

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Selección y evaluación de cepas de Rhizobium leguminosarum
biovar phaseoli tolerantes al suministro restringido de fósforo

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa
Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos
Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico
Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

por

Mario Alberto Morales Sánchez

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

Departamento de Producción Vegetal

Turrialba, Costa Rica

1987

DEDICATORIA

A ISABEL ,
BLANCA ,
ANA Y
PAULA .

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo:

Al Dr. Carlos Ramírez M., profesor consejero, por su sincera amistad, guía y estímulo constantes.

A los miembros del Comité Asesor por la acertada revisión y corrección de este trabajo y por la guía y estímulo brindados a lo largo de mi carrera profesional.

A la Ing. Agr. Ana C. Chavarría M., por su valiosa ayuda y aporte profesional a este trabajo.

Al personal del laboratorio de Microbiología de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas, y al personal del laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, por su invaluable ayuda en las diferentes etapas del estudio.

A la Fundación FIDA, por el apoyo económico brindado durante mis estudios.

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, por la financiación de este trabajo, a través del proyecto VI-733-83-146, a cargo del Dr. Alvaro Cordero V., a quien le agradezco su ayuda desinteresada y constante apoyo; y al Proyecto Ciencia y Tecnología, CONICIT-AID.

A aquellas personas que sin desear puedo estar omitiendo en este grupo de amigos.

BIOGRAFIA

Costarricense. Nació en San José, el 24 de noviembre de 1956.

En 1963 comenzó sus estudios, completando su educación primaria en la Escuela Juan Rudín, y la secundaria en el Liceo José Joaquín Vargas Calvo.

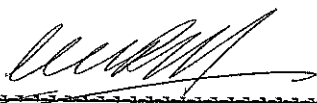
A partir de 1975 realizó estudios en la Universidad de Costa Rica, graduándose en la Escuela de Fitotecnia como Bachiller en Ingeniería Agronómica en 1980 y obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo con el grado académico de Licenciado en Fitotecnia en 1982.

En 1984 ingresó al Departamento de Producción Vegetal, Turrialba, como estudiante del Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, obteniendo el grado de Magister Scientiae en 1987.

Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, bajo el convenio UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

Jurado:



Carlos Ramírez M., Ph. D.

Profesor Consejero



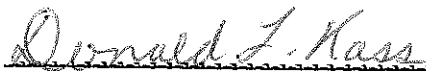
Elemer Bornemisza S., Ph. D.

Miembro del Comité




Alvaro Cordero V., Ph. D.

Miembro del Comité




Donald Kass, Ph. D.

Miembro del Comité



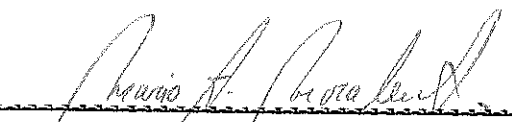
José F. Di Stefano, Ph. D.

Director, Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales UCR-CATIE



Luis Estrada Navas, Ph. D.

Decano, Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica



Mario Alberto Morales Sánchez

Candidato

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	x
SUMMARY.....	xii
LISTA DE CUADROS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xviii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Magnitud de la fijación simbiótica de nitrógeno en frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.).....	4
2.2 Factores que afectan la relación simbiótica del frijol común con <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u>	5
2.3 Efecto del fósforo sobre la nodulación y la fijación de nitrógeno en frijol común.....	7
2.4 Selección de cepas de <u>Rhizobium</u> sp.....	11
3. MATERIALES Y METODOS.....	13
3.1 Organización y secuencia.....	13
3.2 Ubicación.....	13
3.3 Cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u>	13
3.4 Variedades de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.).....	14
3.5 Suelos.....	15
3.6 Curvas de crecimiento de las cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> en un medio con suministro restringido de fósforo.....	17
3.7 Evaluación de las cepas seleccionadas en invernadero...	22
3.7.1 Fertilización básica de los suelos y dosis de fósforo.....	22

	Página
3.7.2 Inoculación.....	26
3.7.3 Siembra.....	27
3.7.4 Cosecha.....	27
3.8 Análisis estadístico.....	30
4. RESULTADOS.....	31
4.1 Curvas de crecimiento de las cepas de <u>Rhizobium</u> <u>leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> en un medio con suministro restringido de fósforo.....	31
4.2 Evaluación de las cepas seleccionadas en invernadero...	34
4.2.1 Peso seco de parte aérea.....	35
4.2.1.1 Efecto combinado de las cepas y las dosis de fósforo sobre el peso seco de parte aérea.....	35
4.2.1.2 Efecto combinado de las cepas y las variedades sobre el peso seco de parte aérea.....	35
4.2.1.3 Comparación con tratamientos adicionales (+N, - <u>Rh</u> ; -N, - <u>Rh</u>).....	39
4.2.2 Peso seco de raíz.....	40
4.2.2.1 Efecto combinado de las cepas y las dosis de fósforo sobre el peso seco de raíz.....	40
4.2.2.2 Efecto combinado de las cepas y las variedades sobre el peso seco de raíz....	43
4.2.2.3 Comparación con tratamientos adicionales (+N, - <u>Rh</u> ; -N, - <u>Rh</u>).....	43
4.2.3 Nodulación.....	46

	Página
4.2.3.1 Efecto combinado de las variedades y las dosis de fósforo sobre la nodulación.	46
4.2.3.2 Efecto combinado de las cepas y las variedades sobre la nodulación.....	49
4.2.3.3 Comparación con tratamientos adicionales (+N, <u>-Rh</u> ; -N, <u>-Rh</u>).....	49
4.2.4 Contenido foliar de nitrógeno.....	52
4.2.4.1 Efecto combinado de las cepas y las dosis de fósforo sobre el contenido foliar de nitrógeno.....	52
4.2.4.2 Efecto combinado de las cepas y las variedades sobre el contenido foliar de nitrógeno.....	55
4.2.4.3 Comparación con tratamientos adicionales (+N, <u>-Rh</u> ; -N, <u>-Rh</u>).....	55
4.2.5 Contenido foliar de fósforo.....	58
4.2.5.1 Comparación con tratamientos adicionales (+N, <u>-Rh</u> ; -N, <u>-Rh</u>).....	60
5. DISCUSION.....	62
5.1 Curvas de crecimiento de las cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> en un medio con suministro restringido de fósforo.....	62
5.2 Evaluación de las cepas seleccionadas en invernadero...	64
6. CONCLUSIONES.....	74
7. RECOMENDACIONES.....	77
8. LITERATURA CITADA.....	79

	Página
9. APENDICE.....	88
Apéndice 1A. Preparación del medio agar-glucosa-peptona + púrpura de bromocresol.....	89
Apéndice 2A. Preparación del reactivo rodamina-auramina....	89
Apéndice 3A. Preparación del medio líquido levadura-manitol	89

RESUMEN

Se determinó las curvas de crecimiento de 9 cepas efectivas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli en un medio de cultivo líquido de arabinosa-galactosa, con bajo y alto contenido de fósforo (10 μM y 2000 μM P, respectivamente). Se observó variabilidad respecto a la capacidad de crecimiento con bajo contenido de fósforo. Se seleccionó las cepas 4a, 38b, 47 y 409 que mostraron la mayor tolerancia al suministro restringido de ese nutrimento.

Estos resultados sugirieron la posibilidad de que estas cepas sean más competitivas y en consecuencia produzcan una nodulación más eficiente en suelos con alta capacidad de sorción de fósforo y/o baja disponibilidad del mismo. Con el propósito de probar esta hipótesis se evaluó la respuesta en invernadero de las variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) Brunca, Porrillo Sintético, Negro Huasteco y Río Tibaji, a la inoculación con las cepas tolerantes 4a, 38b y 409 y la cepa no tolerante 46 (testigo), con cuatro dosis de fósforo, en tres suelos de Costa Rica, muestreados en las localidades de Arenal, Bijagua y Cervantes. Los suelos se clasificaron como Typic Dystrandept y se escogieron por la alta capacidad de sorción de fósforo. Las dosis de fósforo fueron 0, 0,5, 1,0 y 1,5 veces la cantidad necesaria para extraer con una solución Olsen modificada tres veces el nivel crítico establecido para este nutrimento. Además se incluyó dos tratamientos adicionales sin inocular: uno nitrogenado (+N, -Rh) y un testigo absoluto (-N, -Rh), ambos con la dosis 1,0 de fósforo.

En los tres suelos cuando no se aplicó fósforo no hubo respuesta a la inoculación con ninguna cepa. Esto evidenció concentraciones de fósforo en la rizosfera menores al nivel de este nutrimento usado in vitro (10 μM P).

En los suelos Arenal y Bijagua en la primera dosis de fósforo se obtuvo mayor respuesta a la inoculación con las cepas tolerantes al suministro restringido de ese nutrimento. No obstante, en ambos suelos en esta dosis se presentó insuficiencia de fósforo, que limitó probablemente al hospedero y que afectó negativamente la eficiencia de la relación simbiótica. En esos suelos cuando se aplicó fósforo en la dosis segunda y tercera, se determinó el mayor peso seco de biomasa aérea en los tratamientos inoculados con las cepas 4a y 409.

En el suelo Cervantes cuando se aplicó fósforo, hubo respuesta a la inoculación con todas las cepas. Esto se debió probablemente al mayor contenido inicial de fósforo disponible que presentó este suelo. No obstante, en la primera dosis de fósforo también se presentó insuficiencia de ese nutrimento que limitó la eficiencia de la relación simbiótica.

De los tres suelos empleados, en el suelo Bijagua se obtuvo la menor respuesta a la inoculación, lo que concordó con la menor capacidad para suministrar fósforo observada en este suelo.

En los tres suelos la producción de biomasa aérea mostró un efecto lineal en función de las dosis crecientes de fósforo.

Respecto a la respuesta individual de las variedades, en dos de los tres suelos, las variedades Brunca, Porrillo Sintético y Negro Huasteco mostraron el mayor peso seco de biomasa aérea cuando se inocularon con las cepas 4a y 409. Entre estas variedades no se determinó diferencias estadísticas en los valores de las variables utilizadas para evaluar su respuesta a la inoculación.

La menor respuesta a la inoculación se determinó en la variedad Río Tibaji, cultivar tolerante a condiciones de suelos con bajo contenido de fósforo disponible.

La respuesta de las variedades a la inoculación, bajo las condiciones de este experimento, fue determinada por: (a) la competitividad de las cepas, asociada a su tolerancia al suministro restringido de fósforo, (b) la disponibilidad de ese nutrimento en el suelo y (c) el potencial genético de las cepas para fijar nitrógeno.

Se sugiere complementar este trabajo con pruebas de campo, en que se evalúen las cepas 4a y 409, que mostraron la mayor competitividad y eficiencia de fijación de nitrógeno. El aspecto de fertilización fosfórica deberá ser considerado con prioridad en estas futuras pruebas.

Por otra parte, para demostrar inequívocamente que la característica de tolerancia al suministro restringido de fósforo confiere una ventaja, se recomienda realizar pruebas a nivel microbiológico y ecológico en que se evalúe la competitividad de las cepas que muestren esa característica.

PALABRAS CLAVES: Fijación de nitrógeno, Phaseolus vulgaris, selección de cepas, fósforo, Rhizobium.

SUMMARY

Selection and evaluation of Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli strains tolerant to reduced phosphorus availability

The growth curves of 9 effective strains of Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli were determined in arabinose-galactose liquid medium with low (10 μM) and high (2000 μM) phosphorus (P) content. Variability in regards to their ability to grow at low P concentrations was found, and strains 4a, 38b, 47 and 409 that showed the highest tolerance to the limited supply of this nutrient were selected.

The selected strains could well be more competitive in nodule formation and possibly also in nitrogen fixation in soils with high phosphorus sorption capacity or/ and low available P. To test this hypothesis a greenhouse experiment was run in pots. Tolerant strains 4a, 38b, 409, and a control strain 46 (not tolerant) were evaluated on common bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars Brunca, Porrillo Sintetico, Negro Huasteco and Rio Tibaji, in soils from the localities of Arenal, Bijagua and Cervantes, Costa Rica, amended with four P levels. The three soils were classified as Typic Dystrandepts and were selected for their high P sorption capacity. The P levels were 0, 0,5, 1,0 and 1,5 times the amount necessary to obtain three times the critical level of P extracted with modified Olsen solution. Besides, additional treatments were applied without inoculation (+N, -Rh) and an absolute control (-N, -Rh) both with level 1,0 of P.

In all soils when no P was applied, no response to inoculation was observed with any of the strains, which suggest that P concentration in the rhizosphere could well have be as lower than the minimum of 10 μM chosen in the low P screening medium.

The greatest inoculation response to tolerant strains was obtained with the first level of P in the Arenal and Bijagua soils. Although P deficiency was evident for both soils at this P level, probably affecting the efficiency of the symbiosis. The highest dry weight of leaf biomass was produced by inoculation with strains 4a and 409 at the second and third levels of P.

In the Cervantes soil, there was a positive response to inoculation with all strains at all P levels. This response may be attributed to the relatively high P level in this soil. Although P deficiency was observed at the first level of P applications as in the other soils.

On the three soils that were used, Bijagua soil showed the lowest response to inoculation, which accords with its low P-supplying capacity.

A positive linear correlation was observed in all soils between leaf biomass and levels of P application.

Cultivars Brunca, Porrillo Sintético and Negro Huasteco showed the highest leaf biomass dry weight when they were inoculated with strains 4a and 409 in two of the three soils. There was not a significant difference between these bean varieties for any of the parameters measured.

The lowest response to inoculation was shown by the Rio Tibaji cultivar, which is, nonetheless, commonly classified as tolerant to soils with low available P.

Under the conditions of this experiment the bean cultivar response to inoculation was apparently determined by: (a) strain competition associated to the tolerance to restrictive soil supply of P, (b) the available P in the soil and (c) the genetic potential of the strain to fix nitrogen.

Further research should include field testing of the most promising strains 4a and 409 together with studies on P fertilization (levels and methods of application). Microbiological and ecological studies will be necessary to demonstrate conclusively that tolerance to limited P supply has an ecological advantage for Rhizobium strains.

KEY WORDS:

Nitrogen fixation, Phaseolus vulgaris, Rhizobium, strain selection, phosphorus.

LISTA DE CUADROS

Cuadro Nº		Página
1	Análisis químico y físico de los suelos (Typic Dystrandept) tomados de tres diferentes localidades de Costa Rica y empleados en la evaluación de cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> tolerantes a concentraciones bajas de fósforo.....	18
2	Composición del medio de cultivo empleado para determinar las curvas de crecimiento de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> bajo suministro restringido de fósforo.....	19
3	Niveles críticos utilizados como criterio de fertilización.....	24
4	Dosis de fósforo y fertilización básica aplicada a los suelos (Typic Dystrandept) tomados de tres diferentes localidades de Costa Rica y empleados en la evaluación de cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> tolerantes a concentraciones bajas de fósforo.....	25
5	Crecimiento de nueve cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> , en medio arabinosa-galactosa, con niveles bajo y alto de fósforo.....	33
6	Efecto de dosis crecientes de fósforo y de diversas cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> sobre el peso seco de la parte aérea de plantas de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica.....	41

- 7 Efecto de dosis crecientes de fósforo y de diversas cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre el peso seco de raíz de plantas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 47
- 8 Efecto de dosis crecientes de fósforo y de diversas cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre la nodulación de plantas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 51
- 9 Efecto de dosis crecientes de fósforo y de diversas cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre el contenido de nitrógeno total en plantas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 57
- 10 Efecto de dosis crecientes de fósforo y de diversas cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre el contenido de fósforo total en plantas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 61

En el apéndice:

- 1A Sitios de procedencia y cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli que se evaluaron por su capacidad de crecimiento en un medio de cultivo con bajo contenido de fósforo..... 90

	Página
2A Metodología empleada para el análisis químico de suelos.....	91
3A Curvas de sorción de los nutrimentos adicionados a los suelos Typic Dystrandept empleados en la evaluación de cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> tolerantes a concentraciones bajas de fósforo.....	92
4A Análisis de variancia del peso seco de parte aérea (g/maceta) de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Arenal (Typic Dystrandept).....	93
5A Análisis de variancia del peso seco de parte aérea (g/maceta) de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Bijagua (Typic Dystrandept).....	93
6A Análisis de variancia del peso seco de parte aérea (g/maceta) de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Cervantes (Typic Dystrandept).....	93
7A Análisis de variancia del peso seco de raíz (g/maceta) de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Arenal (Typic Dystrandept).....	94
8A Análisis de variancia del peso seco de raíz (g/maceta) de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Bijagua (Typic Dystrandept).....	94
9A Análisis de variancia del peso seco de raíz (g/maceta) de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Cervantes (Typic Dystrandept).....	94
10A Análisis de variancia de nodulación de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Arenal (Typic Dystrandept).....	95

11A	Análisis de variancia de nodulación de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Bijagua (Typic Dystrandept).....	95
12A	Análisis de variancia de nodulación de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Cervantes (Typic Dystrandept).....	95
13A	Análisis de variancia del contenido de nitrógeno total (mg N/maceta), parte aérea, de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Arenal (Typic Dystrandept).....	96
14A	Análisis de variancia del contenido de nitrógeno total (mg N/maceta), parte aérea, de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Bijagua (Typic Dystrandept).....	96
15A	Análisis de variancia del contenido de nitrógeno total (mg N/maceta), parte aérea, de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Cervantes (Typic Dystrandept).....	96
16A	Análisis de variancia del contenido de fósforo total (mg P/maceta), parte aérea, de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Arenal (Typic Dystrandept).....	97
17A	Análisis de variancia del contenido de fósforo total (mg P/maceta), parte aérea, de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Bijagua (Typic Dystrandept).....	97
18A	Análisis de variancia del contenido de fósforo total (mg P/maceta), parte aérea, de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) en el suelo Cervantes (Typic Dystrandept).....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura Nº	Página	
1	<p>Mapa de Costa Rica que muestra la ubicación geográfica de las localidades donde se muestreó los suelos (Typic Dystrandept) empleados en la evaluación de cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> tolerantes a concentraciones bajas de fósforo.....</p>	16
2	<p>Curvas de sorción, porcentajes de sorción y cantidades a adicionar para alcanzar tres veces el nivel crítico de P en los suelos (Typic Dystrandept), empleados en la evaluación de cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> tolerantes a concentraciones bajas de fósforo.....</p>	23
3	<p>Escala visual utilizada para determinar la nodulación en plantas de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) inoculadas con cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> y crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica.....</p>	29
4	<p>Crecimiento de cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> en medio de cultivo arabinosa-galactosa, con niveles bajo (10 µM) y alto (2000 µM) de P.....</p>	32
5	<p>Efecto de la interacción de dosis de fósforo por cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> sobre el peso seco de la parte aérea de plantas de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica.....</p>	36
6	<p>Efecto de dosis crecientes de fósforo sobre el peso seco de parte aérea de plantas de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) inoculadas con cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u>, crecidas bajo condiciones de invernadero en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica.....</p>	37

- 7 Efecto de la interacción de variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) por cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre el peso seco de parte aérea de plantas crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 38
- 8 Efecto de la interacción de dosis de fósforo por cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre el peso seco de raíz de plantas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 42
- 9 Efecto de dosis crecientes de fósforo sobre el peso seco de raíz de plantas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) inoculadas con cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli, crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 44
- 10 Efecto de la interacción de variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) por cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre el peso seco de raíz de plantas crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 45
- 11 Efecto de la interacción de variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) por dosis de fósforo sobre la nodulación de plantas crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 48
- 12 Efecto de la interacción de variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) por cepas de Rhizobium leguminosarum biovar phaseoli sobre la nodulación de plantas crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandept de Costa Rica..... 50

13	Efecto de la interacción de dosis de fósforo por cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> sobre el contenido de nitrógeno total, parte aérea, de plantas de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandep ^t de Costa Rica.....	53
14	Efecto de dosis crecientes de fósforo sobre el contenido de nitrógeno total, parte aérea, de plantas de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), inoculadas con cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> , crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandep ^t de Costa Rica.....	54
15	Efecto de la interacción de variedades de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) por cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> sobre el contenido de nitrógeno total, parte aérea, de plantas crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandep ^t de Costa Rica.....	56
16	Efecto de cepas de <u>Rhizobium leguminosarum</u> biovar <u>phaseoli</u> (a), variedades de frijol común (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.) (b) y dosis de P (c) sobre el contenido de fósforo total, parte aérea, de plantas crecidas bajo condiciones de invernadero, en tres suelos Typic Dystrandep ^t de Costa Rica.....	59