e incorporado con rastra. Las deshierbas manuales con azadón se ejecutaron hasta que el cultivo alcanzó la cobertura necesaria. Durante el cultivo se presentaron algunos problemas con insectos chupadores de la familia Cicadellidae principalmente Empoasca kraemeri, y algunos coleópteros de la familia Chrysomelidae, entre ellos Diabrotica spp. y Cerotoma spp.; estos se controlaron con los productos Lannate (methomyl) y MTD-600 (metamidofos). También se registraron ataques leves de bacteriosis (Xantomonas phaseoli) que se combatió con Kocide 101 (hidróxido cúprico). Se presentaron algunas plantas con síntomas de virus las que se eliminaron de

inmediato. Una vez alcanzada la madurez fisiológica se hizo una aplicación de Gramoxone (paraquat) para defoliar las plantas y tener menos dificultades en la cosecha. El Cuadro 3 presenta los detalles de fechas, dosis, y productos utilizados en el combate de insectos y enfermedades.

El Experimento 2, se llevó a cabo en la Terraza 9 del Departamento de Agronomía de la EAP. Se sembró el 25 de Septiembre y se cosechó el 15 de Diciembre, en el período correspondiente a la época de postrera de 1987. En este período de crecimiento se registraron tan solo 69 mm de precipitación; debido a esto se realizaron 3 riegos, distribuidos en el período comprendido entre el 17 de Octubre y el 13 de Noviembre con intervalos de dos semanas, para dar un equivalente de 130 mm de agua, utilizando un equipo de riego por aspersión. En el Cuadro 4 se presenta el análisis de suelo respectivo.

El Experimento 2 tuvo algunas variaciones con respecto al Experimento 1. Consistió de 18 tratamientos, combinándose dos niveles de calcio, 0 y 1000 kg/ha de carbonato de calcio, con los tres niveles de fósforo y tres niveles de molibdato de sodio usados en el Experimento 1 (Cuadro 5). Los diferentes niveles de fertilizantes fueron aplicados a la siembra, con excepción del calcio que se incorporó tres semanas antes de la siembra.

Cuadro 3. Detalles de los controles fitosanitarios realizados durante el Experimento 1. El Zamorano, Honduras, 1987.

Fecha	Producto	Dosis	Control
8-6-87	MTD-600	1.5 l/ha	Chupadores*
	Benlate	0.5 kg/ha	Preventivo
17-6-87	MTD-600	1.5 l/ha	Chupadores
	Benlate	0.5 kg/ha	Preventivo
31-6-87	Lannate	0.25 kg/ha	Coleópteros*
			Chupadores
	Benlate	0.5 kg/ha	Preventivo
9-7-87	MTD-600	1.5 l/ha	Chupadores
	Benlate	0.5 kg/ha	Preventivo
20-7-87	Kocide-101	1.75 kg/ha	Bacteriosis

**Empoasca kraussi*: Familia *Chrysomelidae*.

Cuadro 4. Resultados del análisis de suelos de la Terraza 9 de Agronomía, Experimento 2, El Zamorano, Honduras, 1987.

Textura	Franco arenoso
pH	5.4
Materia orgánica(%)	2.4
Nitrógeno (%)	0.15
Fósforo (ppm)	22.0
Potasio (ppm)	102

Cuadro 5. Relación de tratamientos incluidos en el Experimento 2. El Zamorano, Honduras, 1987.

Tratamiento número	Calcio (kg/ha CaCO ₃)	Fósforo (kg/ha P ₂ O ₅)	Molibdeno (kg/ha Na ₂ MoO ₄)
1	0	0	0.0
2	0	0	0.5
3	0	0	1.0
4	0	150	0.0
5	0	150	0.5
6	0	150	1.0
7	0	300	0.0
8	0	300	0.5
9	0	300	1.0
10	1000	0	0.0
11	1000	0	0.5
12	1000	0	1.0
13	1000	150	0.0
14	1000	150	0.5
15	1000	150	1.0
16	1000	300	0.0
17	1000	300	0.5
18	1000	300	1.0

El diseño experimental utilizado en el segundo experimento fue de parcelas subdivididas. La parcela principal constituida por los niveles de calcio, la subparcela por los niveles de fósforo, y la sub-subparcela por los niveles de molibdeno, respectivamente. Se utilizaron cuatro repeticiones. Las labores de siembra e inoculación se realizaron en forma similar al Experimento 1. El tamaño de la parcela y sus dimensiones fueron idénticos al primer experimento. Las parcelas asignadas con 1000 kg/ha de carbonato de calcio fueron fertilizadas con 1.44 kg de carbonato de calcio, aplicado al voleo e incorporado con rastra. Los niveles de fósforo y molibdeno que se aplicaron fueron los mismos que en el primer experimento.

Las observaciones realizadas en el Experimento 2 presentaron algunas variaciones con respecto al Experimento 1. En el Experimento 2 solo se realizó un muestreo para medir las diferentes variables de FBN, y este se hizo en la etapa de desarrollo R6. Otra diferencia es que sólo se determinó rendimiento por parcela, pero no se determinaron los componentes de rendimiento. El tamaño de la muestra para rendimiento fue de 40 plantas. Las otras observaciones se realizaron de la misma manera que en el experimento de primera.

Durante el Experimento 2 se presentaron algunos problemas fitosanitarios. Hubo ataques de insectos

chupadores de la familia Cicadellidae, principalmente Empoasca kraemeri, los cuales se combatieron con MTD-600 y Lannate. También existieron problemas con Sclerotium spp., que atacó los tallos de las plantas; para su combate se hicieron aplicaciones de Benlate (benomyl) en forma dirigida a la base del tallo (Cuadro 6). Antes de la cosecha se hizo una aplicación de Gramoxone para facilitar la misma. Las deshierbas y raleos se efectuaron como en el primer experimento.

Los análisis estadísticos se realizaron en el Centro de Computo de la EAP. Se utilizó una microcomputadora IBM-PC, y el programa usado fue MSTAT Versión 4.0. Se efectuaron análisis de varianza, separación de medias con la Prueba de Tukey al 5%, y se determinaron coeficientes de correlación entre las diferentes variables. Para el caso de la variable número de nódulos, se transformaron los datos usando la fórmula $y = \sqrt{x+1}$, donde x es el número de nódulos por parcela.

Cuadro 6. Detalle de los controles fitosanitarios realizados durante el Experimento 2. El Zamorano, Honduras, 1987.

Fecha	Producto	Dosis	control
6-10-87	MTD-600	0.5 kg/ha	Chupadores*
15-10-87	lanxato	0.25 kg/ha	Coleópteros*
			Chupadores
4-11-87	MTD-800	1.25 l/ha	Chupadores
	Belate	0.5 kg/ha	Preventivo
10-11-87	Benlate	0.5 kg/ha	Sclerotium
17-11-87	Benlate	0.5 kg/ha	Sclerotium

**Eponyca kraemeri*; *Familia Chrysomelidae

IV. RESULTADOS

Experimento 1

Los tratamientos con fósforo influenciaron en la nodulación y el crecimiento de las plantas. En la etapa V4 se produjeron incrementos en el número de nódulos (NN) pero no así en el peso seco de nódulos (PSN). No se presentaron diferencias entre los niveles de 150 y 300 kg/ha de fósforo, pero estos produjeron un incremento significativo en el NN, sobre el tratamiento sin fósforo. También, se apreciaron aumentos significativos en las variables de crecimiento, peso seco de follaje (PSF) y de raíces (PSR), en respuesta a la aplicación de 150 y 300 kg/ha de fósforo, sin apreciarse diferencias entre ellos (Cuadro 8). Los tratamientos con molibdeno, no causaron diferencias en ninguna de las variables de nodulación y crecimiento, durante esta etapa V4 de desarrollo. Tampoco se encontró interacción significativa entre fósforo y molibdeno.

En el muestreo llevado a cabo en la etapa R6, el fósforo aumentó los variables de nodulación y crecimiento (Cuadro 9). El NN y PSN aumentaron apreciablemente con las aplicaciones de 150 y 300 kg/ha de fósforo, pero no hubo diferencias entre estos niveles. La acumulación de materia seca en el follaje y las raíces (PSF y PSR) hasta esta etapa tuvo una respuesta similar a los varios niveles de

Cuadro 7. Promedios en variables de nodulación y crecimiento de plantas de frijol con la línea UW 22-33 en la etapa V4, bajo los efectos de los tratamientos de fósforo (P) y molibdeno (Mo), Experimento 1. El Zamorano, Honduras, 1987.

Tratamiento	Número nódulos	Peso Seco		
		Nódulos (mg)	Folleaje (g)	Raíz (g)
<u>Niveles de P</u>				
0	8.0	48	29	2.5
150	10.9	142	62	4.6
300	18.9	274	61	4.8
Anova	**	n.s	**	**

Tukey 5%	6.9*		6.5*	0.9*
<u>Niveles de Mo</u>				
0.0	14.9	163	40	4.1
0.6	14.6	125	43	4.1
1.0	15.0	178	44	3.7
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s

<u>Interacción P x Mo</u>				
0 x 0	9.8	97	28	2.5
0 x 0.6	8.2	32	29	2.4
0 x 1.0	7.6	15	31	2.7
150 x 0	16.1	120	66	4.8
150 x 0.6	17.6	181	46	4.6
150 x 1.0	16.9	125	53	4.3
300 x 0	18.8	273	62	4.9
300 x 0.6	17.6	162	53	6.1
300 x 1.0	20.4	348	40	4.2
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s

C.V. (%) ^a	22	80	13	21

^aDatos basados en muestras de ocho plantas con cuatro nudos vegetativos en el tallo principal.

^bDatos transformados usando la fórmula $\sqrt{x+1}$, donde x = número de nódulos.

*, **, *** Significativo al $P \leq .05$, $P \leq .01$, y no significativo, respectivamente. ^cCoefficiente de variación para todo el experimento

Cuadro 8. Promedios en variables de nodulación y crecimiento de plantas de frijol común línea UC 22-34 en la etapa R6 de desarrollo, por efectos de tratamientos de fósforo (P) y molibdeno (Mo), Experimento 1. El Zamorano, Honduras, 1987.

Tratamientos	Número nódulos	Peso Seco		
		Nódulos(mg)	Follaje(g)	Raíz(g)
<u>Niveles de P</u>				
0	5.1	30	130	9.9
150	13.0	131	156	11.6
300	17.7	633	169	12.3
Anova	**	**	*	†
Tukey 5%	6.9*	522†	21†	1.9†
<u>Niveles de Mo</u>				
0.0	11.9	245	140	11.0
0.5	11.9	244	157	11.3
1.0	12.9	306	148	11.5
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s
<u>Interacción P x Mo</u>				
0 x 0	5.3	25	128	9.6
0 x 0.5	6.0	50	137	9.9
0 x 1.0	4.0	18	120	10.1
150 x 0	12.7	144	140	10.8
150 x 0.5	12.3	106	169	11.9
150 x 1.0	13.9	146	160	12.1
300 x 0	17.7	562	153	12.5
300 x 0.5	17.2	578	166	12.0
300 x 1.0	18.2	754	157	12.5
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V. (%) ^a	30	100	12	11

^aDatos basados en muestras de plantas con al menos una flor en el tallo principal.

^bDatos transformados usando la fórmula $\sqrt{x+1}$, donde x = número de nódulos.

** ** Significativo al $P < .05$, $P < .01$, y no significativo, respectivamente. * Coeficiente de variación para todo el experimento

Cuadro 9. Promedios de rendimiento por se y componentes de rendimiento del frijol común línea UW 22-34 por efecto de tratamientos de fósforo(P) y molibdeno(Mo). Experimento I. El Zamorano, Honduras, 1987¹.

Tratamiento	Componentes de rendimiento ²			Rendimiento kg/ha ³
	Vainas planta	Semillas vainas	Peso 100 semilla(g)	
Niveles de P				
0	11.2	5.8	17.6	1444
150	11.2	5.4	16.9	1163
300	12.8	5.5	16.6	1220
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s
Niveles de Mo				
0.0	13.0	5.5	17.0	1354
0.5	11.6	5.4	16.9	1261
1.0	10.8	5.7	17.1	1365
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s
Interacción P x Mo				
0 x 0	11.7	5.5	17.7	1354
0 x 0.5	12.2	5.2	18.0	1443
0 x 1.0	9.8	6.5	17.2	1535
150 x 0	12.1	5.5	16.9	1148
150 x 0.5	10.8	5.4	17.0	1108
150 x 1.0	10.5	5.2	16.8	1234
300 x 0	15.2	5.5	16.6	1102
300 x 0.5	11.9	5.8	16.7	1235
300 x 1.0	11.1	5.3	17.4	1326
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V. (%) ⁴	26	18	10	20

¹Datos basados en muestras de plantas a la etapa R9 (madurez fisiológica) de desarrollo.

²Datos de 20 plantas.

³Datos de plantas cosechadas en 3.8 m²

⁴** No significativo. * Coeficiente de variación para todo el experimento

fósforo. En el muestreo a madurez fisiológica (etapa R9 de desarrollo), ninguno de los tratamientos con fósforo o molibdeno influyó en el rendimiento per se (Cuadro 90).

En el Cuadro 10, se presentan los coeficientes de correlación entre las variables estudiadas durante las diferentes etapas de crecimiento. Solo se incluyen en este cuadro los valores significativos. En la etapa V4, se presentaron las relaciones siguientes: el NN presentó correlaciones positivas con PSN, PSF, y PSR. Los aumentos en PSR coincidieron significativamente con aumentos en el PSF. A su vez, el PSN estuvo correlacionado positivamente con el número de vainas por planta (NVP). Se presentaron algunas correlaciones negativas entre el crecimiento de las plantas y algunas variables de rendimiento; estos efectos negativos fueron observadas entre PSF y PSR con rendimiento per se, y PSF con PSCS, respectivamente.

En la etapa R6 de desarrollo el NN estuvo correlacionado positivamente con el PSN, PSF, y PSR. El PSN estuvo correlacionado positivamente al PSR. Aumentos en el PSR coincidieron con incrementos en el PSF, pero el PSR no estuvo correlacionado a ninguna variable de rendimiento, y éstos a su vez no estuvieron correlacionados entre sí (Cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficientes de correlación simple de las variables estimadas en las etapas de desarrollo V1, R6, y R9, de las plantas de frijol común línea UW 22-34 crecidas bajo tratamientos de fósforo y molibdeno. Experimento 1, El Zamorano, Honduras, 1987.

Variables	Número nódulos	Peso seco (PS)		
		Nódulos	Hojas	Raíz
<u>Etapas V1 de desarrollo:</u>				
Número nódulos		0.64**	0.84**	0.67**
PS nódulos				
PS follaje				0.81**
PS raíz				
Vainas/planta-R9	0.39*			
Semillas/vaina-R9				
PS 100 Semillas-R9			-0.37*	
Rendimiento			-0.37*	-0.43*
<u>Etapas R6 de desarrollo:</u>				
Número nódulos		0.83**	0.43**	0.82**
PS nódulos				0.45**
PS follaje				0.77**
PS raíz				
Vainas/planta-R9	0.38*	0.37*		
Semillas/vaina-R9				
PS 100 Semillas-R9				
Rendimiento-R9				

Solo se indican los coeficientes de correlación significativos al $P \leq .05$ () y al $P \leq .01$ (**). Etapas de desarrollo V1 (cuatro nódos vegetativos en el tallo principal), R6 (floración), y R9 (madurez fisiológica).

Experimento 2

Durante el Experimento 2 se hicieron observaciones de nodulación y crecimiento solamente durante la etapa R5 y de rendimiento per se en la etapa R9 de desarrollo. Los resultados de los efectos simples, y de interacciones de dos factores y de tres factores, se presentan en los Cuadros 11, 12, y 13, respectivamente.

Los niveles de calcio aplicados no tuvieron ningún efecto sobre las variables de nodulación, crecimiento, y rendimiento. No obstante, el fósforo incrementó la nodulación, NN y PSN, pero no hubieron diferencias entre las aplicaciones de 150 y 300 kg/ha de fósforo. Por otra parte, ninguno de las otras variables de crecimiento y de rendimiento, se incrementaron con las aplicaciones de fósforo en este experimento. Sin embargo, los niveles de molibdeno sí incrementaron el PSF y el PSR; pero no se registraron diferencias entre los niveles de 0.5 y 1.0 kg/ha de molibdato de sodio (Cuadro 11). Ninguna de las interacciones de dos factores fueron significativas en las variables consideradas (Cuadro 12); pero sí se observó a la interacción significativa entre los tres factores afectando el NN (Cuadro 13). En este cuadro se observa que los valores máximos en NN se obtuvieron con el nivel máximo en cada uno de los tres factores. Sin embargo, los mismos resultados se obtuvieron con aplicaciones de 150 y 300 kg/ha de fósforo, con o sin calcio; con la diferencia de

Cuadro 11. Diferencias de promedios de variables de nodulación, crecimiento, y de rendimiento, de plantas de frijol común (línea UW 22-34), por efectos simples de tratamientos de calcio (Ca), fósforo (P), y molibdeno (Mo). Experimento 2, El Zamorano, Honduras, 1987.

Tratamiento	Peso seco *				
	Número [†] y nódulos	Nódulos (mg)	Pollaje (g)	Raíz (x)	Rendimiento kg/ha [‡]
<u>Niveles de Ca</u>					
0	12.3	159	85	9.5	1879
1000	12.7	165	84	10.4	1888
Anova	n.n	n.s	n.s	n.n	n.s
<u>Niveles de P</u>					
0	8.0	73	81	9.1	1936
150	15.7	225	86	10.4	1876
300	13.7	188	86	10.4	1808
Anova	**	**	n.n	n.n	n.s
Tukey 5%	4.0*	126*			
<u>Niveles de Mo</u>					
0	12.5	161	75	9.4	1762
0.5	11.7	155	87	10.0	1889
1.0	13.2	180	91	10.6	1988
Anova	n.n	n.s	*	†	n.n
Tukey 5%			10 †	1.0 †	
C.V. (x) [§]	30	60	21	11	16

* Transformados usando la fórmula $\sqrt{x+1}$, donde x = número de nódulos.

† Estimado en 20 plantas muestreadas en la RG de desarrollo.

‡ Estimado en base al rendimiento de plantas cosechadas en 2.6 m² a la etapa R9 (madurez fisiológica).

*, **, *** significativo al P < .05, P < .01, y no significativo, respectivamente.

§ Coeficiente de variación para todo el experimento.

Cuadro 12. Promedios de variables de nodulación, crecimiento, y de rendimiento, de plantas de frijol concha línea UM 22-34, por efectos de la interacción de dos factores de tratamientos de calcio(Ca), fósforo(P), y molibdeno(Mo). Experimento 2, El Zamorano, Honduras, 1987.

Interacción	Peso seco *				
	Número ¹ y nódulos	Nódulos (mg)	Pollaje (g)	Raíz (g)	Rendimiento kg/ha ²
<u>Ca x P</u>					
0x0	8.4	75	79	8.6	1967
0x150	17.1	271	87	10.1	1948
0x300	11.3	130	89	9.8	1821
1000x0	7.6	70	82	9.6	1906
1000x150	14.3	180	85	10.7	1901
1000x300	16.1	247	84	10.0	1796
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
<u>Ca x Mo</u>					
0x0	12.0	142	73	8.8	1741
0x0.5	12.4	177	87	9.5	1917
0x1.0	12.4	157	96	10.3	1977
1000x0	13.1	160	78	9.9	1783
1000x0.5	11.0	132	87	10.5	1861
1000x1.0	14.0	204	86	10.9	1959
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
<u>P x Mo</u>					
0x0	8.2	64	75	8.7	1840
0x0.5	7.0	67	75	8.6	1866
0x1.0	8.8	87	92	10.2	2103
150x0	16.1	212	76	9.9	1748
150x0.5	15.0	232	89	10.3	1937
150x1.0	16.0	232	93	11.1	1940
300x0	13.3	178	74	8.6	1698
300x0.5	13.9	165	97	11.2	1868
300x1.0	14.8	22	87	10.4	1861
Anova	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
C.V. (%) ³	30	60	21	11	16

* Transformados usando la fórmula $\sqrt{x+1}$, donde x = número de nódulos; ¹estímulo en 20 plantas muestreadas en la R6 de desarrollo; ²plantas cosechadas en 2,5 m² a la etapa R9 (madurez fisiológica); ³ No significativo.

* Coeficiente de variación para todo el experimento.

Cuadro 13. Promedios de variables de nodulación, crecimiento, y de rendimiento, de plantas de frijol común línea UW 22-34, por efectos de la interacción de tres factores de tratamientos de calcio (Ca), fósforo (P), y molibdeno (Mo). Experimento 2. El Zamorano, Honduras, 1987.

Interacción	Peso seco ¹				
	Número ² y nódulos	Nódulos (mg)	Pollaje (g)	Raíz (g)	Rendimiento kg/ha ³
Ca x P x Mo					
0x0x0	7.9	55	74	8.5	1979
0x0x0.5	8.6	102	72	8.4	1963
0x0x1.0	8.7	69	93	9.0	2058
0x150x0	16.3	229	58	9.0	1672
0x150x0.5	15.6	267	92	10.1	1951
0x150x1.0	19.4	318	101	11.3	1921
0x300x0	11.7	143	76	9.0	1673
0x300x0.5	12.9	162	96	10.0	1847
0x300x1.0	9.2	84	93	10.5	1942
1000x0x0	8.4	73	77	8.9	1802
1000x0x0.5	5.4	32	79	8.6	1768
1000x0x1.0	9.0	105	91	11.4	2137
1000x150x0	16.0	196	83	10.8	1824
1000x150x0.5	14.6	918	85	10.6	1922
1000x150x1.0	12.6	146	88	10.9	1958
1000x300x0	14.8	212	72	10.1	1722
1000x300x0.5	13.0	167	98	12.2	1885
1000x300x1.0	20.3	361	81	10.4	1780
Anova	**	n.s	n.s	n.s	n.s
Tukey 5%	9.5%				
C.V (%) ⁴	30	50	21	11	16

¹ Transformados usando la fórmula $\sqrt{x+1}$, donde x = número de nódulos de desarrollo.

² Estimado en 20 plantas muestradas en la R6 de desarrollo.

³ Estimado en base a plantas cosechadas en 2.5 m² a la etapa R9 (madurez fisiológica).

⁴ *, **, ... Significativo al $P \leq .05$, $P \leq .01$, y no significativo, respectivamente.

⁵ Coeficiente de variación para todo el experimento.

que al aplicar calcio se necesitaron menos cantidades de molibdeno para obtener un respuesta similar en NN. Algunos resultados obtenidos con niveles de 300 kg/ha de fósforo fueron inferiores a los obtenidos con los niveles máximos en los tres factores (Cuadro 13).

Los coeficientes de correlación significativos se presentan en el Cuadro 14. El NN estuvo correlacionado positivamente con el PSN, pero negativamente con rendimiento per se. El PSN también estuvo correlacionado negativamente con rendimiento. El crecimiento de las plantas observado en la etapa R6 influyó en el rendimiento obtenido; así se apreció que ambos el PSF y el PSR, que fueron altamente correlacionados entre ellos, estuvieron positivamente correlacionados con rendimiento.

En el Cuadro 15 se presentan las medias de las diferentes variables determinadas en ambas épocas de siembra, las pruebas de F y el valor mínimo significativo al 5% de las diferencias entre ellos. El PSR en la época de primera (Experimento 1) fue significativamente superior a la de postrera (Experimento 2), pero en la época de postrera se observó un rendimiento más alto. Esto probablemente fue debido a que el período de crecimiento fue mucho más largo durante la época de postrera.

Cuadro 14. Coeficientes de correlación simple entre las diferentes variables estimadas en las etapas de desarrollo R6 y R9 de plantas de frijol común línea UW 22-34. Experimento 2, El Zamorano, Honduras, 1987.

Variables	Número nódulos	Peso seco (PS)		
		Nódulos	Follaje	Raíz
Numero nódulos-R6		0.95**		
PS nódulos-R6				-0.32**
PS follaje-R6				-0.34**
PS raíz-R6			0.67**	0.62**
Rendimiento-R9				0.43**

*Solo se indican los coeficientes de correlación significativos al .01 (**); etapas R6 (floración) y R9 (madurez fisiológica) de desarrollo.

Cuadro 15. Promedios de las variables tomadas en ambos experimentos (1 y 2) a la RG y RJ en plantas de frijol común línea QW 22-34. El Zamorano, Honduras, 1987.

Exp	Peso seco				Días		
	Número nódulo	Nódulos (mg)	Folleaje (g)	Raíz (g)	Rendimiento (kg/ha)	Floración	Madurez
1	11.9	162.5	148.8	11.3	1276	38	72
2	12.5	265.4	84.8	9.8	1871	37	89
Err F	n.s	n.s	n.s	32.1**	422**	**	**
F(.05)	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9

** : ** Significativo al $P \leq .01$, y no significativo, respectivamente.

V. DISCUSION

Los tratamientos de encalado no tuvieron ningún efecto sobre el NN, PSN, PSF y PSR (Cuadro 11). Esto contradice los resultados obtenidos por Franco y Day (1980) que reportaron aumentos significativos en nodulación y crecimiento bajo los efectos de las aplicaciones de cal en el frijol común. En las leguminosas tropicales existe gran variabilidad en los requerimientos de cal y pH dependiendo de su adaptación; variedades de grano de color negro de frijol han sido reportadas como las más tolerantes a condiciones ácidas en términos de nodulación y crecimiento (Freire, 1982). En nuestro caso, las condiciones de pH en que se desarrollaron las plantas no fueron tan extremas como para permitir que hubiera una respuesta significativa a la aplicación de calcio (Cuadro 4). Los niveles de fósforo incrementaron significativamente los variables de nodulación y crecimiento hasta los niveles de 150 kg/ha de fósforo (Cuadro 7, 8 y 11), confirmando los resultados de Boucher et al. (1986) y Pereira (1987) quienes encontraron respuestas positivas hasta niveles intermedios de fósforo; y contradiciendo en cierto grado la respuesta lineal hasta niveles mayores de 300 kg/ha de fósforo obtenida por Graham y Rosas (1979). Probablemente esto fue debido a que el contenido de fósforo del suelo en los experimentos conducidos no fueron lo suficientemente bajos como para

obtener una respuesta lineal al fósforo a los niveles más altos (Cuadro 1 y 4). De todas maneras, los resultados nos permiten reconfirmar que la actividad de nodulación requiere niveles apreciables de fósforo para manifestarse; y la importancia del fósforo deriva en que la traslocación de carbohidratos hacia los nódulos consume mucha energía. Por otra parte, el fósforo permitió un mayor desarrollo radical en las plantas lo cual se tradujo en un mayor desarrollo foliar. Es interesante notar que no hubo diferencias en PSN en las etapas tempranas de crecimiento (Cuadro 7); esto confirma, en cierta manera, lo reportado por Jones et al. (1980), quienes tampoco obtuvieron respuestas positivas en nodulación en etapas tempranas de crecimiento de la soya.

La falta de respuesta en la nodulación a las aplicaciones de molibdeno, registradas en los dos experimentos, coinciden con las observaciones hechas por Franco (1976) y Freire (1982). Estos no reportan respuesta a molibdeno en suelos donde el pH es moderadamente ácido, o que han sido encalados lo suficiente para poner el molibdeno disponible. Sin embargo, las aplicaciones de molibdeno sí afectaron positivamente las variables de crecimiento, en las condiciones de suelo más ácidas del Experimento 2 (Cuadro 4), pero no se obtuvo ningún incremento por encima de 0.5 kg /ha de molibdato de sodio.

Las diferencias entre nodulación y crecimiento, en relación a la respuesta a molibdeno, pudieron ser debidas a que la formación del sistema radical es más sensible a la disponibilidad de molibdeno que la formación de nódulos. Algunas cepas de rizobio noduladoras con frijol son más eficientes que otras en suelos ácidos (Graham y Chatel, 1983).

Los componentes de rendimiento y el rendimiento por se no se incrementaron bajo los efectos simples de cada uno de los nutrimentos estudiados, a pesar de presentarse aumentos en nodulación y crecimiento. Esto concuerda con las advertencias de Wynne et al. (1987), quienes mencionan que puede existir buenos niveles de nodulación sin que estos se traduzcan en aumentos en rendimiento. Esto pudo haber sido debido a una respuesta en nodulación que trajo mayor competencia en la distribución de carbohidratos entre los nódulos y la formación de vainas (Graham, 1981). Otro argumento es que las condiciones de suelo no permitieron que los aumentos en nodulación se reflejen en aumentos en rendimientos, confirmando esto lo reportado por Huntington et al. (citado por Lazú, 1987) quienes aseguran que la nodulación aumenta los rendimientos principalmente en suelos vírgenes y marginales, donde las plantas dependerán mayormente de la FBN si no se le adicionan cantidades óptimas de N.

No se detectaron interacciones significativas para las variables consideradas, con la excepción de la interacción entre calcio x fósforo x molibdeno que afectó el NN (Cuadro 13). Esto confirma los resultados obtenidos por Franco y Day (1980) y Hernández y Focht (1986) quienes reportaron que con niveles intermedios de cal, fósforo y molibdeno se podían obtener valores similares a los obtenidos con el máximo nivel individual de cada elemento. Esto es probablemente debido a que las aplicaciones de calcio hacen disponible tanto al fósforo como al molibdeno para la formación de nódulos.

El NN y PSN estuvieron positivamente correlacionados con el PSR, no así con el PSF (Cuadro 8); resultados similares fueron reportados por Lazú (1987) y Pereira (1987). Las variables de NN y PSN, al igual que las variables de crecimiento estuvieron correlacionados negativamente con PSCS y rendimiento per se. Esto también fue confirmado por Lazú (1987). Lo contrario fue reportado por Graham y Rosas (1979), quienes presentaron correlaciones altamente significativas y positivas entre la fertilización con fósforo, nodulación y crecimiento con rendimiento, en 30 diferentes genotipos de frijol común. Sin embargo, sí hubo correlaciones positivas entre NN y PSN con el NVP, que es el componente de rendimiento más influyente en el rendimiento per se (Haag et al., 1980). Es bastante notorio el hecho que en las condiciones más ácidas

del Experimento 2, el PSF y el PSR estuvieron correlacionados positivamente al rendimiento (Cuadro 14). Un mayor sistema radical permite una mejor absorción que se traduce en un mayor rendimiento, y este crecimiento radical es menor en condiciones de pH de suelo más ácidos, donde normalmente la disponibilidad del fósforo es menor.

En el Cuadro 15 se puede apreciar que el crecimiento radicular fue mayor durante el Experimento 1, el cual se condujo en un suelo con pH de 6.2 en relación al pH 5.4 registrado para el Experimento 2. Las observaciones de Freire (1982), sugieren efectos negativos de la acidez en el crecimiento de las plantas de frijol. Sin embargo, los rendimientos fueron superiores en la segunda época debido a que el período de crecimiento fue mucho más largo que en la época de primera en que se condujo el Experimento 1. White (1985), sugiere que mayores rendimientos de frijol pueden ser obtenidos durante períodos de madurez más largos; resultados obtenidos bajo condiciones muy similares en experimentos conducidos en la EAP, sugieren lo mismo (Guerrero y Rosas, comunicación personal).

VI. CONCLUSIONES

Después de haber analizado y discutido los resultados de los dos experimentos reportados en este trabajo, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- 1) El efecto del fósforo sobre la nodulación es determinante para apreciar una respuesta positiva; las cantidades necesarias son más altas que las normalmente aplicadas. La naturaleza de la respuesta va de acuerdo al contenido y disponibilidad del fósforo en el suelo.
- 2) Existen diferencias en la respuesta a molibdeno, según los niveles de pH que existan y las enmiendas con aplicaciones de cal que se hagan para corregir éste.
- 3) Incrementos en nodulación no necesariamente representan aumentos de rendimientos. Esta respuesta en el rendimiento se manifiesta cuando las condiciones de fertilidad de nitrógeno en el suelo son limitantes y las plantas dependen mayormente del nitrógeno adquirido mediante la fijación de N_2 .
- 4) Diferencias en rendimiento pueden ser debidas a la longitud del período de crecimiento hasta alcanzar la etapa de madurez fisiológica.

VII. RESUMEN

El frijol común (Phaseolus vulgaris L.) es un componente básico de la dieta de los pobladores de América Central. La mayoría de las zonas productoras de frijol están localizadas en áreas de suelos marginales y de baja fertilidad, principalmente nitrógeno y fósforo, lluvias insuficientes, y limitaciones originadas por la presencia de plagas y enfermedades. El proceso de fijación biológica de nitrógeno se presenta como una alternativa para incrementar los rendimientos actuales, al satisfacer los requerimientos de nitrógeno de variedades de alto potencial de rendimiento adaptadas a estas zonas. Se llevaron a cabo dos experimentos a nivel de campo en los terrenos de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras, para estudiar los efectos de calcio, fósforo y molibdeno en la fijación de nitrógeno y el rendimiento de grano del frijol común. Los niveles intermedios de fósforo afectaron positivamente la nodulación y el crecimiento. También los niveles de molibdeno afectaron el crecimiento de las plantas cuando existieron condiciones de mayor acidez en el suelo. Se encontró una interacción significativa entre los niveles de calcio, fósforo y molibdeno que incrementó el número de nódulos. Los rendimientos no fueron afectados significativamente por los tratamientos; esta falta de respuesta en rendimiento probablemente se debió a que las

condiciones de suelo no permitieron que la respuesta a los incrementos en fijación de nitrógeno se tradujeran en aumentos en rendimiento.

VIII. LITERATURA CITADA

- Adams, M.W. 1984. Beans-Cowpeas Production Constraints and National Programs. Bean/Cowpea CRSP, Michigan State Univ., 68 p.
- Aykroyd, W.R. 1982. Las leguminosas en la nutrición humana. FAO, Roma, Italia, 136 p.
- Boucher, D.H., P. Feldstein, J. Arce, A. Llano, L. Oyer y A. Sandoval. 1986. Nodulación de 8 variedades de frijol en un suelo fijador de fósforo en Nicaragua. Ceiba 27(1): 89-93.
- Bowen, J. y B. Kratky. 1982. Nitrógeno: fijación biológica en leguminosas tropicales. Agricultura de las Américas 31(12): 12-20.
- Cassman, K.G., A.S. Whitney, and K.R. Stockinger. 1980. Root growth and dry matter distribution of soybean as affected by phosphorus stress, nodulation, and nitrogen source. Agronomy Journal 20: 239-244.
- Fassbender, H.W. 1967. La fertilización del frijol. Turrialba 17(1): 25-28.
- Fernández, F., P. Gepts y M. López. 1982. Etapas de desarrollo del frijol común. CIAT, Cali, Colombia. 26 p.
- Focht, D. D. y B. Hernández. 1986. Factores limitantes de la fijación de nitrógeno en el guandú (Cajanus cajan) en suelos ácidos. Ceiba 27(1): 61-81.

- Franco, A. 1976. Nutritional restraints for tropical grain legumes symbiosis. In: J.M. Vincent, A.S. Whitney y J. Bose (eds.), Exploiting the Legume-Rhizobium Symbiosis in Tropical Agriculture. College Trop. Agric. Misc. Publ. 145, Univ. Hawaii. p.237-238.
- Franco, A. 1977. Micronutrients requirements of legume-Rhizobium Symbiosis in Tropical Agriculture. In: J.M. Vincent, A.S. Whitney and J. Bose (eds.), Exploiting the legume-Rhizobium symbiosis in tropical agriculture. College Trop. Agric. Misc. Publ. 145, Univ. Hawaii. p.161-171.
- Franco, A.A. and J.M. Day. 1980. Effects of lime and molibdenum on nodulation and nitrogen fixation of Phaseolus vulgaris L. in acid soils of Brazil. Turrialba 30(1): 99-105.
- Freire, J.R. 1982. Important limiting factors for Rhizobium legume simbiosis. In: M. Alexander (ed.), Biological Nitrogen Fixation, Plenum, New York. p. 237-248.
- Gibson, A.H. 1976. N₂ input into crops. In: W.E. Newton and C.J. Nyman (eds.), First Symposium on Nitrogen fixation, Washington State University Press. p.400-427.
- Graham, P.H. and V. Morales. 1974. Seed pelleting of legume to supply molibdenum. Turrialba 24(3): 335-336.
- Graham, P.H. and J.C. Rosas. 1979. Phosphorus

- fertilization and symbiotic nitrogen fixation in common bean. *Agronomy Journal* 71: 925-926.
- Graham, P.H. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in Phaseolus vulgaris L.: A Review. *Field Crops Research* 4: 93-111.
- Graham, P.H. and D.L. Chatel. 1983. *Agronomy*. In: J. Brounthon (ed.), *Ecology of Nitrogen Fixation*, Oxford University Press. p. 58-61.
- Haag, W. L., M. W. Adams, and J. B. Wiersma. 1978. Differential response of dry beans genotypes to N and P fertilization of a Central American soil. *Agronomy Journal* 70: 565-568.
- Iwaran, V., K. S. B. Sarma and M. Comhaire. 1970. Soil fertility, legume and Rhizobium efficiency. *Agri Digest* 19:3-19.
- Jones, G. D., J. A. Lutz and T. J. Smith. 1977. Phosphorus and potassium effects on nodulation and seed yield. *Agronomy Journal* 69:1003-1005.
- Lazú, J. 1987. Efecto del genotipo de Phaseolus vulgaris en la fijación biológica de nitrógeno por Rhizobium phaseoli. (Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Mayaguez, 90 p.).
- Munns, D. N. 1977. Mineral nutrition and the legume symbiosis. In: R. W. F. Hardy and A. H. Gibson (eds.), *A Treatise on Dinitrogen Fixation*, Section IV:

- Agronomy and Ecology. John Wiley and Sons Inc., New York. p 353-391.
- Norris, D. O. 1967. Intelligent use of inoculants and lime pelleting for tropical legumes. Trop. Grasslands 1(2): 107-121.
- Pereira, P. A. 1987. Improvements of N₂ fixation in common beans (Phaseolus vulgaris) at different levels of available phosphorus. Ph. D. thesis, University of Wisconsin-Madison, 150 p.
- Rosas, J.C. y F.A. Bliss. 1986. Mejoramiento genético de la capacidad de fijación biológica de nitrógeno en el frijol común. Ceiba 27 (1): 95-104.
- Rosas, J.C., J. Kipe-Nolt, R. A. Henson y F.A. Bliss. 1986. Estrategias de mejoramiento para incrementar la capacidad de fijación biológica de nitrógeno del frijol común en América Latina. Ceiba 28(1), en prensa.
- Sánchez, P.A. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. IICA, San José, Costa Rica, 634p.
- Sinha, S. K. 1978. Las leguminosas alimenticias: su distribución, su capacidad de adaptación, y biología de rendimientos. FAO, Roma, Italia, 117 p.
- Valdés, M. 1986. La relación micorriza-VA con fijación de nitrógeno por *Rhizobium*. Ceiba 27(1): 89-93.
- Vincent, J. M. 1982. Nitrogen Fixation in Legumes. Academic Press, New York, 288 p.

Wynne, J.C., F.A. Bliss, y J.C. Rosas. 1987. Principles and practices of field designs to evaluate symbiotic fixation. In: G. H. Elkan (ed), Symbiotic Nitrogen Fixation. Marcel Dekker Inc., New York. p. 371-389.