

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

**SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**MANIPULACION DEL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)  
PARA SUPERAR DIVERSOS MECANISMOS DE RETENCION DE FOSFORO EN  
SUELOS DE CENTROAMERICA**

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

**MAGISTER SCIENTIAE**

por

**WILBERT ANTONIO CAMPOS ALVARADO**

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Departamento de Producción Vegetal  
Turrialba, Costa Rica  
1987

A mi esposa, Roxana

A mis hijos, Wilbert y Adrián...

A mis padres, Arturo y Elvira

A mis hermanos: Arturo, Ligia,

Roger, Jorge, Walter, Lizbeth,

Alice, Ileana, Seyri, J.Arturo.

A todos mis familiares...

A Donald Kass

"Estudia para aprender, no para saber más que los demás"

Anon.

## AGRADECIMIENTO

Quiero dejar constancia de mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que de alguna manera contribuyeron con la realización de este trabajo.

Especialmente a Donald L. Kass, por la sabia orientación y por su incondicional apoyo, a Roberto Díaz Romeau por sus consejos y desinteresada colaboración.

Al personal del Laboratorio de Suelos, señores: Luis Gerardo Cedeño, Carlos Fernández, Mario Jiménez, Walter Bermúdez, Moisés Hernández y Gustavo Ortiz, por su amistad y colaboración.

A Gustavo López por su amistad y ayuda en el análisis de datos.

A Lorena Jiménez por su amistad y apoyo.

A Lilliam Ugalde por su excelente trabajo tipográfico.

A mis compañeros y profesores.

Al personal del Depto. de Producción Vegetal y de la Biblioteca Conmemorativa Orton.

A la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) por la financiación mediante los fondos del Proyecto Retención de Fósforo.

A todos.

Muchas gracias

## BIOGRAFIA

El autor de este trabajo nació en Turrialba, Costa Rica, el 7 de julio de 1958, siendo el sétimo de ocho hermanos.

A los cuatro años de edad, su familia, por motivos laborales de su padre, trasladó su residencia al pueblo 'La Francia' situado en el Cantón de Siquirres, en la zona Atlántica del país.

Realizó sus estudios primarios en la Escuela Mixta de El Cairo (1965-1970) y los secundarios en el Instituto Técnico Agropecuario de Siquirres (1971-1976) donde obtuvo los títulos de "Conclusión de Estudios" y el de 'Técnico Medio Agropecuario'.

En 1977 regresó a su pueblo natal donde inició sus estudios universitarios en el recinto del 'Centro Universitario del Atlántico -CUA- de la Universidad de Costa Rica (UCR), cursando la carrera de agronomía, cuya parte académica concluyó en 1982, presentando posteriormente (dic. 1983) su tesis de graduación titulada "Comportamiento de nuevos cultivares de soya (Glicyne max (L) Merril) bajo condiciones inundadas del suelo".

Obtuvo su grado profesional de Ingeniero Agrónomo-Enfasis en Producción con el Grado Académico de Licenciado.

Desde enero de 1984 hasta abril de 1985 laboró en el Departamento de Producción Vegetal (DPV) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), como Asistente de Investigación, encargado del mantenimiento y evaluación de genotipos, período en el cual hizo sus gestiones para ingresar al Programa "Sistema de Estudios de Posgrado UCR/CATIE (SEP).

Ingresó en el SEP en abril de 1985, presentando su tesis de graduación en julio de 1987.

En mayo de 1987 comenzó a laborar como Asistente de Capacitación, cargo que desempeña actualmente (setiembre 1987).

Otras experiencias que se pueden citar son:

- Durante el trabajo de campo de su tesis de Posgrado, se desempeñó como Asistente de Campo y Laboratorio en el DPV.

- Fue Supervisor Representante de una compañía exportadora de yuca congelada.

- Ha sido asistente en varios cursos de la carrera de Agronomía del CUA y Profesor de Fertilidad de Suelos.

- Ha participado en diversos eventos como cursos cortos y conferencias.

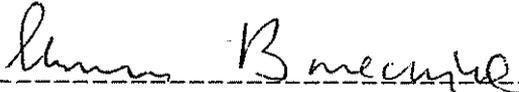
Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

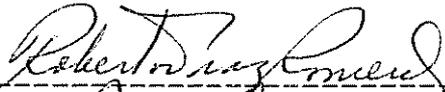
COMITE ASESOR:

  
-----  
Donald L. Kass, Ph.D.

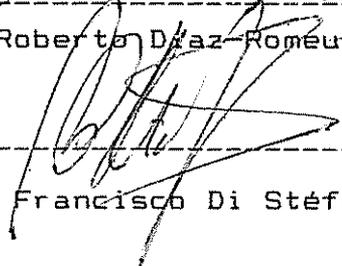
Consejero Principal

  
-----  
Elemer Bornemisza, Ph.D.

Miembro del Comité

  
-----  
Roberto Díaz-Roméu, M.Sc.

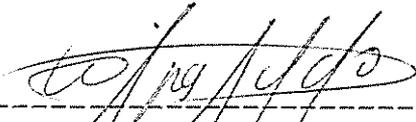
Miembro del Comité

  
-----  
José Francisco Di Stéfano, Ph.D.

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

  
-----  
Luis Estrada N., Ph.D.

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

  
-----  
Wilbert Campos Alvarado

Candidato

## INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
BIOGRAFIA.....	iv
HOJA DE APROBACION.....	vi
INDICE.....	vii
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiii
LISTA DE CUADROS.....	xviii
LISTA DE FIGURAS.....	xxvi
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Retención de fósforo en los suelos.....	3
2.1.1 Factores que afectan la retención de fósforo.....	4
2.1.1.1 Mineralogía.....	4
2.1.1.2 Contenido de arcilla y materiales amorfos.....	6
2.1.1.3 Aluminio intercambiable.....	6
2.1.1.4 Contenido de materia orgánica.....	7
2.1.1.5 pH.....	8
2.1.2 Isotermas de adsorción de fósforo.....	9
2.2 Enfoque del manejo del fósforo en suelos con alta capacidad de retención.....	12
2.2.1 Tecnología de manejo del suelo con altos insumos.....	13

	<u>Página</u>
2.2.2 Tecnología de manejo del suelo con bajos insumos.....	13
2.2.2.1 Incremento de la eficiencia de fertilización con fósforo.....	14
2.2.2.2 Aplicación a la semilla.....	16
2.2.2.2.1 Enriquecimiento externo.....	16
2.2.2.2.2 Enriquecimiento interno.....	16
2.2.2.3 Aplicaciones foliares.....	18
2.2.2.3.1 Absorción.....	20
2.2.2.3.2 Traslocación.....	21
2.2.2.3.3 Epoca de aplicación.....	23
2.3 El encalado de los suelos, requerimientos de cal en los suelos tropicales y su efecto sobre la fijación de fósforo.....	25
2.3.1 Requerimiento de encalado.....	26
2.3.2 Efecto del encalado sobre retención de fósforo.....	29
2.4 El secado del suelo, efecto sobre caracte- rísticas físico químicas y su influencia en estudios de retención de fósforo en suelos encalados.....	31
2.4.1 Efecto del secado.....	31
2.4.2 El secado del suelo y la retención de fósforo en suelos encalados.....	32
2.5 Nutrición fosforada de las plantas y tolerancia genética a baja disponibilidad de fósforo en el suelo.....	34
2.5.1 Nutrición fosforada de las plantas.....	34
2.5.2 Tolerancia genética a baja dispo- nibilidad de fósforo en el suelo.....	37

3.	MATERIALES Y METODOS.....	42
3.1	ETAPA I Caracterización físico química de los suelos.....	42
3.1.1	Características físicas.....	45
3.1.1.1	Textura.....	45
3.1.1.2	Densidad aparente.....	45
3.1.1.3	Retención de humedad.....	45
3.2	Características químicas.....	45
3.1.2	Características químicas.....	45
3.1.2.1	Análisis preliminar y requeri- miento de encalado.....	45
3.1.2.2	Efecto del encalado.....	46
3.1.2.3	Estudios de sorción.....	46
3.1.3.4	Isotermas de adsorción de fósforo....	47
3.2	ETAPA II Tratamiento de fósforo a la semilla.....	47
3.2.1	Prueba preliminar.....	47
3.2.2	Prueba de comprobación y de defini- ción del tratamiento.....	47
3.3	ETAPA III Prueba de invernadero.....	47
3.3.1	Material experimental.....	47
3.3.1.1	Suelos.....	47
3.3.1.2	Genotipos.....	47
A.	Tolerantes a bajos niveles de P en suelo.....	48
B.	Susceptibles.....	49
3.3.2	Metodología.....	49
3.3.2.1	Procedimientos generales.....	49
3.3.2.2	Tratamientos.....	50
3.3.2.2.1	En suelos.....	50
3.3.2.2.2.	En genotipos.....	50
3.3.2.3	Diseño experimental.....	51

3.3.2.4	Variables.....	53
3.3.2.4.1	Características morfológicas y/o fenológicas.....	53
A.	Días a floración.....	53
B.	Altura planta.....	53
C.	Número de hojas trifoliadas.....	53
D.	Producción de materia seca.....	53
E.	Otros.....	53
3.3.2.4.2	Análisis químicos.....	54
A.	Análisis químicos de los suelos.....	54
B.	Análisis químicos de tejido vegetal.....	54
C.	Eficiencia en utilización de fósforo.....	54
4.	RESULTADOS.....	55
4.1	Caracterización físico química de los suelos..	55
4.4.1	Características físicas.....	55
4.1.1.1	Textura.....	55
4.1.1.2	Densidad aparente.....	55
4.1.1.3	Retención de humedad.....	55
4.1.2	Características químicas.....	57
4.1.2.1	Análisis preliminares y requeri- mientos de encalado.....	57
4.1.2.1.1	Efecto de la humedad.....	57
4.1.2.1.2	Efecto de los suelos.....	60
4.1.2.1.3	Requerimiento de encalado.....	62
4.1.2.1.4	Efecto de encalado.....	62
4.1.2.2	Estudios de sorción.....	64
4.1.2.3	Isotermas de adsorción de fósforo.....	73
4.2	Tratamiento de fósforo a la semilla.....	76
4.2.1	Ensayo preliminar.....	76
4.2.2	Segunda prueba.....	78

	<u>Página</u>
4.3 Prueba de invernadero.....	81
4.3.1 Variables días a floración, morfo- lógicas y/o fenológicas.....	81
4.3.1.1 Efecto del suelo.....	83
4.3.1.2 Efecto del encalado.....	83
4.3.1.3 Efecto del genotipo.....	85
4.3.1.4 Efecto del tratamiento de fósforo....	85
4.3.2 Análisis químicos.....	90
4.3.2.1 Tejido vegetal.....	90
4.3.2.1.1 Contenido de nutrimentos en hojas de frijol.....	90
4.3.2.1.1.1 Efecto del suelo.....	90
4.3.2.1.1.2 Efecto del encalado.....	91
4.3.2.1.1.3 Interacción suelo x genotipo.....	91
4.3.2.1.1.4 Efecto del genotipo.....	93
4.3.2.1.1.5 Efecto del tratamiento de fósforo.....	96
4.3.2.1.2 Contenido de nutrimentos en tallos de frijol.....	96
4.3.2.1.2.1 Efecto del suelo.....	98
4.3.2.1.2.2 Efecto del encalado.....	98
4.3.2.1.2.3 Interacción suelo x encalado.....	100
4.3.2.1.2.4 Efecto del genotipo.....	100
4.3.2.1.2.5 Efecto del tratamiento de fósforo.....	100
4.3.2.1.3 Eficiencia en la utilización de fósforo (EUP).....	100
4.3.2.1.3.1 Efecto de los suelos.....	103
4.3.2.1.3.2 Efecto del encalado.....	103
4.3.2.1.3.3 Efecto del genotipo.....	103
4.3.2.1.3.4 Efecto del tratamiento de fósforo.....	103

	<u>Página</u>
4.3.2.2 Análisis químico de los suelos al final del ensayo.....	106
4.3.2.2.1 Efecto de los suelos.....	106
4.3.3 Otras observaciones.....	106
5. DISCUSION GENERAL.....	111
6. CONCLUSIONES .....	121
7. RECOMENDACIONES.....	124
7. BIBLIOGRAFIA.....	125
8. APENDICE.....	141

CAMPOS ALVARADO WILBERT ANTONIO. Manipulación del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para superar diversos mecanismos de retención de fósforo en suelos de Centroamérica.

Palabras claves: retención de fósforo, frijol, encalado, imbibición, fertilización foliar.

## RESUMEN

Este trabajo se realizó a nivel de laboratorio e invernadero en las instalaciones del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica.

El propósito de éste, fue definir un manejo adecuado del aporte de fósforo a cuatro genotipos de frijol con diferente tolerancia a bajos niveles de fósforo en el suelo; (tolerantes: 'Iguacu' y 'Río Tibaji', susceptibles, 'Ica Pija' y 'Puebla 152', según el programa de mejoramiento de frijol del CIAT) en suelos con alta capacidad de retención de éste nutrimento, tratando, en lo posible, de evitar el contacto suelo-nutrimento, para reducir el mecanismo de retención del suelo.

Los suelos seleccionados fueron un Ultisol con alta saturación de aluminio intercambiable, un Inceptisol con características ándicas (aluminio amorfo) y un Inceptisol con alto aluminio intercambiable y con aluminio amorfo.

El trabajo consistió de tres etapas, una de caracterización físico-química de los suelos que evaluó el efecto del secado y del encalado sobre las características físicas, la disponibilidad de nutrimentos, las cantidades necesarias a aplicar para alcanzar niveles predeterminados de cada uno, mediante estudios de sorción y la evaluación de la capacidad de retención de fósforo.

Una segunda que consistió en calibrar el método de aporte a la semilla de frijol evaluando fuentes de fósforo como ácido fosfórico, hexametáfosfato de sodio y fosfatos de amonio y potasio en concentraciones de 2.000, 4.000, 6.000, 8.000 y 10.000 ug/ml y por períodos horarios de 1 a 12 horas.

La tercera etapa se estableció bajo condiciones de invernadero utilizando un arreglo de parcelas sub-sub-subdivididas en un diseño de bloques completos al azar donde se combinaron los efectos principales: tres suelos, los tratamientos de cal, cuatro genotipos y tres tratamientos de fósforo: sin fósforo y aplicaciones foliares por aspersion y a la semilla por imbibición.

Los resultados muestran, para la primera etapa, que el secado no afecta tanto las propiedades químicas, pero sí las físicas. También se comprobó que la retención del fósforo aplicado en los tres suelos fue del orden de 90% o mayor, con el método de isoterma.

En la etapa segunda se observó que los fosfatos de amonio y potasio fueron menos perjudiciales en cuanto a germinación y emergencia de las plántulas, siendo el mejor tratamiento cuando se usó fosfato de potasio a una concentración de 8.000 ug/ml.

La tercera etapa permitió concluir:

a) Que el encalado es una medida adecuada en suelos bajos en bases y/o altos en aluminio intercambiable que disminuye problemas de acidez y mejora la utilización del fósforo por los genotipos de frijol, no siendo tan valioso su efecto en el suelo de características ándicas.

b) Que hay diferencias genéticas en el uso de fósforo en los suelos,

c) Que el aporte de fósforo a la semilla tiende a mejorar la eficiencia de su uso, y

d) Que la aplicación foliar disminuye la eficiencia de uso del fósforo por las plantas de frijol.

CAMPOS ALVARADO WILBERT ANTONIO. Manipulation of cultural practice in common bean (Phaseolus vulgaris L.) to overcome different mechanisms of phosphorus retention in Central America soils.

**Key words:** phosphorus retention, bean, liming, imbibition, foliar fertilization.

#### SUMMARY

The present study reports the results of laboratory and greenhouse works carried out in the facilities of the Tropical Research and Training Center in Turrialba, Costa Rica.

The purpose of the study was to find the most suitable ways of managing the phosphorus supply for four bean genotypes with different degrees of tolerance to low soil phosphorus levels: 'Iguacu' and 'Rio Tibaji', considered tolerant, and Ica Pijao and Puebla 152, considered intolerant by the bean improvement program of CIAT, on soil with high capacities of phosphorus retention while trying as much as possible to avoid soil nutrient contact, thus reducing the mechanism of soil P retention.

The soils selected were an Ultisol with a high level of saturation of exchangeable aluminum, and Inceptisol with andic characteristics (high level of amorphous aluminum), and an Inceptisol with high levels of both exchangeable and amorphous aluminum.

There were three phases to study. In the first, the effect of drying and liming on different physical and chemical characteristics of the three soils was studied. The amounts of nutrients necessary to achieve desirable levels in each of the soils were studied. P retention isotherms were determined for each soil in the wet and dry and limed and unlimed states.

In the second phase different formulations (phosphoric acid, ammonium phosphate, and sodium hexametaphosphate), concentrations (2.000, 4.000, 6.000, 8.000 and 10.000 ug P/ml) and times of imbibition (1-12 hours) were evaluated to determine the P-source, concentration, and imbibition time which most increased P content without decreasing viability.

The third phase was a greenhouse experiment in which liming, four bean genotypes and foliar and seed imbibed P application were evaluated in each of the three soils.

Principal results of the study were as follows:

- 1) Drying affected soil physical properties, such as texture, more than chemical properties, such as P retention
- 2) P retention of all three soils was quite high, about 90% as determined by the isotherms.
- 3) Highest increase of P content of the seed and germination was achieved by imbibition for three hours of a solution of potassium phosphate ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), containing 8.000 ug/ml P.
- 4) Liming was especially effective in increasing P uptake in beans in soils with high levels of exchangeable aluminum. It has less effect in soils with more acidic properties, containing low levels of exchangeable aluminum.
- 5) There were differences among genotypes in P uptake from soils receiving the same treatment.
- 6) Seed imbibition increased P utilization by the plants while foliar application tended to reduce it.

## LISTA DE CUADROS

En el texto

<u>Cuadro Nº</u>		<u>Página</u>
1	Características físicas de los suelos estudiados.....	56
2	Comparación de medias (Duncan - 0,05) del contenido de nutrimentos en suelos secos versus húmedos sin encalar.....	58
3	Comparación de medias (Duncan-0,05) del contenido de nutrimentos en suelos secos versus húmedos, encalados.....	59
4	Comparación de medias del contenido de nutrimentos disponibles en los suelos secos ó húmedos sin encalar.....	61
5	Comparación de medias (Duncan-0,05) del contenido de nutrimentos en suelos sin encalar versus suelos encalados en cada estado de humedad.....	63
6	Datos de los estudios de sorción de fósforo en suelos encalados y sin encalar, secos y húmedos, P extraído en función de P agregado ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).....	65
7	Datos de los estudios de sorción de potasio en suelos no encalados y encalados, secos y húmedos, K extraído en función del K agregado ( $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ ).....	66

Cuadro N°

Página

8	Datos de los estudios de sorción de azufre en suelos no encalados y enca- lados, secos y húmedos, S extraído en función del S agregado ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).....	67
9	Datos de los estudios de sorción de zinc en suelos no encalados y encala- dos, secos y húmedos, Zn extraído en función del Zn agregado ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).....	68
10	Datos de los estudios de sorción de cobre en suelos no encalados y encala- dos, secos y húmedos, Cu extraído en función del Cu agregado ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )....	69
11	Datos de los estudios de sorción de manganeso en suelos no encalados y en- calados, secos y húmedos, Mn extraído en función del Mn agregado ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )....	70
12	Coefficientes de correlación lineal y componentes de las líneas de regre- sión de curvas de sorción en suelos sin encalar.....	71
13	Coefficientes de correlación lineal y componentes de las líneas de regre- sión de curvas de sorción en suelos encalados.....	72
14	Regresiones lineales de las curvas de sorción de fósforo. Según metodología de Alvarado (1983) $Y: \frac{(a + bX)}{10}$ .....	74
15	Regresiones logarítmicas de las curvas de sorción de fósforo $Y: \frac{(a+b \log X)}{10}$ .....	75

Cuadro Nº

Página

16	Porcentajes de germinación, emergencia y contenido de fósforo en frijol C4 'Ica Pijao' en semillas de frijol C4 'Ica Pijao' sometidas a imbibición en varias soluciones fosforadas por seis períodos de tiempo.....	79
17	Valor "r" de las correlaciones del contenido de fósforo (%) de la semilla con la germinación (%) y emergencia (%) en cada período de imbibición.....	82
18	Promedios, por suelo para las variables días a floración morfológicas (altura planta y número de hojas trifoliadas) y producción de materia seca (hojas y tallos) por planta de frijol.....	84
19	Promedios de tratamiento de cal para las variables días a floración, morfológicas (altura planta y número de hojas trifoliadas) y producción de materia seca (hojas y tallos) por planta de frijol.....	84
20	Promedios de las variables días a floración, morfológicas (altura planta y número hojas trifoliadas) y producción de materia seca (hojas y tallos) por planta de frijol, por suelo y tratamiento de cal.....	86

Cuadro N°Página

21	Promedios por genotipo, de las variables días a floración, morfológicas (altura planta y número de hojas trifoliadas) y producción de materia seca (hojas y tallos) por planta de frijol...	87
22	Promedios por suelos y genotipos, de las variables días a floración, morfológicas (altura planta y número de hojas trifoliadas) y, producción de materia seca (hojas y tallos) por planta de frijol.....	88
23	Promedios por tratamientos de fósforo, de variables días a floración, morfológicas (altura planta y número hojas trifoliadas) y producción de materia seca (hojas y tallos) por plantas de frijol.....	89
24	Promedios por suelos del contenido de nutrimentos en hojas de frijol y de la eficiencia en utilización del fósforo (EUP).....	92
25	Promedios por tratamiento de cal al suelo del contenido de nutrimentos en hojas de frijol y de EUP.....	92
26	Promedios del contenido de nutrimentos en hojas de frijol y de la eficiencia de uso del fósforo (EUP), por suelo y tratamiento de cal.....	94

Cuadro N°Página

27	Promedios por genotipo del contenido de nutrimentos en hojas de frijol y de la eficiencia en utilización del fósforo (EUP).....	95
28	Promedios por tratamiento de fósforo para el contenido de nutrimentos en hojas de frijol y eficiencia en uso de fósforo.....	97
29	Promedios por suelo del contenido de nutrimentos en tallos de plantas de frijol.....	97
30	Promedio por tratamiento de cal al suelo del contenido de nutrimentos en tallos de frijol.....	99
31	Promedios del contenido de nutrimentos en tallos de frijol en cada suelo y tratamiento de cal.....	101
32	Promedio por genotipo del contenido de nutrimentos en tallos de frijol.....	102
33	Promedio por tratamiento de fósforo del contenido de nutrimentos en tallos de frijol.....	102
34	Promedio, por suelo y genotipo y de la eficiencia en el uso de fósforo en plantas de frijol.....	104
35	Producción de biomasa por planta de frijol, contenido de fósforo y eficiencia en su utilización. Interacción genotipo x fósforo.....	105

Cuadro N°

Página

36	Promedios de la eficiencia en la utilización de fósforo por plantas de frijol. Interacción suelo x genotipo x tratamiento de fósforo.....	107
37	Promedios de disponibilidad de nutrientes en cada suelo.....	109
38	Promedios por tratamiento de cal al suelo de la disponibilidad de nutrientes en los suelos.....	109
39	Promedio de la disponibilidad de nutrientes en cada suelo y tratamiento de cal.....	110

En apéndice

Cuadro Nº

Página

1A	Principales características físico químicas de los suelos.....	142
2A	Significancia de los análisis de la varianza para el efecto de la humedad del suelo, la disponibilidad de nutrientes en suelos encalados y no encalados.....	143
3A	Significancia de los análisis de la varianza de los diferentes nutrientes efecto de los suelos sin encalar, según su estado de humedad.....	144
4A	Significancia de los análisis de la varianza para el efecto de encalado sobre la disponibilidad de nutrientes tanto en suelos secos como húmedos.....	145
5A	Datos de Isotermas de sorción de fósforo, promedios en fósforo en solución en función del elemento agregado en suelos no encalados y encalados, secos y húmedos.....	146
6A	Significancia de los análisis de la varianza para el efecto de las soluciones sobre la germinación, emergencia y contenido de P (%) en semillas de frijol, en función del tiempo de imbibición (horas).....	147

Cuadro N°Página

7A	Efectos significativos en el análisis de la varianza del número de días a floración, morfología (altura de la planta y número de hojas trifoliadas) y producción de materia seca (hojas y tallos) por planta de frijol.....	148
8A	Efectos significativos en el análisis de varianza del contenido de nutrimentos en hojas de frijol y de la eficiencia en utilización del fósforo (EUP).....	149
9A	Concentración de nutrimentos en los folíolos superiores de frijol al inicio de la floración que corresponde a varios estados nutricionales de la planta.....	150
10A	Efectos significativos en el análisis de varianza del contenido de nutrimentos en los tallos de planta de frijol.....	151
11A	Ambito de las concentraciones de nutrimentos en tallos de frijol.....	152
12A	Efectos significativos en el análisis de la varianza de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo al final del ensayo.....	153
13A	Guía para la interpretación de análisis de suelos utilizada por CATIE.....	154

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura Nº</u>		<u>Página</u>
1	Procedimientos seguidos en la descripción físico química de los suelos.....	44
2	Incremento relativo del contenido de P en semillas de frijol común CV, Ica Pijao, efecto de imbibición en diferentes soluciones fosforadas... ..	77
3	Incremento en contenido de P (%) y efecto sobre la germinación del tiempo de imbibición en soluciones fosforadas.....	80

### En el Apéndice

<u>Figura Nº</u>		<u>Página</u>
1A	Curvas de sorción de fósforo en suelos Buenos Aires, seco y húmedo (A) suelos no encalados (B) suelos encalados.....	154
2A	Curvas de sorción de fósforo en suelos La Montaña, seco y húmedos (A) suelos no encalados (B) suelos encalados.....	155
3A	Curvas de sorción de fósforo en suelos Cariari, seco y húmedo (A) suelos no encalado.....	156
4A	Curvas de sorción de potasio en suelos Buenos Aires, seco y húmedo (A) suelo no encalado (B) suelo encalado.....	157
5A	Curvas de sorción de potasio en suelos La Montaña, seco y húmedos (A) suelos no encalados (B) suelos encalados.....	158

Figura Nº

Página

6A	Curvas de sorción de potasio en suelos Cariari, seco y húmedo (A) suelo no encalado (B) suelo encalado.....	159
7A	Curvas de sorción de azufre en suelos Buenos Aires, seco y húmedo (A) suelo no encalado (B) suelo encalado.....	160
8A	Curvas de sorción de azufre en suelos La Montaña, seco y húmedos (A) suelo no encalado (B) suelo encalado.....	161
9A	Curvas de sorción de azufre en suelos Cariari, seco y húmedos (A) suelos no encalados (B) suelo encalado.....	162
10A	Curvas de sorción de cobre en suelos no encalados, secos y húmedos (A) Buenos Aires (B) La Montaña (C) Cariari .....	163
11A	Curvas de sorción de zinc en suelos no encalados, secos y húmedos (A) Buenos Aires (B) La Montaña (C) Cariari.....	164
12A	Curvas de sorción de zinc en suelos encalados, secos y húmedos (A) Buenos Aires (B) La Montaña (C) Cariari.....	165
13A	Curvas de sorción de manganeso en suelos Buenos Aires, secos y húmedos (A) suelos no encalados (B) suelos encalados.....	166

Figura Nº

Página

14A	Curvas de sorción de manganeso en suelos La Montaña, secos y húmedos (A) suelo no encalados (B) suelos encalados.....	167
15A	Curvas de sorción de manganeso en suelos Cariari, secos y húmedos (A) suelos no encalados (B) suelos encalados.....	168
16A	Isotermas de adsorción de fósforo en suelos secos no encalados.....	169
17A	Isotermas de adsorción de fósforo en suelos húmedos, no encalados.....	170
18A	Isotermas de adsorción de fósforo en suelos secos encalados.....	171
19A	Isotermas de adsorción de fósforo en suelos húmedos encalados.....	172