

Efecto de la Fertilización Fosforada y el
Encalamiento en la Nodulación y el Ren-
dimiento de la Soya

MICROCISIS:	1053
FECHA:	23/01/91
ENCARGADO:	UARGAS

P O R

Osman Leonardo Olivera Zavala.

T E S I S

PRESENTADA A LA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

COMO RÉQUISITO PREVIO A LA OBTENCION
DEL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

El Zamorano, Honduras
Abril, 1990

BIBLIOTECA WILSON FOPENDE
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
DEPARTAMENTO DE
TEGUCIGALPA, HONDURAS

EFFECTO DE LA FERTILIZACION FOSFORADA Y EL ENCALAMIENTO
EN LA NODULACION Y EL RENDIMIENTO DE LA SOYA

Por

Osman Leonardo Olivera Zavala

El autor concede a la Escuela Agrícola 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 del autor.

Osman Leonardo Olivera Z.

Abril-1990

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo a Dios, por estar conmigo en todo momento y permitirme obtener otra meta en mi vida.

A mis padres Lia y Leonardo Olivera por todas las muestras de cariño y consejos que me han brindado durante mi existencia.

A mis hermanos Salvador, Gerardo, Marco V. y el resto de mis familiares para que este triunfo que he obtenido sirva como un incentivo de superación.

Por último quiero dedicar este trabajo de una manera muy especial y con todo amor a mi novia, señorita Gina M. Sandoval por todo el cariño, comprensión y espíritu de lucha que me infundió en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer:

A Dios, por darme la sabiduría necesaria para lograr este triunfo.

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID), por financiar mis estudios durante este año.

A los doctores Juan José Alán, Juan Carlos Rosas y Marciano Rodríguez, por todos los consejos y apoyo logístico que me brindaron durante este año académico.

A todo el personal del Departamento de Agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana, en especial al Ing. Agr. Eduardo Robleto por su ayuda en el análisis de los datos. Al Ing. Agr. Oswaldo Varela y al Agr. Raúl Nehring, por ayudarme con los trabajos de campo.

A todos mis amigos por todos los buenos y malos ratos que compartimos.

INDICE

	Pag.
Título.....	i
Derechos de Autor.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Indice.....	v
Indice de Cuadros.....	vi
Indice de Apéndices.....	vii
I Introducción.....	1
II Revisión de Literatura.....	4
III Materiales y Métodos.....	10
IV Resultados.....	20
V Discusión.....	27
VI Conclusiones.....	33
VII Resumen.....	34
VIII Literatura Citada.....	35
IX Apéndice.....	39
Aprobación.....	viii

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Promedios de temperaturas mínimas y máximas y de precipitación ocurridas durante el desarrollo del experimento.....	10
Cuadro 2.	Análisis de suelo de La Vega 1 del Departamento de Agronomía. El Zamorano, Honduras.1989.....	12
Cuadro 3.	Tratamientos incluidos en el experimento. El Zamorano, Honduras. 1989.....	14
Cuadro 4.	Combates fitosanitarios realizados durante el experimento. El Zamorano, Honduras. 1989.....	18
Cuadro 5.	Valores promedios de las variables de la nodulación y el crecimiento de plantas de soya sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras. 1989.....	20
Cuadro 6.	Valores promedios de contenido de nitrógeno y altura de plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras. 1989.....	21
Cuadro 7.	Valores promedios de rendimiento y componentes de rendimiento en plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras.1989.....	22
Cuadro 8.	Coefficientes de correlación simple de las variables de nodulación y crecimiento de plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras. 1989.....	24
Cuadro 9.	Coefficientes de correlación simple entre rendimiento y sus componentes en plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras. 1989.....	24
Cuadro 10.	Contrastes ortogonales de las variables de crecimiento y de rendimiento de plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras, 1989.....	25

INDICE DE APENDICES

Apéndice 1. Variables en estudio y observaciones tomadas en el transcurso del experimento. El Zamorano, Honduras, 1989.....39

I. INTRODUCCION

La soya (Glycine max (L.) Merr), es la leguminosa de grano más importante a nivel mundial, en términos de producción total y de mercadeo internacional. Es una de las principales fuentes de alimentación tanto humana como animal, ya que el grano posee, aproximadamente, un 20% de aceite y un 40% de proteína (Duke, 1981).

A pesar de que en los trópicos hay otras fuentes más eficientes para la producción de aceite, la soya, por la calidad de sus proteínas y su adaptabilidad a distintos usos, puede tener un papel especial (León, 1987). En Honduras, el cultivo de la soya ha sido promovido durante varios años por diversas instituciones gubernamentales, pero la expansión de esta leguminosa no ha sido satisfactoria, aduciéndose, principalmente, a los limitados incentivos a los productores. El Proyecto Nacional de Soya informó que en 1986 se sembraron aproximadamente 525 ha de este cultivo, con lo cual se logró cubrir el 1.9% de la demanda nacional. El Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA), informa que Honduras ha importado durante los años 1982 a 1986, un promedio de 18,642 t de soya, por un valor de L. 12.8 millones. Durante los años 1987 y 1988 las importaciones ascendieron a 4000 t, lo que representó el 98.2% de la demanda total (Rosas y Young, 1989).

Las plantas de soya requieren todos los elementos esenciales para su crecimiento y producción. La simbiosis entre las leguminosas y Rhizobium está limitada por la toxicidad de aluminio (Al) o manganeso (Mn), el pH del suelo, la deficiencia de fósforo (P) y de molibdeno (Mo) (Franco, 1976). El P es uno de los más limitantes en los trópicos para la fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Graham, 1981), ya que forma parte de los compuestos energéticos que se utilizan en el proceso de crecimiento y actividad de los nódulos. La práctica del encalado, además de subir el pH en suelos ácidos permite que el P y el Mo se vuelvan más disponibles para las plantas, corrige las deficiencias de calcio (Ca), el cual es muy importante para la infección del pelo radical, que se efectúa por medio de enzimas las que requieren determinados niveles de pH para actuar en el proceso infectivo (Gibson, 1976), y magnesio (Mg), eliminando además la toxicidad de Al, Mn, y hierro (Fe).

La soya tiene una alta capacidad para fijar nitrógeno (N), por lo cual la FBN es importante por proveer el N requerido para el crecimiento de las plantas, reduciendo las inversiones en fertilizantes nitrogenados (Graham y Rosas, 1979), ayuda a disminuir los problemas de contaminación del ambiente y a solventar la escasez de fertilizantes nitrogenados.

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos en un experimento llevado a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras, para estudiar el efecto de

la fertilización fósforada y del encalamiento en la nodulación y el rendimiento de la soya.

II. REVISION DE LITERATURA

Cuando examinamos el efecto de los nutrimentos minerales en la simbiosis entre las leguminosas y el Rhizobium, es importante considerar que la simbiosis se lleva a cabo en diferentes fases del desarrollo, cada una de las cuales puede tener requerimientos nutricionales específicos. El proceso simbiótico empieza en la rizósfera y termina con el establecimiento de un nódulo efectivo para la fijación de nitrógeno (O'Hara, 1988).

La soya tiene la capacidad de fijar entre 14 y 300 kg N/ha, dependiendo del potencial de producción, la disponibilidad de N en el suelo y la interacción genética entre el genotipo de la planta y la cepa de Rhizobium que se utiliza (Cassman et al., 1981). La precipitación, la salinidad, la acidez y la presencia de iones tóxicos limitan el establecimiento de la fijación simbiótica de nitrógeno en suelos tropicales, ya que afectan la simbiosis, en especial, la sobrevivencia de la bacteria, su crecimiento, la colonización de la superficie radical, el proceso de infección del pelo radical y las funciones del nódulo (Singleton et al., 1987).

La simbiosis es seriamente afectada por deficiencias de macronutrimentos como el P, el K el Ca y el S y de micronutrimentos como el Mo y el B, dando como resultados rendimientos muy por debajo de su potencial de producción (O'Hara, 1988).

Respuesta al Fósforo

El fósforo es uno de los elementos minerales más limitantes para el crecimiento de las leguminosas y la FBN en los suelos de los trópicos (Graham, 1981). Es constituyente de ácidos nucleicos, proteínas, aminoácidos y estimulante del desarrollo radical y de la floración (Rodríguez, 1989). Además, juega un papel importante en las reacciones de transferencia de energía, específicamente el ATP en la actividad de la nitrogenasa (Franco, 1976). Las deficiencias de P reducen el área foliar fotosintéticamente activa de varias especies de plantas (Morrison y Batten, 1986). En la soya esta deficiencia restringe severamente el proceso de nodulación (Cassman *et al.*, 1980), al igual que en el frijol, debido a una baja formación y alta senescencia de los nódulos (Graham, 1981).

Jones *et al.* (1977), informan que la fertilización fosfatada en la soya no incrementa la nodulación y la fijación de nitrógeno en etapas tempranas de crecimiento. Según Demooy y Barker (1966), las aplicaciones de P incrementan el número de nódulos por planta y por unidad de volumen de suelo y la masa nodular, no así la concentración de P en los nódulos (Pereira y Bliss, 1987). La fertilización con P también afecta la morfología y el crecimiento radical, lo cual es muy importante para la absorción de nutrientes (Hallmark y Barker, 1984). Según Cassman *et al.* (1981), la fertilización fosforada afecta el potencial de producción y la distribución de materia seca; además, puede tener un efecto indirecto en la fijación de

nitrógeno a través del abastecimiento de fotosintatos a los nódulos.

No se han observado respuestas a la fertilización fosfatada, en suelos con altos niveles de fósforo, (Demcoy, 1973; Citado por Bharari *et al.*, 1986). Sin embargo, Andrew y Robin (1969; citados por Singleton *et al.*, 1985) encontraron una correlación positiva entre la concentración de P y N en nueve especies de leguminosas. Concluyeron que las aplicaciones de fósforo superiores a los requerimientos para una máxima producción de materia seca resultan en un incremento en las concentraciones de N en el tallo de soya. En suelos con baja disponibilidad de P, la infección de las raíces de soya con micorrizas estimulan tanto la nodulación como la FBN (Hicks y Loynachan, 1987). Una disminución en las aplicaciones de P inhibe el crecimiento de los nódulos en mayor proporción que el crecimiento radical; similarmente, el estrés de P afecta el equilibrio entre la raíz y el nódulo relativamente más que a la distribución de materia seca entre la parte aérea de la planta y la parte subterránea (Cassman *et al.*, 1980).

Hanson (1979; Citado por Jiménez y Villalobos, 1980), informa incrementos en la nodulación como respuesta a dosis de hasta de 800 kg de P_2O_5 /ha. Por otro lado, Silva y Gómez (1977), indican que las respuestas en rendimiento de grano, número de nódulos y peso de 100 semillas son máximos al aplicar 160 kg de P_2O_5 /ha. De la misma forma, Chesney (1973), encontró incrementos significativos en el rendimiento debidos a la fertilización

fosfórica en condiciones tropicales. Sin embargo, hay indicaciones de que los incrementos en la FBN y en la nodulación del frijol debidos al P, no necesariamente representan aumentos en el rendimientos de grano (Robledo, 1988). Esto puede deberse a que las respuestas en la nodulación y la fijación sean demasiado tardías en ciertas condiciones (Wynne et al. , 1987), o a que el material usado sea de bajo potencial de rendimiento (Lazó, 1987).

Respuesta al Encalado

Las leguminosas por lo general, responden mejor al encalado que otras plantas. Esta práctica permite un incremento en la disponibilidad de Ca (Engelstad, 1985), el cual es regulador del crecimiento y otros procesos fisiológicos (O'Hara, 1988), mantiene las funciones de la membrana celular (Vincent, 1982), reduce la concentración de elementos potencialmente tóxicos tales como el hidrógeno (H), Al y Mn, favoreciendo así, la disponibilidad de P, Mg y Mo (Wilcox, 1987).

La deficiencia de Ca está asociada con la acidez, toxicidad de Al o Mn, deficiencias de Mg, P y Mo, o una combinación de estos factores. Esta complejidad de factores puede limitar el crecimiento de la planta, del nódulo o su función (Munns, 1977). La escasa nodulación en suelos ácidos puede deberse al efecto de dichos factores en la sobrevivencia y crecimiento del Rhizobium al inicio o durante el desarrollo del nódulo (Munns, 1977). Resultados obtenidos por Sartain y Kamprath (1977),

muestran que la toxicidad de Al afecta la concentración de P, Ca y Mg en los nódulos, las raíces y la parte aérea de la planta de soya. Según Singleton y Bohlool (1984), el número y peso seco de los nódulos se reduce al aumentar la salinidad del suelo.

En la infección del pelo radical, la etapa de sensibilidad al Ca, se presenta en los tres primeros días después de la inoculación (Munns, 1970). Una vez que los nódulos inician su desarrollo, este puede llevarse a cabo en concentraciones de Ca inferiores a los requerimientos de la planta (Munns, 1970). Según Andrew (1976; citado por O'Hara et al., 1988) existe una interacción entre el calcio y la acidez y su efecto en la nodulación. Esto puede indicar que la deficiencia de calcio limita más la etapa de postinfección que la etapa de preinfección en el desarrollo de la simbiosis.

Según Loneragan (1960) y Munns (1984) (citados por Alva et al., 1987), en medios de cultivo con pH inferiores a 5.0 las aplicaciones de Ca incrementan el número de nódulos por planta y reducen el número de días requeridos para la aparición del primer nódulo. Las cantidades de Ca necesarias para obtener una buena nodulación, dependen, principalmente, de los requerimientos de pH de las enzimas que actúan en el proceso infectivo al penetrar las paredes celulares del pelo radical (Gibson, 1976). Según Graham (1981), el pH óptimo para la simbiosis está entre 5.5 y 6.7. En los trópicos se requieren entre 1000 a 5000 kg de cal/ha para obtener un pH adecuado para la simbiosis (Munns, 1977). Para reducir estas cantidades,

el mismo Munns (1977) sugiere peletizar la semilla con carbonato de calcio para que la bacteria quede con mayor persistencia en el suelo y con el calcio necesario para subir el pH.

La respuesta al encalado varía de acuerdo con la leguminosa y con la cepa de *Rhizobium* que se utilicen (Munns y Fox, 1977). Gibson (1976), encontró respuestas negativas al encalado cuando se hizo en suelos con pH superiores al del óptimo, Estos efectos negativos se manifiestan como deficiencias de Zn, B, Fe, y además por la escasa nodulación, lo cual se puede deber a que se reduce la capacidad competitiva de las cepas inoculadas. Para evitar estas complicaciones Graham y Chatel (1983; citados por Robleto, 1988), sugieren seleccionar cepas y cultivares que sin encalamiento, o con niveles moderados de cal, puedan nodular, fijar nitrógeno y producir rendimientos aceptables.

III. MATERIALES Y METODOS

A. Localización

El experimento se llevó a cabo en las terrazas de La Vega 1 del Departamento de Agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, situada en el valle del río Yeguare (Departamento de Francisco Morazán, Honduras), 14° 00' latitud norte y 87° 02' longitud oeste.

B. Clima

La Escuela Agrícola Panamericana se encuentra a 800 msnm. Tiene una temperatura promedio de 22°C y una precipitación promedio anual de 1015 mm. El Cuadro 1, muestra la temperatura y precipitación promedio en las que se llevó a cabo el experimento.

C. Suelo

El suelo donde se llevó a cabo el experimento es miembro de la familia mediana sobre gruesa mixto, isohipertérmico del mollic ustifluent, profundos, bien drenados y con una permeabilidad moderada en el perfil, desarrollado a partir de depósitos aluviales recientes derivados de materiales extrusivos acidez del terciario, principalmente riolitas. La topografía es plana o casi plana con pendientes entre 0-2 % con ligero grado de erosión. La capa superficial es de color grisáceo muy oscuro

Cuadro 1. Promedio de temperaturas máximas y mínimas y precipitación durante el desarrollo del experimento. El Zamorano, Honduras, 1989.

Mes	Temperatura (°C)		Precipitación (mm)
	Mínima	Máxima	
Julio	16.5	30.6	138.3
Agosto	16.5	32.9	311.6
Septiembre	16.7	32.2	287.9
Octubre	16.3	30.2	167.9
Noviembre	15.0	30.6	13.3
Promedio	16.2	31.3	179.8

a negro, textura mediana y con una profundidad aproximada de 46 cm. El subsuelo tiene un espesor aproximado de 50 cm, es de color pardo grisáceo muy oscuro, textura gruesa, consistencia friable, sin adherencia y no plástico. El Cuadro 2, muestra el análisis de suelo respectivo.

D. Preparación del Terreno

La preparación del terreno consistió de una arada, dos rastreadas y una surcada. Para facilitar el drenaje se hicieron canales que a la vez separaron las parcelas experimentales.

E. Siembra

El experimento se sembró por primera vez el 20 de junio de 1989. Se sembró de nuevo el 6 de julio del mismo año debido a que las plántulas de la primera siembra fueron dañadas por los pájaros. La siembra se realizó a 0.07 m entre posturas de dos semillas. Dos semanas después de la siembra se raleó dejando una planta por postura para obtener una población aproximada de 238,000 plantas por hectárea.

F. Material Vegetal

El material vegetal usado fue el cultivar Siatsa 194, el cual es fotoinsensible y de crecimiento semideterminado. Es un cultivar adaptado a las condiciones climáticas de Honduras.

Cuadro 2 . Resultado del análisis de suelo de la Vega 1 del Departamento de Agronomía, Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras, 1989.

Textura	Franco
pH	5.60
Materia Orgánica (%)	1.79
Nitrógeno (%)	0.12
Fósforo (ppm)	21.10
Potasio (ppm)	394.00
Calcio (ppm)	2180.00
Magnesio (ppm)	181.00

G. Inoculación

La inoculación se hizo con un inoculante a base de Bradyrhizobium japonicum, cepa USDA 110, preparado en el Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana. La inoculación se hizo momentos antes de la siembra. Se utilizaron 4 g de inóculo diluidos en 20 ml de agua y una cucharada de azúcar por kg de semilla.

H. Diseño Experimental

El diseño experimental fue de parcelas divididas con un arreglo factorial 4 x 3 con seis repeticiones. La parcela principal estaba constituida por los niveles de cal y la subparcela por los niveles de P.

I. Tratamientos

Se usaron tres niveles de cal (0, 500, y 1000 kg/ha) aplicados en forma de hidróxido de calcio y cuatro niveles de fósforo (0, 20, 40, y 60 kg/ha de P_2O_5) aplicados en forma de superfosfato triple (0-46-0), para un total de doce tratamientos (Cuadro 3). Los niveles de 0, 500, y 1000 kg/ha de cal, equivalen a 0, 2.85 y 5.70 kg de hidróxido de calcio por parcela, respectivamente. La cal se aplicó al voleo y se incorporó 10 días antes de la siembra. Los niveles de 0, 20, 40, y 60 kg/ha de P_2O_5 equivalen a 0, 120, 240 y 360 g de superfosfato triple por parcela, respectivamente. El superfosfato se aplicó al fondo del surco al igual que

Cuadro 3 . Relación de los tratamientos incluidos en el experimento. El Zamorano, Honduras, 1989.

Tratamiento número	Calcio (kg/ha Ca(OH)_2)	Fósforo (kg/ha P_2O_5)
1	0	0
2	0	20
3	0	40
4	0	60
5	500	0
6	500	20
7	500	40
8	500	60
9	1000	0
10	1000	20
11	1000	40
12	1000	60

el furadan (carbofuran), momentos antes de la siembra.

J. Parcela Experimental

La parcela experimental constó de cuatro surcos de 5 m de largo, distanciados 0.60 m, totalizando 12 m². La parcela útil consistió de los dos surcos centrales menos 0.50 m que se dejaron de borde para totalizar 4.8 m². La parcela útil se dividió en tres partes: 1.2 m² para los datos de nodulación, 1.2 m² para los datos de nitrógeno total y 2 m² para los datos de rendimiento.

K. Datos Tomados

1. Nodulación

La nodulación se evaluó cuando la planta se encontraba en la etapa de desarrollo R1 (50 % de las plantas con al menos una flor abierta), porque en esta etapa es cuando la planta alcanza el mayor número de nódulos (Ritchie, et al. 1985). Las muestras se obtuvieron de 10 plantas (cinco de cada surco). El sistema radical se extrajo intacto para no dañarlo. El número de nódulos por parcela se determinó después de lavar las raíces y secarlas al sol. El peso seco de los nódulos se obtuvo después de que se secaron por dos días a 65°C en un horno. El peso seco del follaje y del sistema radical se determinó después de haber sido secados por tres días a 65°C, y así conocer el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de la planta de soya en esta etapa de desarrollo.

2. Nitrógeno total

Los análisis para obtener el nitrógeno total se hicieron cuando las plantas se encontraban en la etapa de desarrollo R6 (llenado de vainas). Las muestras se obtuvieron de la parte aérea de la planta. Se secaron en un horno a 65°C por tres días, se molieron y se analizaron por medio del método de Kjeldhal (AOAC, 1970).

3. Rendimiento

Los componentes de rendimiento se anotaron cuando las plantas se encontraban en la etapa R8 (madurez fisiológica). El número de vainas por planta y el número de semillas por vaina se determinaron, respectivamente, en 10 plantas y 10 vainas, tomadas al azar. El peso de 100 semillas se obtuvo de las semillas de rendimiento por parcela. El rendimiento de grano por parcela útil se pesó y se ajustó a kg/ha a 14% de humedad de grano.

4. Precocidad

Otros datos anotados fueron los días a germinación, a la floración, al llenado de vainas y los días a madurez fisiológica. Estos datos fueron tomados de 10 plantas de cada parcela cuando el 50% de las plantas germinaron, florecieron, llenaron vainas y maduraron, respectivamente para estudiar el efecto de los tratamientos sobre la precocidad de las variables anteriores. Además se utilizó una escala para medir el acame al momento de la cosecha, 1, 2, y 3 que equivalen a bajo, medio y alto, respectivamente.

L. Combate de Malezas

Las malezas, principalmente coyolillo (Cyperus rotundus) y titonia (Titonia rotundifolia) se combatieron con deshierbas manuales (azadón) hasta que el cultivo alcanzó la cobertura necesaria para evitar la competencia. Se realizaron deshierbas a los 10, 30 y 45 días después de siembra.

L. Combate de Insectos

Los insectos, principalmente chupadores de las familias Cicadellidae y Pentatomidae, y los defoliadores de la familia Crysomelidae, se combatieron con MTD-600 (metamidofos). El Cuadro 4, muestra los detalles de fechas, producto y dosis utilizados en el combate de los insectos.

M. Combate de Enfermedades

No se presentaron problemas de enfermedades en ninguna fase del cultivo.

M. Análisis de Datos

Se realizaron análisis de varianza, correlación simple y contrastes ortogonales de las variables en estudio, empleando el programa de computación MSTAT-C.

Quadro 4 . Combates fitosanitarios realizados durante el experimento. El Zamorano, Honduras, 1989.

Fecha	Producto	Dosis	Control
20-07-89	MTD-600	1.5 L/ha	Chupadores ^x Coleópteros ^y
11-08-89	MTD-600	1.5 L/ha	Coleópteros
07-09-89	MTD-600	1.5 L/ha	Chupadores ^z

^x Empoasca kraemeri

^y Familia Chrysomelidae

^z Familia Pentatomidae

IV. RESULTADOS

Los resultados muestran que los tratamientos con P no causaron diferencias en la nodulación ni en el crecimiento, al inicio de la floración (etapa R1) (Cuadro 5). Las aplicaciones de Ca afectaron significativamente el PSN. Las variables de crecimiento PSF, PSR y la altura de la planta no fueron afectados. Tampoco se encontraron interacciones significativas entre el P y el Ca para estas variables.

En el muestreo llevado a cabo al momento del llenado de vainas (etapa R6), se encontró que el contenido de N en las plantas no fue afectado por los tratamientos (Cuadro 5). La altura de las plantas y el acame tampoco mostraron diferencias estadísticas a causa de los tratamientos.

En el muestreo realizado a la madurez fisiológica (etapa R8) se encontró que los tratamientos con P no afectaron ninguna de los componentes de rendimiento ni el rendimiento per se (Cuadro 7). Se apreciaron aumentos significativos en el número de racimos por planta (NRP) como respuesta a la aplicación de 500 y 1000 kg/ha de cal. El número de vainas por planta (NVP) aumentó conforme aumentaron las dosis de Ca, pero no hubo diferencias estadísticas significativas. Se encontró una interacción significativa entre Ca y P para el NRP. Aparentemente el NRP varía más con las dosis altas de Ca y con

Cuadro 5 . Valores promedios de variables de la nodulación y el crecimiento en plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras, 1989.²

Tratamiento	Número Nódulos	Peso Seco		
		Nódulos(mg)	Follaje(g)	Raíz(g)
<u>Niveles de Ca</u>				
0	95	917	142.6	32.5
500	91	727	132.0	30.5
1000	95	777	139.9	29.0
Valor F	ns	*	ns	ns
DMS (0.05)	--	110	--	--
<u>Niveles de P</u>				
0	94	827	138.5	30.6
20	90	797	137.8	29.3
40	94	828	134.9	30.8
60	97	837	141.5	32.0
Valor F	ns	ns	ns	ns
DMS (0.05)	--	--	--	--
<u>Interacción Ca x P</u>				
0 x 0	98	970	140.5	33.0
0 x 20	84	780	133.7	27.2
0 x 40	114	1044	148.5	36.0
0 x 60	85	874	148.0	34.0
500 x 0	83	710	126.0	30.2
500 x 20	96	855	133.8	30.0
500 x 40	85	672	127.2	29.5
500 x 60	99	852	141.0	32.5
1000 x 0	101	800	149.0	28.7
1000 x 20	90	755	146.0	30.8
1000 x 40	84	767	129.2	27.0
1000 x 60	107	784	135.7	29.7
Valor F	ns	ns	ns	ns
DMS (0.05)	--	--	--	--
C.V. (%) ^x	27.8	23.5	13.0	16.5

² Datos basados en muestras de 10 plantas.

*. ns Significativo al $P \leq 0.10$ y no significativo, respectivamente.

^x Coeficiente de Variación.

Cuadro 6. Valores promedios de altura de planta y contenido de nitrógeno en plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras, 1989.

Tratamientos	Altura ^z planta (cm)	Contenido ^y nitrógeno (mg/pl)
<u>Niveles de Ca</u>		
0	93.9	397.4
500	96.1	395.7
1000	95.0	403.7
Valor F	ns	ns
DMS (0.05)	---	--
<hr/>		
<u>Niveles de P</u>		
0	96.1	356.8
20	94.4	392.6
40	95.7	394.5
60	93.7	451.8
Valor F	ns	ns
DMS (0.05)	--	--
<hr/>		
<u>Interacción Ca x P</u>		
0 x 0	97.8	333.8
0 x 20	89.7	422.9
0 x 40	94.8	406.0
0 x 60	93.2	427.0
500 x 0	94.5	315.2
500 x 20	97.9	377.0
500 x 40	96.0	393.3
500 x 60	97.7	497.1
1000 x 0	98.1	421.4
1000 x 20	95.6	377.8
1000 x 40	96.3	384.2
1000 x 60	90.1	431.4
Valor F	ns	ns
DMS (0.05)	---	---
<hr/>		
C.V. (%) ^x	7.57	20.1

^z Datos tomados de 10 plantas a la madurez fisiológica.

^y Datos tomados de 5 plantas.

^x Coeficientes de variación.

^{ns} no significativo.

Cuadro 7 . Valores promedios de rendimiento y componentes de rendimiento en plantas de soya, sometidas a tratamiento con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras, 1989.

Tratamientos	Componentes de Rendimiento ^y				Rendto. kg/ha
	Racimos Planta	Vainas planta	Semillas vaina	Peso 100 semillas(g)	
<u>Niveles de Ca</u>					
0	23.2	53.0	2.3	22.5	2088
500	25.2	56.5	2.1	22.6	2172
1000	26.0	57.9	2.1	22.3	2166
Valor F	*	ns	ns	ns	ns
DMS (0.05)	1.8	--	--	--	--
<u>Niveles de P</u>					
0	25.4	60.0	2.2	22.4	2156
20	25.3	55.9	2.3	22.5	2159
40	24.0	54.2	2.2	22.4	2110
60	24.4	53.1	2.2	22.6	2142
Valor F	ns	ns	ns	ns	ns
DMS (0.05)	--	--	--	--	--
<u>Interacción Ca x P</u>					
0 x 0	24.8	58.6	2.3	22.5	2123
0 x 20	22.9	51.9	2.4	22.2	2054
0 x 40	21.5	51.4	2.2	22.5	2127
0 x 60	23.7	50.0	2.1	22.7	2047
500 x 0	22.7	54.4	2.2	22.6	2106
500 x 20	28.3	60.3	2.2	22.7	2220
500 x 40	24.1	53.9	2.1	22.4	2121
500 x 60	25.5	57.3	2.1	22.7	2141
1000 x 0	28.8	67.0	2.2	22.3	2239
1000 x 20	24.7	55.6	2.3	22.7	2203
1000 x 40	26.6	57.3	2.0	22.3	2082
1000 x 60	24.0	52.0	2.0	22.2	2139
Valor F	**	ns	ns	ns	ns
DMS (0.05)	3.9	---	--	--	---
C.V. (%) ^x	13.7	14.8	7.5	2.9	10.7

^z Datos tomados a la madurez fisiológica.

^y Datos tomados en 10 plantas.

^x Coeficiente de variación.

*,**,ns Significativo al $P \leq .10$, $P \leq .05$, y no significativo, respectivamente.

los niveles bajos de P. En términos de esta variable los valores óptimos parecen estar entre 500 y 1000 kg/ha de Ca y 0 y 20 kg/ha de P. Ninguno de los tratamientos afectó significativamente el rendimiento.

El Cuadro 8 muestra los coeficientes de correlación para las diferentes variables estudiadas. El número de nódulos por planta (NN) presentó una correlación positiva con el peso seco de los nódulos (PSN), el peso seco raíces (PSR), y el peso seco del follaje (PSF). El PSN estuvo correlacionado positivamente con el PSR y el PSF. Los aumentos en el PSR coincidieron significativamente con los aumentos en el PSF. La altura de la planta estuvo correlacionada positivamente con el NRP, NVP y con el rendimiento. Los aumentos de NRP coincidieron con el aumento de NVP y estos a su vez con el rendimiento (Cuadro 9).

El Cuadro 10 muestra los contrastes ortogonales encontrados entre las variables estudiadas. El PSN, PSR, NRP, NVP y NSV muestran respuesta lineal a las aplicaciones de Ca. Para ninguno de los tratamientos se obtuvo respuesta cuadrática. El NVP y NSV muestran respuesta lineal a las aplicaciones de P para dichos tratamientos. Tampoco se obtuvieron respuestas cuadráticas.

Los días a la germinación, a la floración y a la madurez fisiológica no fueron afectados por ninguno de los tratamientos aplicados en el experimento.

Cuadro 8 . Coeficientes de correlación simple de las variables de nodulación y crecimiento en plantas de soya, sometidas a tratamientos con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras, 1989.

Variables	Peso Seco		
	Nódulos	Raíz	Follaje
Número de nódulos	0.66**	0.50 ⁺	0.05 ⁺
Peso seco nódulos	--	0.76***	0.62**
Peso seco raíz	ns	---	0.60**
Peso seco follaje	ns	ns	--
Altura de planta	ns	ns	ns

+,**,***,ns Significativo al $P \leq 0.10$, ≤ 0.05 , ≤ 0.01 , y no significativo, respectivamente.

Cuadro 9 . Coeficientes de correlación simple entre el rendimiento y sus componentes en plantas de soya, sometidas a tratamientos con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras, 1990.

Variables	Racimos planta	Vainas Planta	Rendimiento
Altura planta	0.70***	0.77***	0.70***
Racimos/planta	--	0.87***	0.62**
Vainas/planta	ns	---	0.69**
semillas/vaina	ns	ns	ns
Peso 100 semillas	ns	ns	ns

*,**,***,ns Significativo al $P \leq 0.10$, ≤ 0.05 , ≤ 0.01 y no significativo, respectivamente.

Cuadro 10 . Contrastes ortogonales de las variables de crecimiento y rendimiento de plantas de soya, sometidas a tratamientos con calcio y fósforo. El Zamorano, Honduras, 1990.

Variable	Calcio		Fósforo	
	Lineal	Cuadrática	Lineal	Cuadrática
Número nódulos	ns	ns	ns	ns
PS nódulos	**	ns	ns	ns
PS raíz	*	ns	ns	ns
PS follaje	ns	ns	ns	ns
Altura planta	ns	ns	ns	ns
N racimos/planta	***	ns	ns	ns
N vainas/planta	**	ns	**	ns
N semillas/vaina	**	ns	***	ns
Peso 100 semillas	ns	ns	ns	ns
Rendimiento	ns	ns	ns	ns

*, **, ***. ns Significativo al $P \leq 0.10$, ≤ 0.05 , ≤ 0.01 y no significativo, respectivamente.

V. DISCUSION

En el presente experimento los tratamientos de P no tuvieron ningún efecto sobre el NN, PSN, PSF y PSR (Cuadro 5). Los resultados obtenidos por Graham y Rosas (1979) y Pereira y Bliss (1987) indican aumentos significativos en la nodulación y el crecimiento de plantas de frijol (Phaseolus vulgaris) utilizando niveles intermedios de P. Jimenez y Villalobos (1980), encontraron aumentos significativos en la nodulación y el crecimiento de plantas de soya, utilizando niveles de 150 y 300 kg P/ha, en suelos con fertilidad moderadamente baja. La diferencia, con estos resultados se pudo deber a que los suelos donde se realizó el presente experimento tienen una alta fertilidad y alto contenido de P, por lo cual las aplicaciones no tuvieron ningún efecto sobre las variables antes mencionadas, ya que la capacidad para almacenar P en suelos con alto contenido, es menor que la absorción y la eficiencia de utilización cuando se utilizan bajos niveles de fertilización (Beck y Munns, 1984). Es posible, por otro lado, que los niveles utilizados fueron muy bajos por lo que su efecto no se reflejó en ninguna de las variables antes mencionadas.

Los tratamientos con Ca no afectaron el NN, PSF y PSR (Cuadro 5). Sin embargo, los resultados publicados por Franco y Day (1980) quienes, trabajando en frijol en suelos con diferentes pH, indican aumentos significativos en las variables de

nodulación y crecimiento, en suelos con un pH de 5.1. La diferencia en los resultados se debió, posiblemente, a que las condiciones de suelo (pH y contenido de Ca) en que se llevó a cabo este experimento no fueron tan bajas, por lo que no permitieron que las aplicaciones de Ca tuvieran un efecto estadísticamente significativo sobre dichas variables. El PSN se redujo significativamente en los tratamientos con Ca, debido, posiblemente, a lo citado por Freire (1982), quien menciona que debe existir una proporción de 225:1 entre el calcio y el magnesio en los nódulos, y que al tener un pH relativamente alto, el Mg se hace menos disponible lo cual no permite que los nódulos se desarrollen completamente.

Se obtuvieron respuestas lineales decrecientes para el PSN y PSR, al aumentar los niveles de Ca. Sin embargo, Alva *et al.* (1987), encontraron aumentos significativos en el PSN y PSR, cuando aplicaron diferentes concentraciones de Ca en medios de cultivo con pH de 5.5. Franco Y Day (1980), obtuvieron aumentos en la cuando aplicaron niveles de carbonato de calcio superiores a 4 t/ha. La practica del encalamiento y las aplicaciones de Ca han sido cuestionadas (Fotch y Hernández, 1985), ya que las leguminosas tropicales y las cepas con que nodulan presentan respuestas muy variables a estas prácticas. Esto podría ser la causa de las respuestas lineales decrecientes encontradas en el presente experimento al aplicar niveles hasta de 1000 kg/ha de hidroxido de calcio.

No hubo interacción entre el Ca y el P para las variables de

nodulación y crecimiento. Esto no coincide con lo citado por Jones et al. (1977), que mencionan que no se obtiene una respuesta positiva al P a menos que este sea acompañado por encalamiento. Indican que esta práctica permite que la disponibilidad de P sea mayor, principalmente cuando las aplicaciones de Ca se hacen con anticipación para permitir que el resultado se refleje durante el ciclo del cultivo.

El rendimiento y sus componentes no fueron afectados por el P (Cuadro 7). Jones, et al. (1977), obtuvieron resultados similares quienes trabajando con soya, en suelos con pH de 6.9, con niveles intermedios de P similares a los del presente experimento (entre 0 y 60 kg P/ha), no obtuvieron respuestas significativas en el rendimiento. Sin embargo, los resultados obtenidos por Jiménez y Villalobos (1980), indican respuestas altamente significativas a las aplicaciones de P (en niveles de 150 y 300 kg P₂O₅/ha) en la nodulación y rendimiento de la soya, lo que nos vuelve a sugerir que los niveles de P usados en el presente experimento fueron bajos por lo que no tuvieron ningún efecto estadísticamente significativo en el rendimiento.

Las respuestas lineales obtenidas en los niveles de P para las variables NVP y NSV de deben, probablemente, a que las leguminosas, cuando dependen de la simbiosis, tienen un crecimiento radical y una distribución de materia seca diferentes (Cassman et al., 1980). Además, son dependientes, en mayor grado, de los procesos de transferencia de energía, y requieren niveles de P superiores a aquellas especies a las que

se les suple con fertilizantes nitrogenados (Graham y Rosas, 1979). Los resultados, concuerdan con los de Silva y Gómez (1977), que indican aumentos en las variables de rendimiento con niveles de hasta 160 kg P_2O_5 /ha.

Las aplicaciones de Ca no afectaron el rendimiento; sin embargo, dichas aplicaciones afectaron positivamente el NRP, posiblemente debido a que cuando se tiene un pH óptimo o superior al óptimo las aplicaciones de Ca reducen la capacidad competitiva de las cepas inoculadas (Gibson, 1978), originando una menor competencia en la distribución de los carbohidratos entre los nódulos y la formación de vainas y racimos (Graham, 1981). A pesar de ello, ninguno de los tratamientos con Ca afectó el rendimiento, ya que ninguno de los niveles afectó la variable NVP, que es la variable que tiene mayor efecto en el rendimiento de las leguminosas (Haag *et al.*, 1980).

Se obtuvieron respuestas lineales significativas a las aplicaciones de calcio en las variables NRP, NVP y NSV (Cuadro 10), coincidiendo con Franco y Day (1980) quienes informan de aumentos en niveles hasta de 4 t/ha de carbonato de calcio. Las respuestas lineales se deben, posiblemente, a que este elemento aumenta la asimilación y la absorción de otros nutrientes necesarios para el crecimiento y producción de la soya (FAO, 1978).

Hubo interacción Ca y P para el NRP, probablemente, debido a que el Ca mejora la disponibilidad del P, el cual provoca un incremento del sistema radical lo que permite una mayor

absorción de nutrimentos por la planta.

El contenido de N en la planta no se afectó por ninguno de los tratamientos (Cuadro 6), coincidiendo con Chesney (1973) y Jiménez y Villalobos (1980), quienes encontraron que con diferentes niveles de fertilización en soya (hasta 300 kg P/ha), no se afectó el contenido de nitrógeno pese a que ellos obtuvieron aumentos en la nodulación. Por otro lado, estos resultados no se asemejan a los de Singleton *et al.* (1985), quienes, utilizando niveles hasta de 400 kg P/ha encontraron que los aumentos en los niveles de P incrementan la concentración de N en la planta. Además, Israel y Rufty (1988) indican que al aumentar el contenido de P en el medio de cultivo se aumenta el contenido de N en la planta. Esta diferencia con el presente trabajo se pudo deber a que las cantidades de aplicadas, por ser inferiores al óptimo, el P sea utilizado completamente para el crecimiento radical y el transporte de productos sin que se produzca una acumulación en la biomasa.

El NN y PSN tuvieron una correlación positiva con el PSR y PSF (Cuadro 8). Pereira y Bliss (1987), encontraron resultados similares y explican que al aumentar el NN hace que aumente la cantidad de N fijado por la planta, lo cual se refleja en un aumento del crecimiento, tanto de la raíz como del follaje. Ninguna de las variables de nodulación estuvieron positivamente correlacionadas con el rendimiento. Sin embargo, Graham y Rosas (1979), encontraron correlaciones significativas entre los niveles de fertilización fosforada, la nodulación y el

crecimiento con el rendimiento, en varios genotipos de frijol. Esto se puede atribuir, principalmente, a que ninguno de los tratamientos afectó positivamente la nodulación.

En el presente experimento hubo correlaciones positivas altamente significativas entre la altura de las plantas y el NRP y el NVP (Cuadro 9), las que a la vez, estuvieron correlacionadas con el rendimiento, posiblemente debido a que al aumentar la altura de la planta aumenta el número de yemas florales axilares y por consiguiente el número de nudos por planta, aumentando así, el NRP, NVP y consecuentemente el rendimiento.

VI. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el experimento se puede concluir que:

1. La fertilización fosforada no afectó significativamente la nodulación, el crecimiento o el rendimiento de la soya. Los niveles de fósforo usados en el experimento fueron muy bajos o el nivel de este elemento en el suelo fue lo suficientemente alto, por lo que posiblemente no se detectó efecto alguno.
2. El peso seco de los nódulos se redujó linealmente conforme aumentaron los niveles de calcio, mientras que el número de racimos por planta aumentó linealmente con los niveles de calcio.
3. La fijación biológica de nitrógeno proveyó el nitrógeno suficiente para producir rendimientos aceptables, a juzgar por la presencia y características de los nódulos.

VII. RESUMEN

La soya (Glycine max (L.) Merr.) es la oleaginosa de grano más importante a nivel mundial en terminos de mercadeo y producción. En Honduras, a pesar que el cultivo de soya ha sido promovido durante varios años por diversas instituciones gubernamentales, la extensión de esta leguminosa no ha sido satisfactoria. La soya tiene una alta capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, lo que es importante por proveer el nitrógeno requerido para el crecimiento de las plantas y reducir las inversiones de fertilizantes nitrogenados, ayudando así a reducir los problemas de contaminación. En la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras, se llevó a cabo un experimento a nivel de campo para estudiar los efectos del fósforo y el encalado en la nodulación y el rendimiento de la soya. Los niveles de cal afectaron negativamente la nodulación (PSN) y positivamente el crecimiento (NRP). Hubo una interacción entre el calcio y fósforo para el NRP. El rendimiento no fue afectado significativamente por los factores, ni hubo interacción en el experimento. La poca respuesta a los factores en estudio se aduce principalmente a que los niveles utilizados fueron muy bajos y a que los niveles de estos elementos presentes en el suelo eran suficientemente altos y no permitieron que se reflejaran en la nodulación y el rendimiento.

VII. LITERATURA CITADA

- ALVA, A.K.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J.; SUTHIPRADIT, S. 1987. Effects of acid soil infertility factors on growth and nodulation of soybean. *Agronomy Journal* 79:302-306.
- AOAC (Asociation of Agricultural Chemist). 1970. Official methods of analysis of the A.O.A.C. Edition II. Washington, D.C. 957 p.
- BHARATI, M.P.; WHIGMAN, D.K.; VOSS, R.D. 1986. Soybean response to tillage and nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. *Agronomy Journal* 79:947-950.
- BECK, D.P.; MUNNS, D.N. 1984. Phosphate nutrition of Rhizobium spp. *Applied and Environment Microbiology*. 47:278-282.
- CASSMAN, K.G.; WHITNEY, A.S.; STOCKINGER, K.R. 1980. Root growth and dry matter distribution of soybean as affected by phosphorus stress, nodulation and nitrogen source. *Agronomy Journal* 20:239-244.
- CASSMAN, K.G.; WHITNEY, A.S.; FOX, R.L. 1981. Phosphorus requirements of soybean and cowpea as affected by mode of N nutrition. *Agronomy Journal* 78:947-950.
- CHESNEY, H.A. 1973. Performance of soybean in the wet tropics as affected by N, P and K. *Agronomy Journal* 65:887-889.
- DEMOOY, G.J.; BARKER, J. 1966. Nodulation response of soybean to added phosphorus, potassium and calcium salts. *Agronomy Journal* 58:275-280.
- DUKE, J.A. 1981. Handbook of legumes of the world economic importance. New York. Plenum Press. p.348.
- FAO. 1980. La producción de soya en los trópicos. FAO. Roma, Italia. p.23-25.
- FRANCO, A. 1978. Nutritional restraints for tropical grain legumes symbiosis. p.237-238. In: Exploting the legumes-Rhizobium symbiosis in tropical agriculture. Ed. by J.M. Vincent, Whitney, A.S. and J. Bose. College Tropical Agriculture Miscelaneous Publication 145, University of Hawaii.
- FRANCO, A.A.; DAY, J.M. 1980. Effects of lime and molibdenum on nodulation and nitrogen fixation of Phaseolus vulgaris L. in acid soils of Brazil. *Turrialba (Costa Rica)* 30:99-105.

- FREIRE, J.R. 1982. Important limiting factors in soil for the Rhizobium legume symbiosis. p.51-74. In: Biological Nitrogen Fixation. Ed. by M. Alexander. Plenum Press, New York.
- GIBSON, A.H. 1976. N₂ input into crops. p. 400-427. In: First symposium of nitrogen fixation. Ed. by W.E. Newton and C.J. Nyman. Washington State University Press.
- GRAHAM, P.H. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in Phaseolus vulgaris : A review. Field Crops Research 4:93-111.
- GRAHAM, P.H.; ROSAS, J.C. 1979. Phosphorus fertilization and symbiotic nitrogen fixation in common bean. Agronomy Journal 71:925-926.
- HAAG, W.L.; ADAMS, M.W.; WIERSMAN, J.B. 1978. Differential response of dry bean genotypes to N and P fertilization of a Central American soil. Agronomy Journal 70:565-568.
- HALLMARK, W.B.; BARKER, S.A. 1984. Root growth and morphology nutrients uptake and nutrient status of early growth of soybean as affected by soil P and K. Agronomy Journal 76:209-212.
- HICKS, P.M.; LOYNACHAN, T.E. 1987. Phosphorus fertilization reduces vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and changes nodule occupancy of field grown soybean. Agronomy Journal 79:841-844.
- ISRAEL, D.W.; RUFTY, T.W. 1988. Influence of phosphorus nutrition and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological responses in soybeans. Crop Science 28:954-960.
- ISWARAN, V.; SARMA, K.S.; COMHAIRE, M. 1970. Soil and fertility, legumes and rhizobium efficiency. Agri. Digest. 19:3-19.
- JIMENEZ, T.; VILLALOBOS, E. 1980. Respuesta del frijol soya a la inoculación con Rhizobium japonicum y a la fertilización con nitrógeno y fósforo en Costa Rica. Agronomía costarricense 4:1-8.
- JONES, G.A.; LUTZ, J.A.; SMITH, T.J. 1977. Effects of phosphorus and potassium on soybean nodulation and seed yield. Agronomy Journal 69:1003-1005.
- LAZU, 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.

- LEON, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. San José. Costa Rica, IICA. p. 277-284. (Colección libros y materiales educativos IICA. Num. 84).
- MUNNS, D.A. 1970. Nodulation of Medicago sativa in solution culture. V. calcium and pH requirements during infection. Plant and Soil 39:90-102.
- MUNNS, D.; FOX, R. 1977. Mineral nutrition and the legume symbiosis. p. 353-359. In: A treatise on dinitrogen fixation. section IV: Agronomy and Ecology. Ed. by R.W. Hardy and A.H. Gibson. New York, EE.UU.
- O'HARA, G.W.; BONKERD, N.; DILWORTH, M.J. 1989. Mineral constraints to nitrogen fixation. Plant and Soil 108:93-110.
- PEREIRA, P.A.; BLISS, F.A. 1987. Nitrogen fixation and plant growth of common bean (Phaseolus vulgaris) at different levels of phosphorus availability. Plant and soil 104:79-84.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. 1985. How a soybean plant develop. Iowa State University, Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, EE.UU. 20 p.
- ROBLETO, E. 1988. Efecto de la fertilización con calcio, fósforo y molibdeno en la fijación de nitrógeno y rendimiento en el frijol común. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 52 p.
- RODRIGUEZ, M. 1989. Notas del curso de Nutrición Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras.
- ROSAS, J.C.; YOUNG, R. 1989. El cultivo de la soya. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. p. 55-56.
- SARTAIN, J.B.; KAMPRATH. 1976. Effect of soil al saturation on nutrient concentration of soybean tops, roots and nodules. Agronomy Journal 69:843-845.
- SINGLETON, P.W.; BOHLOOL, B.B. 1983. Effect of salinity on nodule formation by soybean. Plant Physiology 74:72-76.
- SINGLETON, P.W.; BURTON, J.; CADY, F.; DAVIS, R.; HALLIDAY, J. 1987. Developing cost-effective Rhizobium technology for the tropics and subtropics. University of Hawaii, Nifal Project. p. 275-283.
- SINGLETON, P.W.; ABDELMAGID, H.M.; TAVARES, J.M. 1985. Effect of phosphorus on the effectiveness of strains of Rhizobium japonicum. Soil Science society of America Journal 49:613-616.

- VINCENT, J.M. 1982. Nitrogen fixation in legumes. Academic Press, New York. 288 p.
- WILCOX, J.R. 1987. Soybean: Improvement, production and uses. Agronomy No. 16. Second Edition. Madison, Wisconsin, EE.UU. p. 315-320.
- WYNNE, J.O.; BLISS, F.A.; ROSAS, J.C. 1987. Principles and practices of field designs to evaluate symbiosis fixation. p. 371-389. In: Symbiotic Nitrogen Fixation. Ed. by G.H. Elkan. Marcel Dekker Inc., New York.

APENDICE 1. Variables en estudio y observaciones tomadas en el transcurso del experimento. El Zamorano, Honduras, 1989.

Lista de Variables

Var.	Descripción
1	Repetición
2	Factor A (Cal)
3	Factor B (Fósforo)
4	No. de nódulos (g)
5	Peso seco nódulos (g)
6	Peso seco raíz (g)
7	Peso seco follaje (g)
8	Altura de planta (cm)
9	No. de racimos por planta
10	No. de vainas por planta
11	Acame
12	Peso seco de 100 semillas
13	Contenido de N (mg)
14	Rendimiento (kg/ha)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2	4	1046	9.19	32	154	97.1	25.4	57.8	2	22.9	5559.4	2612
1	2	1	693	6.24	45	110	94.1	21.0	58.6	2	22.5	3102.0	2460
1	2	3	729	4.46	31	120	98.7	24.0	60.6	2	21.6	3252.0	1964
1	2	2	340	2.18	23	93	91.6	25.8	58.8	1	22.6	2352.9	2064
1	1	4	608	5.23	23	162	92.7	20.8	43.4	2	22.9	4568.4	2156
1	1	3	1250	11.14	36	144	83.5	19.8	42.8	2	22.1	4665.6	1862
1	1	1	804	8.00	29	134	97.5	19.8	41.2	2	22.4	3390.2	2142
1	1	2	742	7.52	27	138	89.3	19.6	45.0	1	22.0	3574.2	1957
1	3	3	730	8.48	30	147	96.7	23.2	45.8	1	21.9	3513.3	2061
1	3	4	1354	10.58	29	143	90.4	18.8	40.6	2	21.4	6177.6	2121
1	3	1	1030	7.45	24	121	93.5	30.4	60.2	2	20.2	5638.6	2004

Apéndice 1. (Cont.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	3	2	657	5.89	28	120	89.5	22.6	49.6	2	22.5	3828.0	2075
2	1	4	692	6.77	34	130	90.3	21.2	50.6	2	23.1	4199.0	2195
2	1	3	966	9.31	33	163	95.3	19.4	44.2	1	22.7	3227.4	2161
2	1	1	1166	10.20	29	134	95.6	25.4	55.0	1	22.3	3912.8	2074
2	1	2	802	8.80	27	140	87.9	25.0	53.8	1	21.4	2548.0	1943
2	3	3	1008	8.36	24	117	80.8	22.0	43.6	1	21.2	2925.0	1935
2	3	4	692	5.71	26	123	88.2	21.6	42.0	2	23.0	4243.5	1822
2	3	1	591	6.74	25	146	90.4	24.8	49.8	2	22.9	4058.8	2029
2	3	2	537	5.70	24	145	86.8	18.2	45.8	2	22.9	4799.5	2286
2	2	3	690	7.12	31	114	90.5	20.0	39.8	2	23.0	3522.6	2077
2	2	2	850	7.42	28	139	88.6	25.8	53.0	2	22.1	5740.7	2050
2	2	1	943	7.59	28	113	85.6	24.8	45.6	1	23.1	3254.4	2194
2	2	4	874	7.40	26	67	80.8	21.6	45.4	1	22.3	2264.6	1936
3	2	1	776	7.05	24	132	74.4	22.0	51.0	1	21.1	2336.4	1940
3	2	3	919	7.64	28	132	85.1	22.8	44.6	2	22.3	3841.2	1961
3	2	2	871	7.71	27	147	91.0	31.4	67.0	2	22.6	2793.0	2384
3	2	4	1194	7.44	32	132	94.8	29.4	61.0	2	21.7	5755.2	2117
3	1	4	605	5.55	28	116	90.1	19.6	48.6	1	22.6	2969.6	2135
3	1	3	1170	9.42	34	142	83.8	24.4	60.4	2	22.7	3578.4	1967
3	1	2	806	6.25	24	115	86.3	26.6	63.4	2	22.8	4358.5	2108
3	1	1	954	9.01	24	111	82.5	26.0	55.6	1	21.6	3618.6	2031
3	3	3	513	4.90	24	99	82.2	30.2	60.6	1	22.4	4435.2	2058
3	3	4	535	4.58	24	119	92.9	25.8	58.0	2	22.3	3189.2	2307
3	3	2	1418	11.84	29	134	87.6	30.4	67.4	2	22.3	4288.0	2148

Apéndice 1. (Cont.)

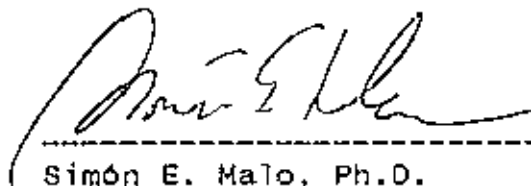
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	3	1	737	8.00	28	138	98.5	26.4	72.2	2	22.3	3960.6	2429
4	3	1	834	7.09	31	139	91.9	30.0	68.4	2	21.6	2349.1	2066
4	3	2	874	6.83	37	126	86.3	27.3	58.6	2	22.3	1953.0	2148
4	3	3	920	7.40	28	134	92.0	31.3	78.4	2	22.6	2224.4	2142
4	3	4	931	7.25	26	126	89.4	31.0	68.6	2	22.7	3578.4	2283
4	2	4	804	7.20	33	145	97.6	30.8	66.6	2	22.6	4132.5	2315
4	2	2	1822	10.30	32	127	99.9	27.8	60.0	2	22.6	4851.4	2314
4	2	1	962	7.42	26	131	90.6	18.2	40.2	2	22.0	4558.8	2020
4	2	3	728	6.10	32	128	79.9	31.0	72.2	2	22.5	4684.8	2191
4	1	1	831	10.34	46	162	90.1	26.2	72.6	2	22.7	2511.0	2042
4	1	3	1118	10.75	32	132	96.7	22.6	57.6	2	22.0	3656.4	2176
4	1	4	1025	12.18	44	166	90.5	34.6	49.6	2	22.8	3552.4	2310
4	1	2	870	8.35	28	126	91.1	24.6	59.4	2	22.3	4775.4	2036
5	1	4	1047	13.77	34	152	84.4	22.2	54.8	2	22.8	5487.2	1300
5	1	1	868	9.55	35	138	98.8	27.0	59.6	2	22.7	3960.6	2316
5	1	3	910	10.23	32	137	97.6	28.0	69.8	2	22.4	3507.2	2766
5	1	2	687	7.46	28	139	82.2	20.4	42.6	2	22.4	5212.5	2011
5	3	4	1420	11.43	45	179	94.6	26.8	54.2	2	20.7	4421.3	1966
5	3	1	1372	9.71	29	157	93.7	31.2	78.4	2	23.2	3375.5	2158
5	3	2	750	6.71	34	171	99.6	28.2	59.8	2	23.4	4326.3	2432
5	3	3	766	9.90	28	133	99.7	23.4	47.6	2	22.1	4056.5	2099
5	2	3	1016	8.92	29	141	98.5	23.6	50.0	2	22.4	4808.1	2400
5	2	4	1010	9.64	34	158	99.9	23.6	58.2	2	23.0	2543.8	2447

Apéndice 1. (Cont.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	2	1	932	9.06	34	140	97.6	23.6	70.4	2	24.1	2646.0	2122
5	2	2	582	11.60	34	144	93.8	27.8	57.0	2	23.3	2491.2	2322
6	3	3	1050	6.99	28	145	99.8	28.8	68.0	2	23.3	5901.5	2200
6	3	2	1140	8.34	33	180	99.7	21.0	52.4	2	21.8	3474.0	2130
6	3	1	1503	9.00	35	193	99.8	29.8	73.2	2	23.0	5905.8	2748
6	3	4	1482	7.50	28	124	85.0	20.4	48.6	2	22.9	4278.0	2336
6	1	3	1424	11.80	49	173	95.5	14.6	33.8	2	23.0	5726.3	1838
6	1	4	1098	8.95	41	162	98.5	24.0	53.2	2	22.1	4843.8	2188
6	1	2	1134	8.41	29	144	96.3	21.6	47.6	2	22.1	4910.4	2271
6	1	1	1238	11.12	35	164	99.8	24.2	68.0	2	22.7	2640.4	2120
6	2	4	1000	10.27	38	190	93.3	22.4	54.8	2	23.6	9576.0	2022
6	2	3	1037	6.10	26	128	99.8	23.2	56.6	2	22.5	3484.4	2136
6	2	1	663	5.30	24	130	95.6	26.6	60.0	2	22.4	3016.0	1912
6	2	2	1317	12.10	36	153	99.9	31.2	66.2	2	22.7	4391.1	2183

Esta tesis fue preparada bajo la dirección del consejero principal del Comité de Profesores que asesoró al candidato y ha sido aprobada por todos los miembros del mismo. Fue sometida a consideración del Jefe y Coordinador del Departamento, Decano y Director de la Escuela Agrícola Panamericana y fue presentada como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo.

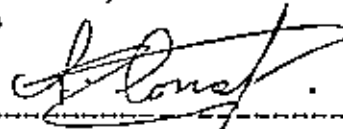
Abril de 1990



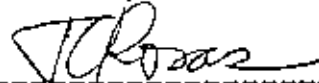
Simón E. Malo, Ph.D.
Director



Jorge Román, Ph.D.
Decano

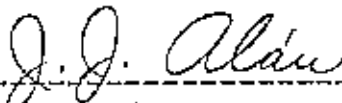


Leonardo Corral, Ph.D.
Jefe del Departamento de Agronomía

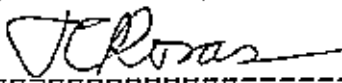


Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Coordinador del Departamento de
Agronomía

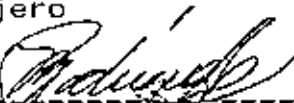
Comité de Profesores:



Juan José Alán, Ph.D.
Consejero Principal



Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Consejero



Marciano Rodríguez, Ph.D.
Consejero