

RECOMENDACIONES DE MANEJO DE LA FERTILIZACION DEL CULTIVO DE FRIJOL EN COSTA RICA

José Corella¹

RESUMEN

Recomendaciones de manejo de la fertilización del cultivo de frijol en Costa Rica. Se presenta en este artículo un resumen de algunos logros relevantes en 10 años de investigación en la fertilización del cultivo de frijol en Costa Rica. El artículo se divide: a) en una introducción general, b) requerimientos nutricionales de algunos cultivares en Costa Rica, c) la calibración de los valores de referencia de análisis foliares con las metodologías de extracción que se utilizan en el laboratorio del ministerio de Agricultura y Ganadería y sus comparación con lo reportado por otros autores, d) la respuesta del cultivo de frijol a la fertilización, esta sección es la más extensa y se divide en macronutrientes y micronutrientes. En cuanto al nitrógeno se comenta la variabilidad entre ambientes y cultivares en su respuesta al nitrógeno y la calibración del análisis químico de materia orgánica con la respuesta de nitrógeno en el campo, también se incluye una tabla en la cual se expresan los kg ha⁻¹ de N para un rendimiento dado. En el caso del fósforo se muestra la calibración de Olsen modificado como guía de fertilización fosforada, el uso de fuentes baratas de fósforo y la selección de genotipos que sean más eficientes extrajendo fósforo del suelo. También se mencionan los principales logros en encalado, como el nivel crítico de saturación de aluminio, fórmulas que predicen la cantidad de carbonato de calcio a aplicar y cuales variedades son tolerantes a esta condición. En referencia la potasio, magnesio, azufre y micronutrientes se reportan los valores en el suelo que se pueden utilizar como herramientas de decisión de fertilización en el cultivo de frijol y por último la literatura consultada.

ABSTRACT

Recommendations for bean fertilization in Costa Rica. Presented are relevant examples of fertilization practices in Costa Rica condensed from 10 years of research. Included are nutritional requirements of some bean cultivars in Costa Rica, calibration of reference values of foliar analysis using the extraction methods approved by the Ministry of Agriculture and their comparison with values reported by other authors, and bean responses to fertilization divided into micro- and macronutrient sections. Because of the variability encountered between environments and cultivars for response to N fertilization in the field and the relationship between chemical analysis of organic matter and N response, a table relating kg N ha⁻¹ and yield is also presented. In the case of P, the modified Olsen method is used as a guide to P fertilization, and the use of inexpensive P sources and genotypes efficient for P extraction from soils is discussed. The principles of liming acid soils are also discussed, including critical aluminum saturation levels, formulas to predict applications of calcium carbonate, and varieties tolerant to acid soils. Values of potassium, magnesium, copper and other micronutrients in soils are also discussed as tools for fertilization decisions.

¹ Unidad de suelos, Subdirección de Investigaciones Agrícolas, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, costa Rica.

INTRODUCCION

El programa de investigación de la Unidad de Suelos en fertilización del cultivo del frijol, a destinado todos sus esfuerzos hacia el uso de fuentes químicas de nitrógeno. Las investigaciones se han desarrollado en su mayoría en campos de agricultores en diversos agroambientes frijoleros de Costa Rica.

Según Scholz (25), las áreas en donde se siembra frijol, incluyen una gran diversidad de ordenes de suelos que van desde Mollisoles,

Inceptisoles (Eutropepts, Pystropepts y Humitropepts), Andisoles, Alfisoles y Ultisoles; es importante considerar que estos suelos se ubican desde el nivel del mar hasta 1500 msnm. Lo anterior nos da una gran diversidad de agroambientes en los cuales se siembra frijol, por esta razón las investigaciones de respuesta a la fertilización se ubicaron en las zonas que representen cada una de estos agroambientes (Figura 1). Las soluciones extractoras de suelo y foliar para los cuales la Unidad de Suelos ha trabajado para obtener niveles criticos se observan los Cuadros 1 y 2.

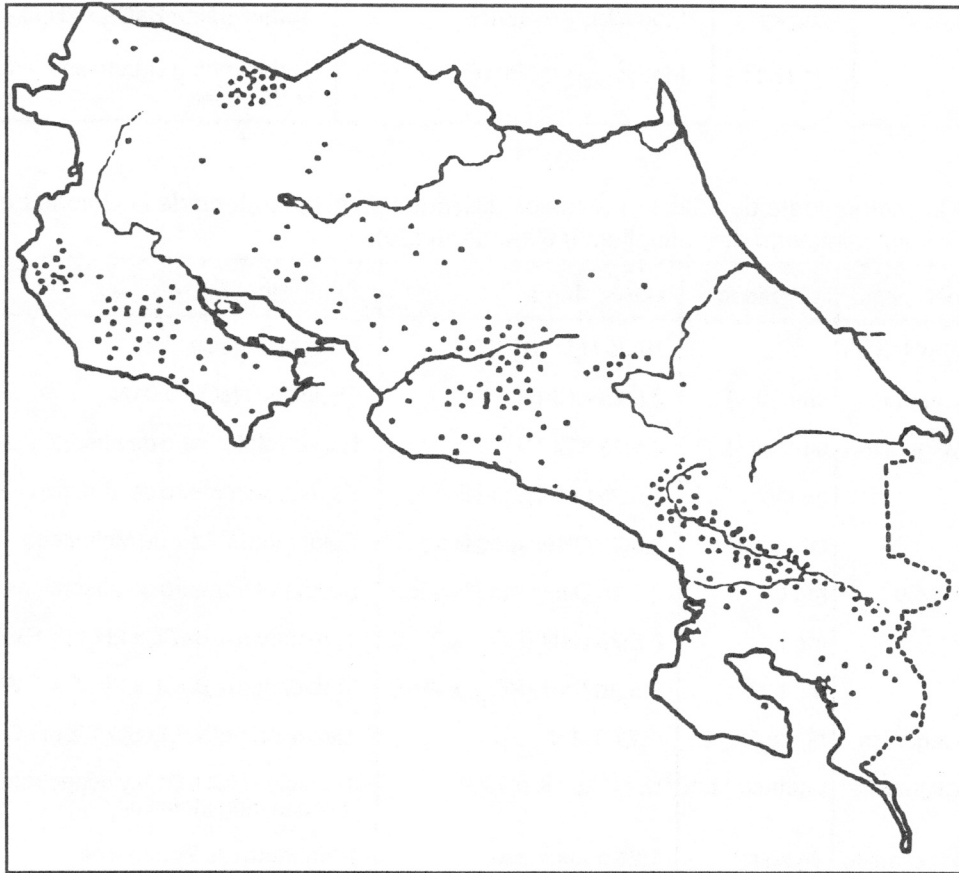


Fig. 1. Principales zonas frijoleras de Costa Rica.

Cuadro 1. Metodología de análisis de tejido vegetal utilizado en el laboratorio de la Unidad de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (26).

Características	Unidad	Metodología	Determinación
Nitrógeno	dg kg ⁻¹	K ₂ SO ₄ + H ₂ SO ₄ conc.	Titulación H ₂ SO ₄ 0,0200N
P	dg kg ⁻¹	1:30 H ₂ SO ₄ conc.+metanol+ H ₂ SO ₄ conc.	Colorimetrica Azul de molibdeno.
Ca y Mg	dg kg ⁻¹	1:30 H ₂ SO ₄ conc. + metanol + H ₂ O ₂ conc. + La ₂ O ₃ 0,5% y 1%	Espectrofotómetro de absorción atómica.
K	dg kg ⁻¹	1:30 H ₂ SO ₄ conc. + metanol + H ₂ O ₂ conc.	Espectrofotómetro de absorción atómica.
Zn-Mn-Cu-Fe	mg kg ⁻¹	1:30 H ₂ SO ₄ conc. + metanol + H ₂ O ₂ conc.	Espectrofotómetro de absorción atómica.
Azufre	dg kg ⁻¹	Mg(NO ₃) ₂ + metanol	Turbidimetría BaCl ₂ x 2H ₂ O + pvp k30
Boro	mg kg ⁻¹	Mg(NO ₃) ₂ + metanol	Turbidimetria Curcumina + metanol + H ₂ SO ₄ conc.

Cuadro 2. Metodología de análisis de suelos utilizadas en el laboratorio de la Unidad de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (26).

Características	Unidad	Metodología	Determinación
pH (H ₂ O)-pH (KCl)		10:25 H ₂ O ó KCl 1N	Potenciométrica
Acidez extraíble	cmmol(+) L ⁻¹	2,5:25 KCl 1N	Titulación NaOH 0,01N
Calcio-Magnesio	cmmol(+) L ⁻¹	2,5:25 KCl 1N	Espectrofotómetro de absorción atómica
K	cmmol(+) L ⁻¹	2,5:25 Olsen modificado	Espectrofotómetro de absorción atómica
P	cmmol(+) L ⁻¹	2,5:25 Olsen modificado	Colorimetría-Azul de Molibdeno
Zn-Mn-Fe-Cu	mg L ⁻¹	2,5:25 Olsen modificado	Espectrofotómetro de absorción atómica
Azufre	mg L ⁻¹	2,5:25 CaH ₄ (PO ₄) ₂ x 2H ₂ O	Turbidimetria BaCl ₂ x 2H ₂ O + PVP k30
Boro	mg L ⁻¹	2,5:25 CaH ₄ (PO ₄) ₂ x 2H ₂ O	Turbidimetria BaCl ₂ x 2H ₂ O + PVP k30
Materia organica	dg kg L ⁻¹	K ₂ CrO ₇ 1N	Titulación Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ x 6H ₂ O
CIC y cationes	cmmol(+) L ⁻¹	NH ₄ OAc 1N pH 7,0	Titulación HCl 0,01N y espectrofotómetro de absorción atómica
Análisis mecanico	dg kg L ⁻¹	1:20 agua:suelo	Hidrómetro de Bouyoucos

Olsen modificado= NaHCO₃ 0,5N, EDTA disódico 0,01H y superfloc 127.

Para desarrollar el color azul se utiliza (NH₄)₂MoO₄ ácido y SnCl₂.

REQUERIMIENTO NUTRICIONAL DEL CULTIVAR DE FRIJOL

Para establecer un programa racional de fertilización es imprescindible el conocimiento de la absorción de nutrientes por la planta (extracción de nutrientes, así como la cantidad de nutrimentos que es retirada del campo de cultivo en forma de producto cosechado (exportación de nutrientes).

En el caso del frijol, la mayoría de las veces la exportación de nutrientes es el total de extracción por la planta, debido a que la cosecha es manual, por lo que las plantas son arrancadas y concentradas en una reducida área, donde es aporreado el frijol.

Debe de considerarse, que la extracción y exportación de nutrimentos depende del potencial de producción del cultivar y de la cosecha alcanzada durante la época de cultivo. Por lo tanto la eficiencia de uso de los fertilizantes no va a ser la misma en todos los cultivares.

En un trabajo realizado por Corella (12) se determinó la extracción de Talamanca, Brunca y Porillo Sintético a la y a su madurez fisiológica. En el Cuadro 3, se puede ver que a la floración Talamanca y Porrillo extraen similares cantidades de nitrógeno y magnesio; Porrillo Sintético es más eficiente en la extracción de potasio, cobre, zinc y magnesio.

A la madurez fisiológica (Cuadro 4) Talamanca es una variedad más exigente en cuanto a nitrógeno, fósforo, calcio, zinc y magnesio comparado con el Brunca y Porrillo sintético. A su vez Brunca mostró la mayor necesidad de potasio y magnesio.

De lo anterior se deduce que para producir un kilogramo de frijol Talamanca bajo las condiciones experimentales es necesario 76; 3,5; 59,4; 16,3 y 8,9 gramos de N, P, K, Ca, Mg, respectivamente. Para Brunca y Porrillo Sintético las cantidades necesarias para producir un kilogramo de frijol son las mismas expresadas en el Cuadro 4, pero leyendolas como gramos en ves de kilogramos. También del Cuadro 4, podemos concluir que es de gran importancia conocer los valores de extracción y exportación de nutrimentos de los cultivares más utilizados por los agricultores, en las diversas condiciones ambientales de nuestro país. Esto debido a que existe una absorción diferencial de nutrientes de los cultivares, por ejemplo en el caso de Porrillo Sintético solo se ocupan 0,7 gr de fósforo para producir el kilogramo de grano, mientras que en Brunca y el Talamanca se ocupan 1,3 y 3,4 gr de fósforo respectivamente. Lo cual equivale a 1,85 y 5 veces mas fósforo utilizado por Brunca y Talamanca que Porrillo Sintético. También es interesante observar que Porrillo Sintético requiere la mitad del magnesio que requieren Brunca y Talamanca.

Cuadro 3. Extracción de nutrimentos de dos variedades de frijol común para un rendimiento de 1 t ha⁻¹ de biomasa al 50% de floración.

Variedad	parte de planta	kg ha ⁻¹							
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
Talamanca	toda	60	4,4	14,8	13,6	5,0	0,011	0,029	0,059
Porrillo sintético	toda	62	3,6	22,1	15,5	6,0	0,016	0,049	0,128

Cuadro 4. Extracción de nutrientes de tres variedades de frijol común para un rendimiento de 1 t ha⁻¹ a su madurez fisiológica. ^{*/}

Variedad	Parte de planta	kg ha ⁻¹								% Peso	Índice de cosecha
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn		
Talamanca	Grano ^{*/}	40	2,5	19,8	1,8	2,1	0,009	0,034	0,018	40	0,48
	Paja	21	0,7	26,0	12	4,4	0,009	0,024	0,084	18,6	
	Vaina	15	0,3	13,6	2,6	2,4	0,007	0,005	0,018	41,4	
	total	76	3,5	56,4	16,4	8,9	0,025	0,063	0,120		
Brunca	Grano	37	0,5	16,7	2,0	7,5	0,013	0,025	0,015	28,6	0,54
	Paja	18	0,6	14,1	3,7	3,5	0,011	0,010	0,057	16,2	
	Vaina	12	0,1	29,9	4,4	3,6	0,009	0,009	0,030	55,2	
	total	67	1,3	60,7	10,1	9,6	0,031	0,054	0,096		
Porriño Sintético	Grano	41	0,3	20,2	1,1	1,1	0,013	0,025	0,022	26,7	0,53
	Paja	17	0,2	31,7	3,3	1,7	0,009	0,007	0,030	19,8	
	Vaina	14	0,2	26,4	3,3	1,4	0,009	0,009	0,030	53,4	
	total	72	0,7	54,5	7,7	4,2	0,031	0,041	0,082		

^{*/} Exportación de nutrientes = granos + vainas

^{**/} Temperatura promedio anual = 35°C ± 5°C

Precipitación promedio anual = 1635 mm ± 200 mm.

Promedio anual de horas de sol = 7 horas día ± 2 horas día.

DIAGNOSTICO FOLIAR

El análisis químico de las hojas para la determinación de deficiencias minerales es una excelente herramienta, sin embargo consume más tiempo que el diagnóstico visual. Además del análisis químico foliar es necesario calibrarlo con el rendimiento en pruebas de campo.

Existen pocos estudios en que se procura determinar las bases de diagnóstico foliar del frijol, así como la determinación de niveles críticos. Howeler (19) determinó los siguientes niveles críticos en condición de invernadero (Cuadro 5). Ramírez (22) encontró que el fraccionamiento del nitrógeno foliar es un método más sensible para la determinación de límites de insuficiencia o normalidad; en el caso del fósforo encontraron una mayor sensibilidad en la determinación de fosfatos comparada con el fósforo total. Ramírez (22) también

determinó que el uso de los pecíolos como parte de la planta para determinación de concentración foliar de nutrientes es adecuada para la detección de las necesidades nutricionales del cultivo (Cuadro 6).

Nitrógeno

Corella (3,16) encontró que el valor de nitrógeno en el tercer trifolio al 50% de floración varía, como es de esperarse, con las adiciones de fertilizante nitrogenado y con el agroambiente, presentando los valores más bajos en el experimento de mayor rendimiento de grano y mayor biomasa y los más altos en el agroambiente que presentó menor rendimiento y biomasa, que nos señala la necesidad de interpretar los índices foliares con base en contenido de nutriente en las hojas y no con base en concentración, para

Cuadro 5. Valores de referencia para interpretar los resultados analíticos de tejidos foliares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) expresados en concentración al inicio de la floración en los folíolos superiores.

Nutriente	Estado nutricional de la planta ^{1/}				
	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Tóxico
N (g Kg ⁻¹)	< 3	3,0 - 4,5	4,5 - 5,5	> 5,5	-
P (g Kg ⁻¹)	< 0,25	0,25 - 0,35	0,35 - 0,50	> 0,5	-
K (g Kg ⁻¹)	< 1	1 - 2	2 - 4	> 4	-
Ca (g Kg ⁻¹)	< 1,25	1,25 - 1,30	1,30 - 2,00	> 2	-
Mg (g Kg ⁻¹)	< 0,3	0,30 - 0,35	0,35 - 1,30	> 1,3	-
S (g Kg ⁻¹)	< 0,14	0,11 - 0,20	0,2 - 0,3	> 0,3	-
Cu (mg ml ⁻¹)	< 15	-b	15 - 25	-	-
Zn (mg ml ⁻¹)	< 15	15 - 40	40 - 50	-	-
Mn (mg ml ⁻¹)	< 20	20 - 80	80 - 200	-	> 200
Fe (mg ml ⁻¹)	< 100	-	100 - 800	-	-
B (mg ml ⁻¹)	< 15	15 - 20	20 - 30	30 - 40	> 45

a Deficiencia de $\leq 80\%$ del rendimiento máximo; bajo = 80 - 90% del rendimiento máximo; suficiente = 90 - 100% del rendimiento máximo; alto = 100 - 90% del rendimiento máximo; toxico = $\leq 90\%$ del rendimiento máximo.

b - No se obtuvieron datos

Cuadro 6. Valores críticos de las formas de nitrógeno y fósforo de fosfatos en los peciolo y hojas del cultivo del frijol en Costa Rica.

Nutriente	Parte de la planta	Nivel crítico	Normal
NTSA* (mg L ⁻¹)	HOJAS	800	1287
NOSA** (mg L ⁻¹)		200	919
N-NO ₃ (mg L ⁻¹)		600	368
NTSA* (mg L ⁻¹)	PECIOLO	661	6789
NOSA** (mg L ⁻¹)		253	819
N-NO ₃ (mg L ⁻¹)		408	5970
P-PO ₄ (mg L ⁻¹)	HOJAS	800	5 ^{1/}
P-PO ₄ (mg L ⁻¹)	PECIOLO	700	4,8 ^{1/}

^{1/} dg kg⁻¹

* Nitrógeno total soluble en agua

** Nitrógeno orgánico soluble en agua.

superar el problema de dilución de nutrientes con el mayor crecimiento vegetativo (Figura 2).

Corella (13, 14, 16) al calibrar en nuestros agroambientes frijoleros el análisis foliar, se muestra en la Figura 3 los niveles encontrados, en donde es necesario que el cultivo tenga valores superiores a 4,5 % para alcanzar el 80 % del rendimiento y arriba de 5,2 % para lograr el 95 % del rendimiento.

En condición de campo Corella (3), reporta (Cuadro 5) que los contenidos foliares de nutrimentos varían con las adiciones de fertilizantes. Al tomar la tercera hoja madura al 50 % de floración se encontró que el nivel de cero nitrógeno presentó el contenido foliar de N mostró un incremento del 0,8 %, pero un incremento del rendimiento del 400 %.

Fósforo

El fósforo junto al nitrógeno son los elementos que más atención han recibido en el

programa de Fertilidad de Suelos de la Unidad de Suelos, es así como Corella (16) encontró (Figura 4) que sólo a niveles de mg/ml o menores, la concentración de fósforo foliar disminuye. El nivel crítico hallado para producir el 90% del rendimiento fue de 0,4 % y el nivel para producir rendimientos inferiores del 40 % del rendimiento relativo fue de 0,22 % (Figura 5). El mismo autor (3, 15), encontró que sin embargo este nivel varía con el cultivar, siendo en algunos 0,45 % para obtener el 90 % del rendimiento mientras en otros con ese valor solo se alcanzó el 80 % del rendimiento máximo; el valor al cual se observaron síntomas de deficiencia de fósforo en el campo varió también con el cultivar, variando desde 0,16 hasta 0,27 % (Figura 6). El fósforo presentó un valor de 0,27 %, con la dosis de cero fósforo adicionado como fertilizante; al adicionar 43 kg/ha de fósforo se incrementó el contenido foliar de fósforo en solo un 0.07 %, pero el rendimiento fue superior en un 327 %.

En la Figura 7 se observa que el contenido foliar de fósforo varía con el cultivar empleado,

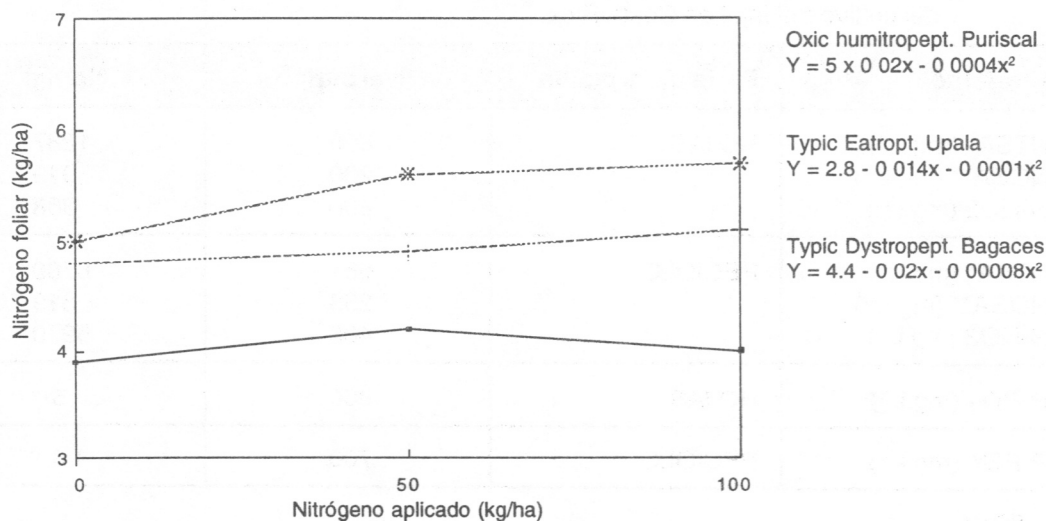


Fig. 2. Efecto del ambiente y dosis de nitrógeno sobre el contenido de nitrógeno foliar en frijol.

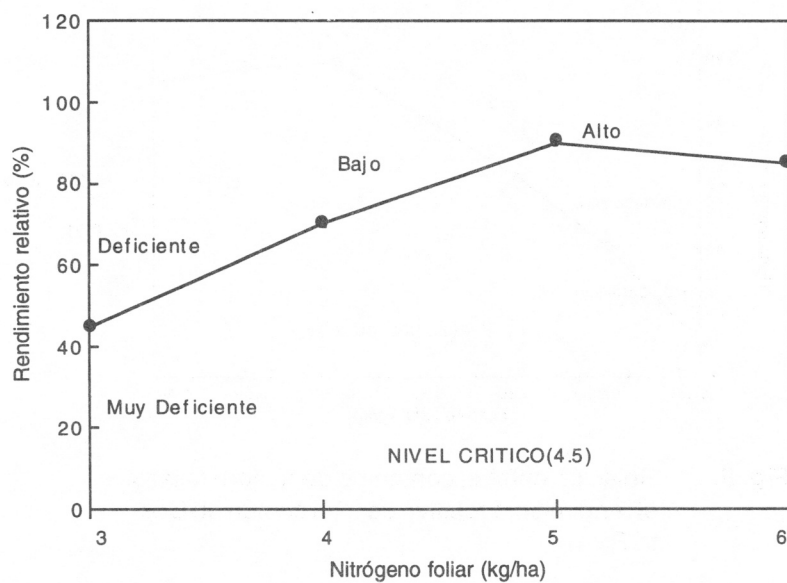


Fig. 3. Efecto del nitrógeno foliar sobre el rendimiento relativo de frijol común.

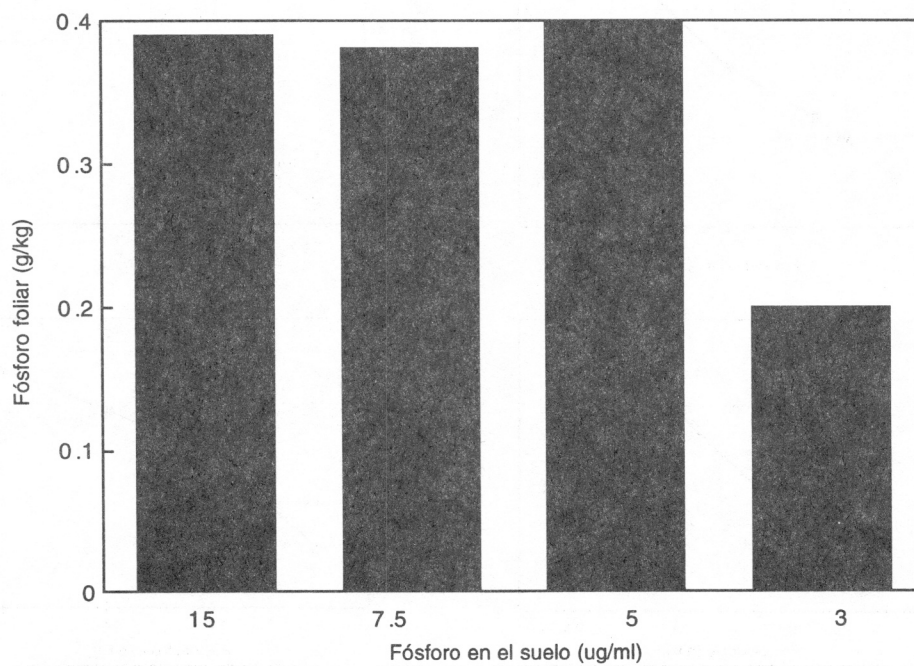


Fig. 4. Efecto del fósforo en el suelo sobre el contenido de fósforo foliar en el cultivo de frijol.

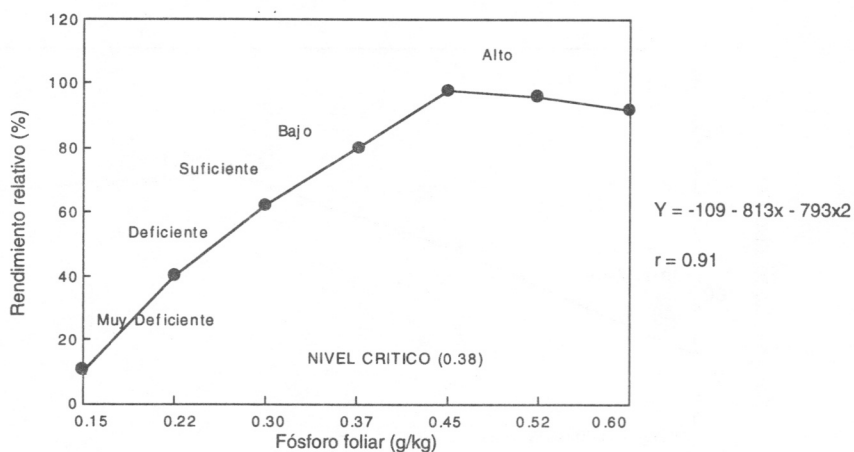


Fig. 5. Relación entre el contenido de fósforo foliar y el rendimiento relativo de frijol común en Costa Rica.

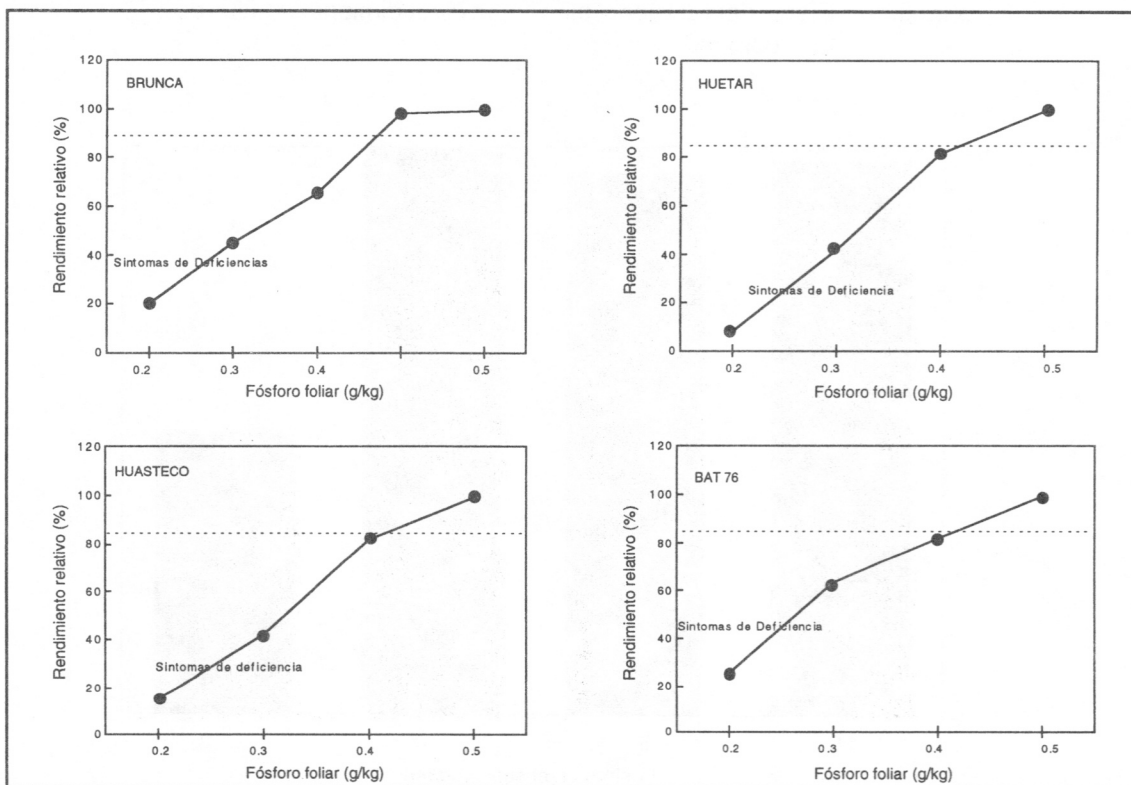


Fig. 6. Niveles críticos de fósforo foliar en diferentes genotipos de frijol negro, en un Ultisol de Pérez Zeledón, Costa Rica.

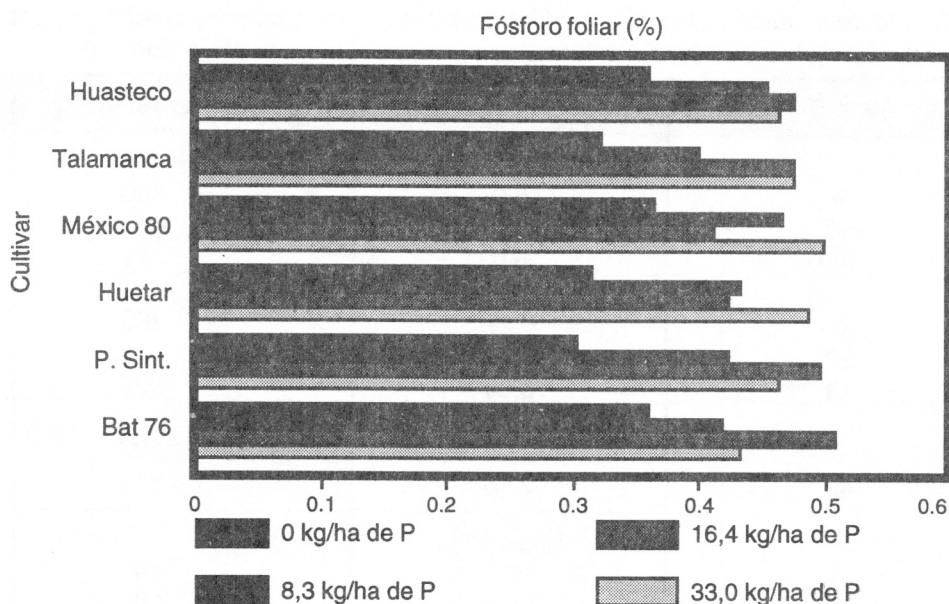


Fig. 7. Efecto de dosis crecientes de abono fosfatado en el contenido foliar de P en seis cultivares de frijol.

por ende los niveles críticos foliares lo harán también. La Figura 7 muestra que con la adición de fósforo al suelo se incrementa el contenido foliar de P y que Huasteco, Talamanca y México 80 absorben más fósforo comparado con los otros cultivares. Se observa que Porrillo Sintético es la variedad que menos absorbe fósforo a bajos niveles de P; es interesante notar que el cultivar BAT 76 presenta una mayor eficiencia de absorción de P en ausencia de su aplicación al suelo, de ahí su gran eficiencia de producir a bajos niveles de fósforo.

Otros Elementos

Corella (3, 16), encontró que el potasio foliar y el rendimiento aumentaron en 0,34% y 16 %, respectivamente, con la adición de 42 kg/ha de potasio. La adición de 10 kg/ha de zinc provocó un aumento del contenido de zinc

foliar de 18,2 mg/ml, pero el aumento en rendimiento fue del 1 %. La adición del manganeso aumentó en un 11 % el rendimiento, y 25 mg/ml el valor foliar de este elemento (Cuadro 7).

Como conclusiones podemos decir: a) que los valores foliares reportados por la literatura (19, 22) coinciden con los encontrados para fósforo, pero en el caso del nitrógeno los valores de deficiencia encontrados son mayores y los rangos de las otras categorías son más estrechos (Cuadro 8), b) muchas veces una planta con poco crecimiento presenta valores mayores que plantas con un crecimiento normal, por lo que en estas situaciones sería útil el uso de contenido de nutrientes en vez de concentración y c) que los valores de nivel crítico varía con los cultivares, lo que indica la necesidad de estar generando los niveles críticos para los nuevos cultivares que son adoptados por un gran número de agricultores.

Cuadro 7. Efecto de la adición de nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y magnesio sobre el contenido foliar de frijol común (cv Talamanca), en un Oxic Humitropept de Puriscal.

Nutriente aplicado (kg ha ⁻¹)	Contenido foliar	Rendimiento relativo (%)
Nitrógeno ¹	(%)	
0	5,0	100
50	5,8	410
100	6,0	311
Fósforo ^{2,3}		
0	0,27	100
22	0,39	170
43	0,34	327
Potasio ^{2,4}		
0	2,22	100
42	2,56	116
Zinc ^{2,4}	(mg ml ⁻¹)	
0	48,1	100
5	66,3	101
Manganeso ^{2,4}		
0	125	100
5	150	109

^{1/} Mikrokjeldahl,

^{2/} Digestión húmeda con H₂SO₄ + H₂O,

^{3/} Fósforo por método de Osmond y

^{4/} Absorción atómica.

RESPUESTA DEL CULTIVO DE FRIJOL A LA FERTILIZACION

Nitrógeno

El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes que mayor énfasis han recibido en el programa de Investigaciones de la Unidad de Suelos, que se inició en 1979. Los objetivos de este programa fue el de encontrar las dosis óptimas de abonado y la correlación con métodos de extracción de laboratorio para poder hacer recomendaciones de abonado con mayor agilidad. Corella (3, 13, 14, 16) encontró una respuesta diferencial entre agroambientes y aplicación de fuentes nitrogenadas (Figura 8), se observó que para obtener el 95 % del rendimiento

máximo en la zona montañosa de la cordillera de Guanacaste se ocupó 105 kg de N/ha, mientras que para Puriscal, Pérez Zeledón y Upala se ocupó cerca de 50 kg de N/ha para obtener el 95 % del rendimiento máximo. Por lo tanto el manejo del nitrógeno debe ser diferente entre estos agroambientes.

Corella (16), determinó que para la eficiencia de uso de nitrógeno con respecto al rendimiento. Se utilizó la misma variedad (Porrillo Sintético) en 4 agroambientes con tipos de suelos diferentes, y se encontró que la eficiencia de uso de nitrógeno en los primeros 50 kg de N/ha aplicados son más eficientes que adiciones posteriores y en algunos agroambientes esta fue negativa (Figura 9). En

Cuadro 8. Valores de referencia encontrados por la Unidad de Suelos para interpretar los resultados analíticos de tejido foliar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) expresados en concentración al inicio de la floración en los terceros folíolos superiores.

Nutriente	Estado nutricional de la planta ^{1/}				
	Muy deficien.	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto
N (dg Kg-1)	< 3,6	3,7 - 4,3	4,4 - 4,7	4,8 - 5,2	> 5,3
P (dg Kg-1)	< 0,23	0,24 - 0,35	0,36 - 0,40	0,41 - 0,50	> 0,51

^{1/} Muy deficiente =< 40% del rendimiento máximo; Deficiente = Bajo = 40 - 80% del rendimiento máximo; bajo 80 - 90% del rendimiento máximo; Suficiente = 90 - 100% del rendimiento máximo; y Alto = 100 - 90% del rendimiento máximo.

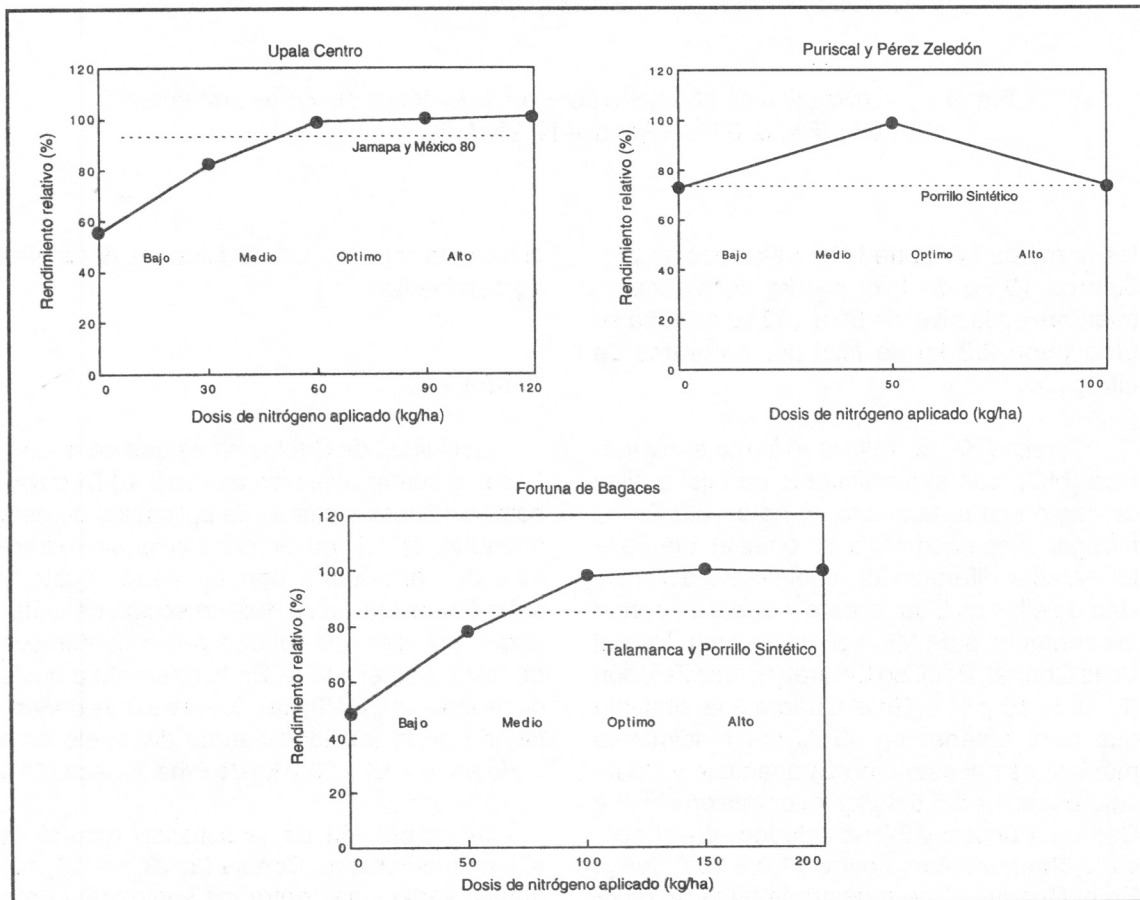


Fig. 8. Efecto del ambiente a la respuesta de nitrógeno en el cultivo de frijol en Costa Rica.

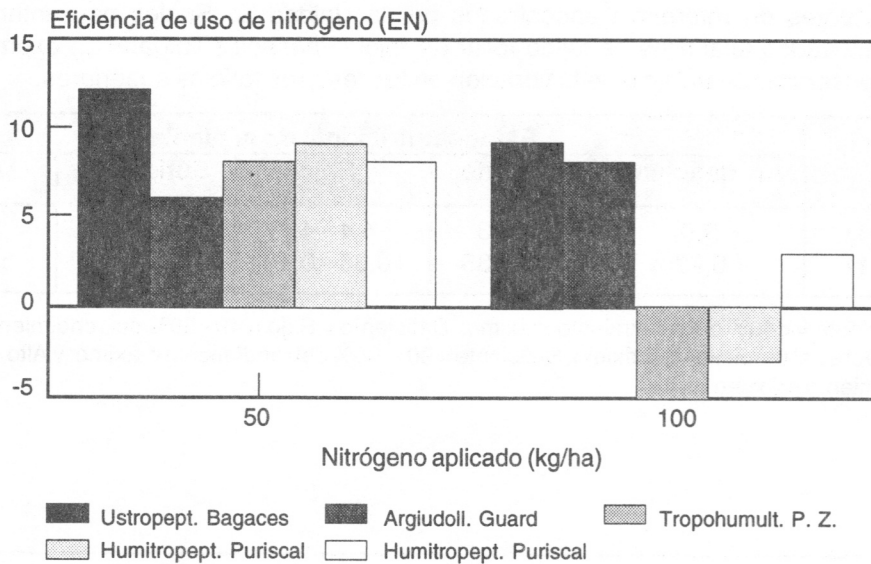


Fig. 9. Utilización de nitrógeno por Porrillo sintético en varios ambientes en $(\text{Rend. } 0 \text{ N}) - (\text{Rend. } + \text{ N}) / \text{N Aplic.}$

los primeros 50 kg de N/ha aplicados se produjeron 10 kg de frijol por kg de nitrógeno, mientras en el nivel de 50 a 100 kg de N/ha se produjeron 2,2 kg de frijol por kilogramo de nitrógeno.

Corella (16), correlacionó la materia orgánica (MO), con el rendimiento de frijol a nivel de campo en tratamiento de no aplicación de nitrógeno; se encontró dos zonas en donde la MO afecta diferente el rendimiento del frijol. Una de ellas es Guanacaste y Upala en donde los contenidos de MO son inferiores a los del Valle Central, Pacífico Central y Pérez Zeledón (Figuras 10 y 11). En el Cuadro 9 se observa que para obtener un 95 % del rendimiento máximo es necesario en Guanacaste y Upala valores de 4,4 a 5,5 dg/kg, mientras en el Valle Central, Puriscal y Pérez Zeledón se es necesario obtener valores entre 11,3 a 13,0 dg/kg. En el Cuadro 11 se muestra la tabla de recomendación de fertilizantes nitrogenados del

cultivo de frijol en Costa Rica en diferentes agroambientes.

Fósforo

La Unidad de Suelos ha estudiado en fósforo con cuatro objetivos básicos: a) Determinación de dosis óptimas de aplicación de este nutriente, b) calibración de la solución extractora del laboratorio con el menor costo y métodos de aplicación y d) selección de variedades de frijol que toleren bajos contenidos de fósforo en el suelo. En lo referente a dosis óptimas Corella (16), ha observado que dependiendo de la fertilidad natural del suelo esta varía entre 13.1 y 26.2 kg de P/ha (Cuadro 11).

La calibración de la solución extractora (Olsen modificado), Corella (3, 13, 14, 15, 16) obtuvo variaciones entre los suelos de carga variable (Andisoles, Ultisoles, y suelos asocia-

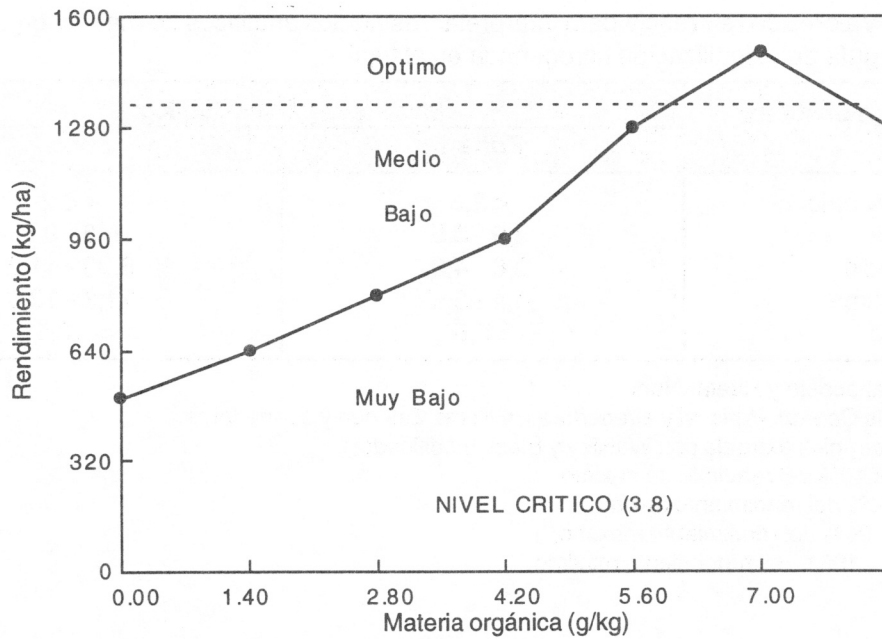


Fig. 10. Nivel crítico de nitrógeno del cultivo de frijol utilizando el contenido de materia orgánica como criterio para la zona de Guanacaste.

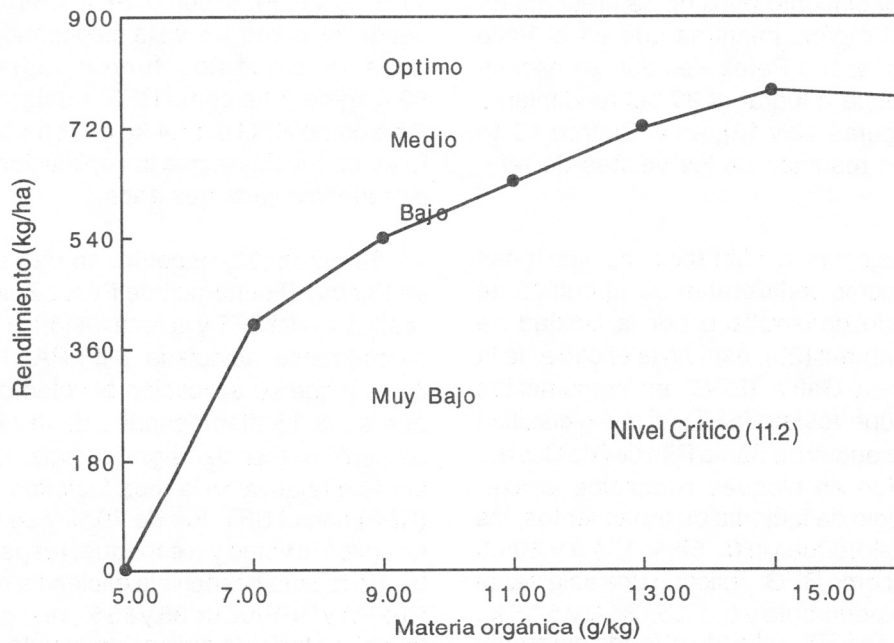


Fig. 11. Nivel crítico de nitrógeno del cultivo de frijol utilizando el contenido de materia orgánica como criterio para la zona sur y pacífico central.

Cuadro 9. Valores de referencia para interpretar resultados analíticos de materia orgánica como guía de la fertilización nitrogenada en el frijol.

Valor en el suelo	Materia orgánica (dg Kg ⁻¹)	
	Zona 1	Zona 2
Muy bajo	< 2,8	< 8,2
Bajo	2,9 - 3,5	8,3 - 9,8
Medio	3,6 - 4,3	9,90 - 11,2
Optimo	4,4 - 5,5	11,3 - 13,0
Alto	>5,5	> 13,1

Zona 1 : Guanacaste y Huetar Norte

Zona 2 : Valle Central, Puriscal y alrededores; y Perez Zeledon y alrededores.

1 = Materia orgánica extraída con Walkley y Black modificado().

Muy bajo = < 40% del rendimiento máximo;

Bajo = 40 - 80% del rendimiento máximo;

Medio = 80 - 90% del rendimiento máximo;

Optimo = 90 - 100% del rendimiento máximo.

dos) y los suelos de carga no variable (Molisolles, Eutropepts y suelos asociados). En la región de Guanacaste y Upala para obtener un 90 % del rendimiento máximo se presentó un valor de 12 mg/ml, mientras que en el Valle Central, Puriscal y Pérez Zeledón se necesitan 8 mg/ml para lograr el 90 del rendimiento relativo (Figuras 12 y 13); en el Cuadro 10 se presenta un resumen de los valores de referencia.

El trabajo de la utilización de las rocas fosfóricas como fertilizantes en el cultivo de frijol, ha sido desarrollado por la Unidad de Suelos. Ramírez (23), estudio la eficacia de la roca fosfórica Gafsa (RFG) en combinación con triple superfosfato (SFT), el suelo clasificó como un Paleudult de Santa Rita de Río Cuarto. El diseño fue en bloques completos al azar con un arreglo de factorial de tratamientos, las dosis de fósforo fueron 0, 52,4, 104,8 y 209,6 kg de P/ha como RFG, aplicado una sola vez al inicio del experimento y 0, 17,5, 35,0 y 52,5 kg de P/ha como SFT, aplicado al fondo del surco, en cada siembra. En un tratamiento adicional se probó la influencia de la cal (3 ton de

CaCO₃/ha) sobre la RFG. Los mejores rendimientos obtenidos fueron 104,8 kg de P/ha como RFG + cal y 240 kg de P/ha como RFG + 17,5 kg de P/ha como SFT. Sin embargo, desde el punto de vista económico los mejores rendimientos fueron logrados con 52,4 kg de P/ha como RFG + cal y 52,4 kg de P/ha como RFG + 17,4 kg de P/ha como SFT. El autor considera que las aplicaciones deben de repetirse cada tres años.

Ramírez (23) encontró en otro estudio en un Plinthic Palehumult de Pérez Zeledón, que la eficacia del SFT y la roca fosfórica de Florida parcialmente acidulada (RFFPA) fue de un 86 % y que su aplicación al voleo o en espeque a los 15 días después de la siembra no presentó diferencias significativas. Mientras la eficacia relativa de la roca fosfórica de Florida (RFF) con el SFT, fue de 70 % y 34 % cuando se aplicó al voleo y a espeque, respectivamente. En la 3era cosecha la eficiencia relativa del RFFPA y RFF fue de 85 y 83 %, respectivamente y el método de aplicación al voleo mantuvo su eficiencia de liberar fósforo comparado con la aplicación a espeque.

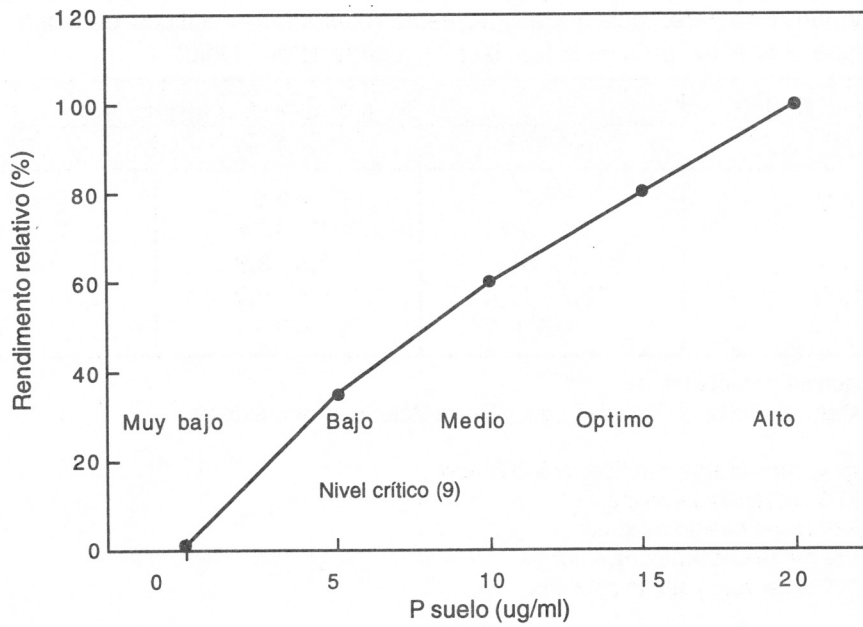


Fig. 12. Nivel crítico de fósforo de experimentos de Upala, Bagaces y Gardia.

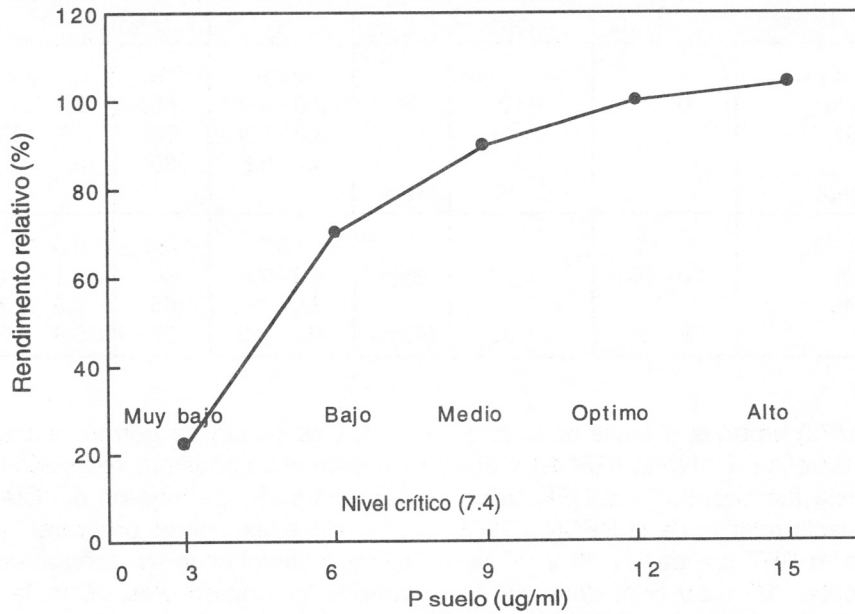


Fig. 13. Nivel crítico de fósforo para suelos ácidos de Pérez Zeledón y Puriscal (cada punto representa un ensayo).

Cuadro 10. Valores de referencia para interpretar resultados analíticos de suelo de fósforo disponible como guía de la fertilización fosforada en el frijol.

Valor en el suelo ¹	Fósforo disponible (dg Kg ⁻¹)		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Muy bajo	< 6,0	< 5,0	< 7,0
Bajo	6,1 - 9,7	5,1 - 7,4	7,1 - 11,5
Medio	9,8 - 12,6	7,5 - 8,3	11,6 - 14,1
Optimo	12,7 - 15,0	8,4 - 9,0	14,2 - 15,3
Alto	>15,1	> 9,1	> 15,4

Zona 1 : Guanacaste y Huetar Norte

Zona 2 : Valle Central, Puriscal y alrededores; y Perez Zeledon y alrededores.

Zona 3 : ?

1 = Fósforo disponible extraída con Olsen modificado().

Muy bajo = < 40% del rendimiento máximo;

Bajo = 40 - 80% del rendimiento máximo;

Medio = 80 - 90% del rendimiento máximo;

Optimo = 90 - 100% del rendimiento máximo.

Cuadro 11. Criterios para escoger las dosis de nitrógeno y de fósforo para el frijolsemimecanizado en Costa Rica para un rendimiento de 1,4 ton ha⁻¹.

Tipo de suelo	Pendiente (%)	Fertilidad del suelo		Nitrógeno		Fósforo	
		Suma de bases	Tipo	% MO	kg ha ⁻¹ N	ug ml ⁻¹	kg ha ⁻¹ P
Aluvial, moderadamente drenado Udolls, Ustolls Tropepts. Ustalfs, Tropept	0 - 3	> 10	Alta	< 2,8	70	< 6	31
				2,9 - 3,5	60	6,1 - 9,7	26,2
				3,6 - 4,3	50	9,8 - 12,7	19,7
		5 - 10	Media	4,4 - 5,5	30	12,7 - 15,0	13,1
Residual Ustuts, Humult y dystrandeps Andepts	3 - 15	< 5	Baja	< 8,2	100	< 5	32,7
	30 - 80			8,3 - 9,8	80	5,1 - 7,4	28,4
				9,9 - 11	65	7,5 - 8,3	18,0
	3 - 15	5 - 10	Media	11,1 - 13	50	8,4 - 9,0	8,2

Ramírez (23) probó la eficacia de la roca fosfórica de Carolina del Norte (RFCN) y encontró que esta fue superior a la RFF en un 50%. La eficacia relativa de la RFCN y RFF con respecto al SFT fue de un 90 y 74 %, respectivamente. El autor considera que la aplicación de 75 kg de P/ha con RFCN al voleo más 25 kg de P/ha es el tratamiento más rentable.

La selección de germoplasma de frijol a suelos con bajo fósforo se inició en 1984, durante este año se trajeron del CIAT los testigos utilizados por el programa análogo de dicha institución y se compararon con las variedades comerciales. Corella (3, 15, 16) encontró que variedades como BAT 76, Huasteco, Talamanca, Brunca, Puebla 152 y Huetar superaron a los testigos brasileños como

Iguaçu y Río Tibaji (Figura 14); los niveles de selección durante este primer año fueron de 32,75 y 65,5 kg de P/ha. Para el segundo año se hicieron más estrictos los niveles de selección de fósforo, los que fueron 0, 8,2, 16,4 y 32,75 kg de P/ha, en la Figura 15 se observa que cultivares como BAT 76, ICTA 883-2M y Huasteco son productores eficientes al nivel de 8,2 kg de P/ha, es importante observar que variedades como Huasteco y HT-779 aumentan el rendimiento con el aumento de fósforo aplicado como fertilizante y que BAT 76 e ICTA 883-2M decrecen en rendimiento a partir de la dosis de 16,4 kg de P/ha. En el Cuadro 12 se presenta una clasificación de las variedades de frijol y su respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados.

Respuesta del Cultivo de Frijol al Encalado

Cuando se analiza el efecto del encalado, nos damos cuenta que este es un conjunto de factores, imposible de ser separados, tales como: pH del suelo, disponibilidad de nutrimentos y de efectos tóxicos de algunos elementos.

En el caso de las leguminosas, además de estos factores, hay que estudiar el efecto del encalado sobre el frijol y las bacterias nitrificantes. Existen evidencias experimentales, que la planta de frijol soporta pH menores que la bacteria fijadora de nitrógeno (pH 6,0 a 6,5). En general se ha observado que

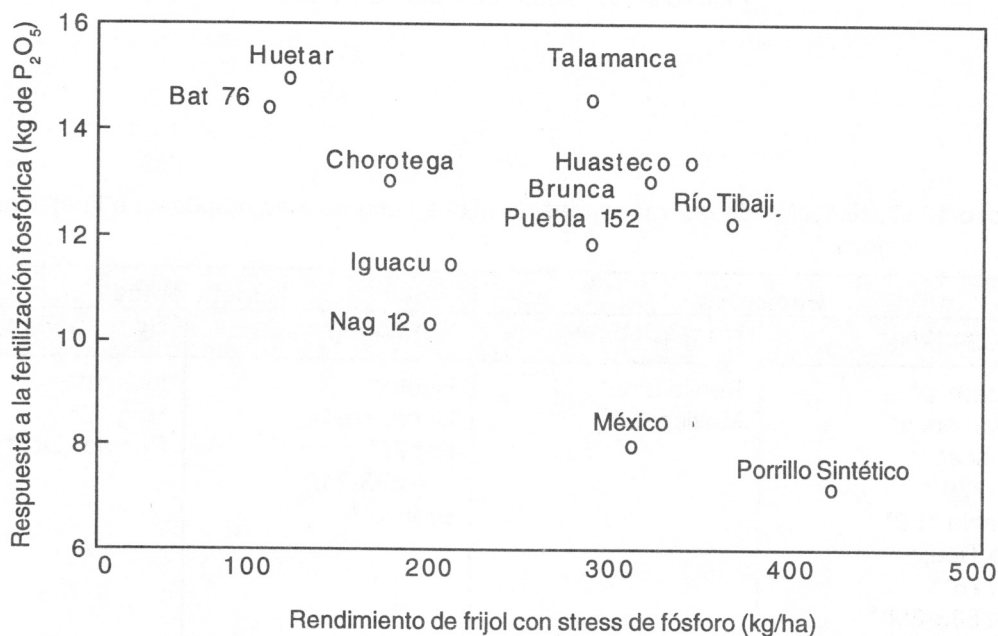


Fig. 14. Selección de variedades de frijol a suelos ácidos durante 1985, en ultisol de Pérez Zeledón.

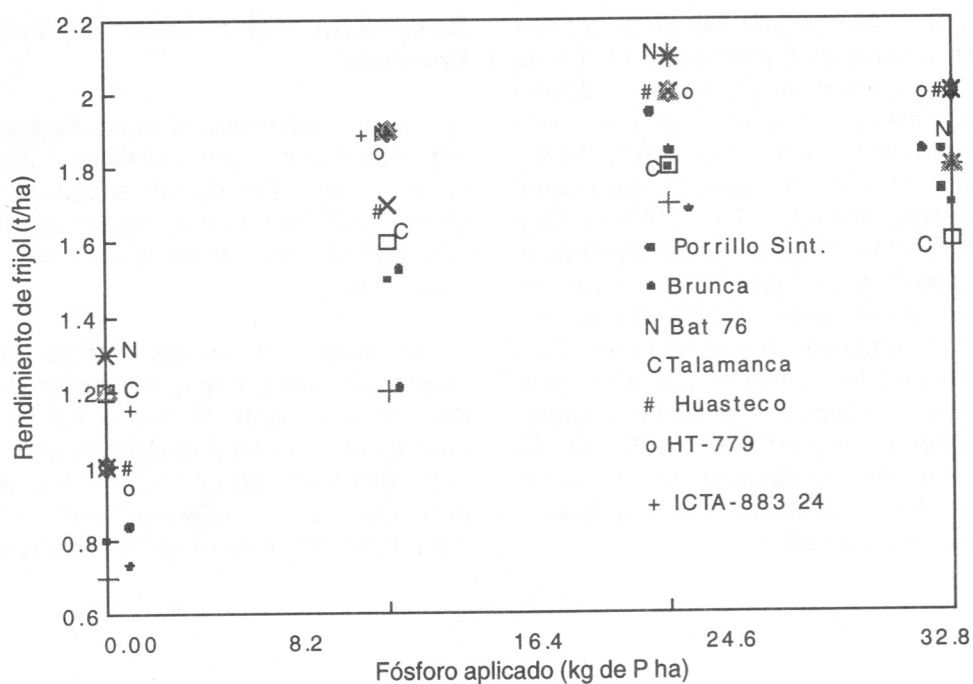


Fig. 15. Respuesta de variedades de frijol negro a dosis crecientes de fósforo en un Ultisol de Pérez Zeledón.

Cuadro 12. Clasificación de las variedades de frijol en cuanto a su respuesta a la aplicación de fósforo.

Eficientes		Ineficientes	
Responsivo	No responsivo	Responsivo	No responsivo
Huasteco*	Porillo Sint.*	Huetar*	Iguaçu*
Talamanca*	México 80*	Chorotega*	Nag 12*
Brunca*		Bat 76*	Porrillo sint.**
HT-779**		Icta 883-2m*	
Puebla 152*		Brunca**	
Río Tibaji*			
Bat 76**			
Icta 883-2M**			
Talamanca**			

* Nivel de selección de 32,75 kg P ha⁻¹

** Nivel de selección de 16,4 kgde P ha⁻¹

con raras excepciones, no se han obtenido respuestas al encalado cuando el pH de suelo es mayor de 5,5. El concepto de encalado en los suelos tropicales ha sufrido una transformación en los últimos 40 años; el concepto inicial fue el de encalar para que el suelo tuviera un pH cercano de 7,0, lo que resultaba en cantidades enormes de enmiendas calcáreas, debido al bajo pH mostrado por muchos suelos altamente meteorizados de los trópicos. Con los trabajos pioneros de Kamprath, Coleman y Thomas y Evans y Kamprath (2, 17, 20) se comenzó a variar el concepto de encalado, relacionado este con el contenido de aluminio en el suelo. Es así como la Unidad de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería comenzó un programa de encalado utilizando este concepto. Guzmán (18) estableció experimentos a largo plazo (1979 - 1981) en dos localidades, utilizando la rotación maíz-frijol (Cuadro 5). En el experimento de Santa

Rita de Río Cuarto las aplicaciones CaCO_3 fueron determinadas multiplicando el contenido inicial del Al en el suelo (2,4 cmol (+)/L) por 1, 2, 3, 4, y 5, las cuales se hicieron al inicio del ensayo únicamente. Esto con el objeto de evaluar la hipótesis elaborada por los mencionados autores y evaluar el efecto residual del carbonato de calcio. En 1980 se sembró frijol, el mejor rendimiento fue mostrado por la aplicación inicial de 7,2 t/ha con 52 kg/ha de P. El mismo experimento plantado en Pérez Zeledón mostró como mejor tratamiento la aplicación de 5,4 t de CaCO_3 /ha con 52 kg/ha de P. En el Cuadro 13, se nota el efecto de niveles crecientes de CaCO_3 en Santa Rita de Río Cuarto produjo un aumento lineal con la aplicación de cal aplicada al inicio del experimento. Es importante anotar que el mayor incremento se produjo con el nivel de 2,4 t/ha de CaCO_3 . En La Unión de Pérez Zeledón el efecto del encalado fue menor, quizás debido

Cuadro 13. Efecto de niveles crecientes de carbonato de calcio sobre el rendimiento de frijol común en dos Ultisoles de Costa Rica. (Adaptado de Guzman, P).

CaCO_3 , aplicado t ha ⁻¹	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Rendimiento Relativo (%)
Santa Rita de Río Cuarto*		
0	785	100
2,4	1160	147
4,8	1105	141
7,2	1260	160
9,6	1320	186
12,0	1450	185
La Union de Pérez Zeledón**		
0	1510	100
1,35	1585	105
2,70	1565	104
4,05	1530	101
5,40	1750	116
6,75	1610	107

* Fósforo acumulado en tres cultivos 183 kg de P ha⁻¹, % de acumulación de aluminio = 59%.

** Fósforo acumulado en tres cultivos 177 kg de P ha⁻¹, % de acumulación de aluminio = 48,5%.

al menor porcentaje de saturación de aluminio y mayor contenido de materia orgánica del suelo.

Kass *et al.* (21) obtuvieron resultados similares en experimentos realizados en Pital de San Carlos, utilizando el cultivar Talamanca. Los citados autores encontraron que el que se debe aplicar 2 t ha^{-1} de CaCO_3 cuando el % de saturación de aluminio es mayor del 20%. En el Cuadro 14, se observa que el % de saturación del aluminio tuvo mayor efecto en la reducción del rendimiento que las cantidades de cal aplicadas al suelo.

A la luz de los resultados de Guzman, Kass *et al.*, Cochrane *et al.* (1, 18, 21) y Spain *et al.* (24), se reorientó el trabajo de encalado en el país. Este nuevo enfoque consiste en determinar el % de saturación de aluminio en donde el se alcanza el 95% del rendimiento relativo del frijol y seleccionando cultivares tolerantes a las condiciones de alta saturación de aluminio. En el Cuadro 15 se muestran los resultados obtenidos por Corella (3,16), en donde se observa el efecto de diferentes niveles de saturación de aluminio sobre el rendimiento de cultivares de frijol. En este experimento que en el nivel de 5% de saturación de aluminio se obtuvieron los rendimientos más altos en todos los cultivares. En otro experimento realizado en un Ultisol de Pérez Zeledón se observó (Figura 16), que el rendimiento se ve afectado por el % de saturación de aluminio del suelo y que los cultivares

tienen una respuesta diferencial. En esta Figura sobresalen el Bat 76, Bat 1500 y el Alajuela 1, de estos experimentos se obtuvo la información para clasificar los cultivares de frijol y su capacidad de respuesta al encalado (Cuadro 16). La clasificación divide los cultivares de frijol en eficientes e ineficientes productores con cal o sin cal y su respuesta a la aplicación de cal.

Como se observa en el Cuadro 15 y Figuras 17 y 18, solo Ica Pijao, Nag 12, Alajuela 1, Río Tibají, Puebla 152, Bat 76 y Bat 1500 son eficientes con respuesta. Al analizar el conjunto el Cuadro 15 y la Figura 17, se deduce que existe una interacción genotipo*ambiente en la respuesta al encalado de los cultivares Ica Pijao y Nag 12 pudieron mejorar el nivel de 9% de saturación de aluminio en Puriscal, en cambio México 80, Puebla 152 e Iguazu mostraron mayor rendimiento en Pérez Zeledón al mismo nivel de saturación de aluminio.

Corella (16) encontró que la ecuación de regresión que mejor ajusta a los datos experimentales de saturación de aluminio versus rendimiento relativo del cultivo de frijol es la expresada en la Figura 19. las regiones que se definieron son las que siguen: a) muy bajo = $> 80\% \text{ RR}$, b) bajo = $< 80\% \text{ a } > 65\% \text{ RR}$; c) medio = $< 65\% \text{ a } > 40\% \text{ RR}$; d) alto = $< 40\% \text{ a } > 20\% \text{ RR}$; e) muy alto $< 20\% \text{ RR}$. En la misma Figura se observa el nivel crítico de saturación de aluminio, seleccionado al 75% de ren-

Cuadro 14. Efecto de niveles de carbonato de calcio en el rendimiento del cultivar Talamanca en el Ultisol de San Carlos (Adaptado de Kass *et al.*).

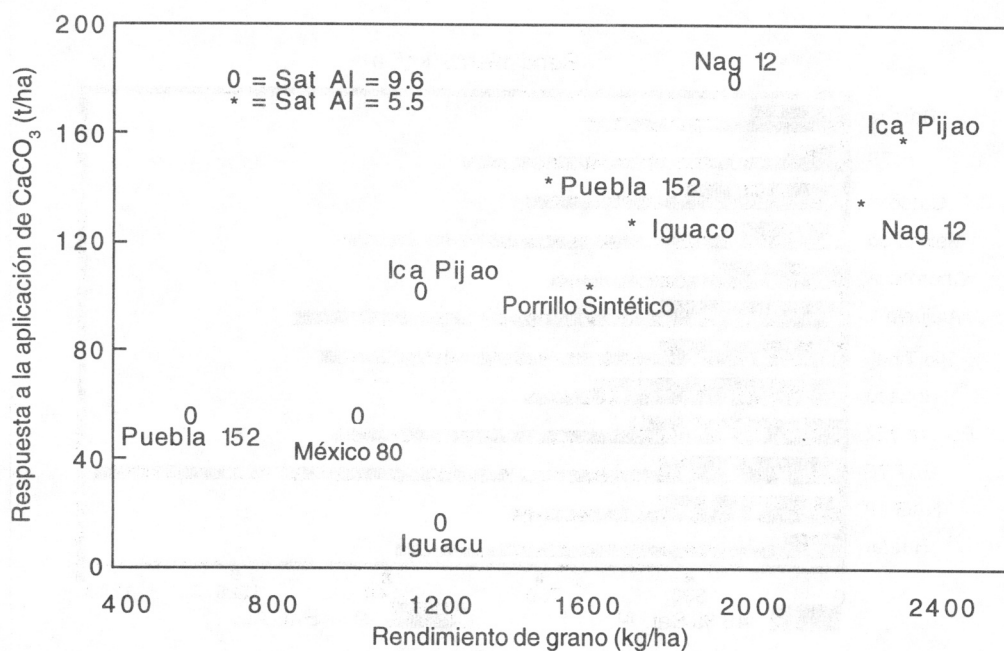
CaCO ₃ Aplicado* t ha ⁻¹	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	% de saturación de aluminio
0	385	41,3
2	682	25,3
4	591	33,6

* Dos semanas antes de la siembra.

Cuadro 15. Evaluación de cultivares de frijol a niveles decrecientes de saturación de aluminio y carbonato de calcio en un Oxic Humitropept de Puriscal.

CaCO ₃ aplicado (t ha ⁻¹)	0,0	0,5	1,0
% Saturación de aluminio	15,0	9,6	5,5
% de materia orgánica	10,3	9,5	10,5
P en el suelo (mg ml ⁻¹)	11,0	13,0	10,0
Cultivar	Producción (kg ha⁻¹)		
Ica Pijao	935a	990b	2227a
Nag 12	715b	1705a	2255a
Iguaçu	385d	935b	1705b
Puebla 152	220e	440d	1595b
México 80	550c	770d	—
Porillo sintético	780b	—	1617b
Promedio	597	968	1880

* Duncan al 5% de significancia

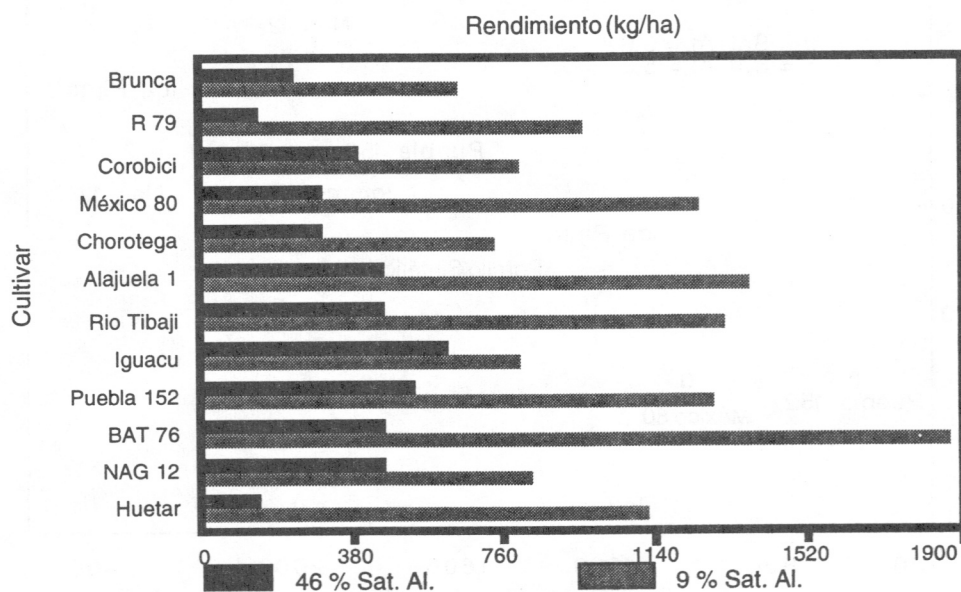
**Fig. 16.** Evaluación de materiales para su eficiencia y su respuesta al encalado.

Cuadro 16. Clasificación de las variedades de frijol en cuanto a su respuesta a la aplicación de carbonato de calcio.

Eficientes		Ineficientes	
Responsivo	No responsivo	Responsivo	No responsivo
Nag 12*	Ica Pijao**	IguaÁu*	Brunca
Ica Pijao*	Iguaçu**	Puebla 152*	Corobicí
Bat 1500	Porrillo Sint.	R 79	Chorotega
Bat 76	Nag 12**	México 80**	México 80*
Puebla 152**		Huetar	
Río Tibají			
Alajuela 1			

* Puriscal

** Pérez Zeledón

**Fig. 17.** Comportamiento de cultivares de frijol evaluados a dos niveles de saturación de aluminio.

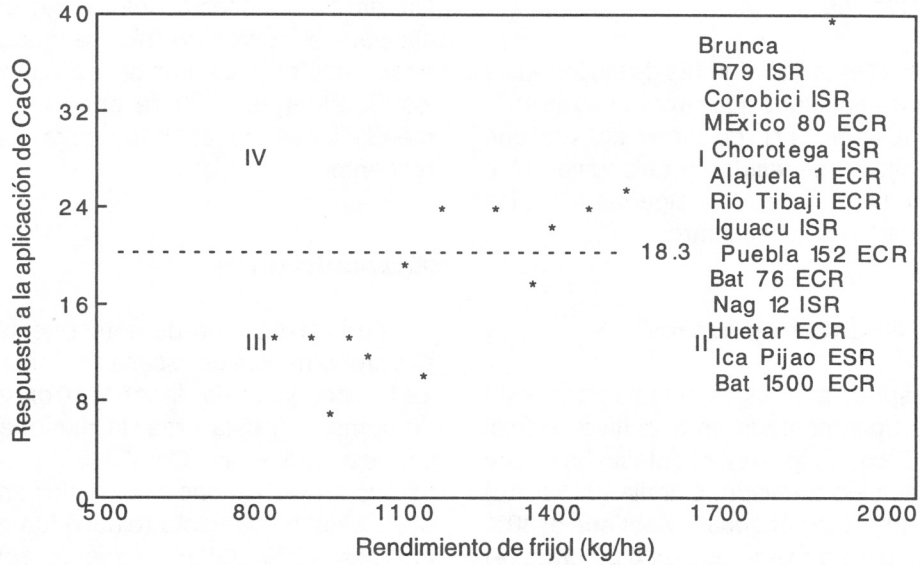


Fig. 18. Evaluación de materiales para su eficiencia y su respuesta al encalado.

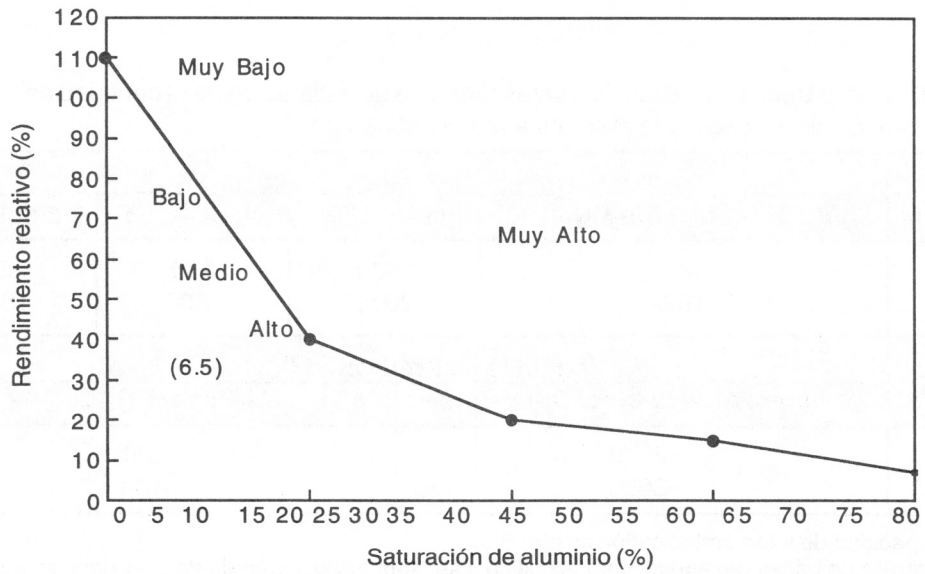


Fig. 19. Efecto de niveles de saturación de aluminio sobre el rendimiento relativo de frijol.

dimiento relativo; utilizando la metodología de Cate y Nelson.

Corella (16) utilizó algunas de las formulas para predecir encalado que se encuentran en la literatura (Cuadro 17), de todas ellas la que mejor predijo las necesidades de encalado fue la de cmol (+) L^{-1} de Al^{*1} , algunas formulas sobreestimaron o subestimaron.

Potasio, Magnesio y Azufre

La respuesta a estos nutrimentos está muy poco documentada en el cultivo de frijol en Costa Rica, de los tres el potasio es el que mas ha recibido atención. Corella (3, 11, 16) encontró que el nivel al cual se obtiene el 80% del rendimiento máximo es con $0,22 \text{ cmol (+) L}^{-1}$, y para obtener el 95% del rendimiento máximo es necesario contar con cerca de $0,30 \text{ cmol (+) L}^{-1}$ (Figura 20). En el caso del magnesio y el azufre solo se ha podido discernir puntos de respuesta y no respuesta, pero no existe la cantidad de información necesaria

para generar ninguna curva de ajuste. En el Cuadro 18 se observan los valores de referencia para el cultivo de frijol de potasio, magnesio, azufre y saturación de aluminio y en los Cuadros 19 y 20 se observan las recomendaciones de abonado para los citados nutrientes.

Micronutrientes

La investigación de la respuesta del frijol a micronutrientes es escasa, la Unidad de Suelos ha conducido alrededor de 10 experimentos de campo en esta area, la mayoría de ellos con respecto al zinc. Corella (3, 11, 16) encontró que el nivel de zinc en el suelo para obtener el 95% del rendimiento relativo fue de $1,8 \text{ mg ml}^{-1}$, el 60% del rendimiento relativo se obtuvo con valores de $1,0 \text{ mg ml}^{-1}$ (Figura 21). Con respecto a Boro solo se han efectuado tres experimentos que han presentado resultados de respuesta y no respuesta. En el Cuadros 20 y 21 se presentan los valores de referencia en azufre, boro y encalado.

Cuadro 17. Comparación entre las diferentes fórmulas de estimación de la cantidad de carbonato de calcio a aplicar y la respuesta real en el campo.

CaCO ₃ aplicado	Fórmulas de Predicción (kg ha ⁻¹)			
	$1,8 \cdot (\text{Al} - \text{RAS}(\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg})) / 100$	cmol Al^{*2}	$\text{cmol Al}^{*1,5}$	cmol Al^{*1}
500	43	1300	970	650
1000	197	2000	1500	1000
CaCO ₃ aplicado	Fórmulas de Predicción (kg ha ⁻¹)			
	$\text{cmol Al}^{*2} + (2 - \text{cmol Ca} + \text{Mg})$	$[\text{CICE}(\text{V2} - \text{V1}) / 100] \cdot \text{fx}$		
500	-2570	420		
1000	-3600	1011		

CICE = Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

V2 = Saturación de bases deseadas para el cultivo a ser sembrado, obtenido de experiencias anteriores.

V1 = Saturación de bases obtenida de dividir $(\text{Ca} + \text{Mg}) / \text{CICE}$.

1 = Factor de corrección para PRNT = 100%.

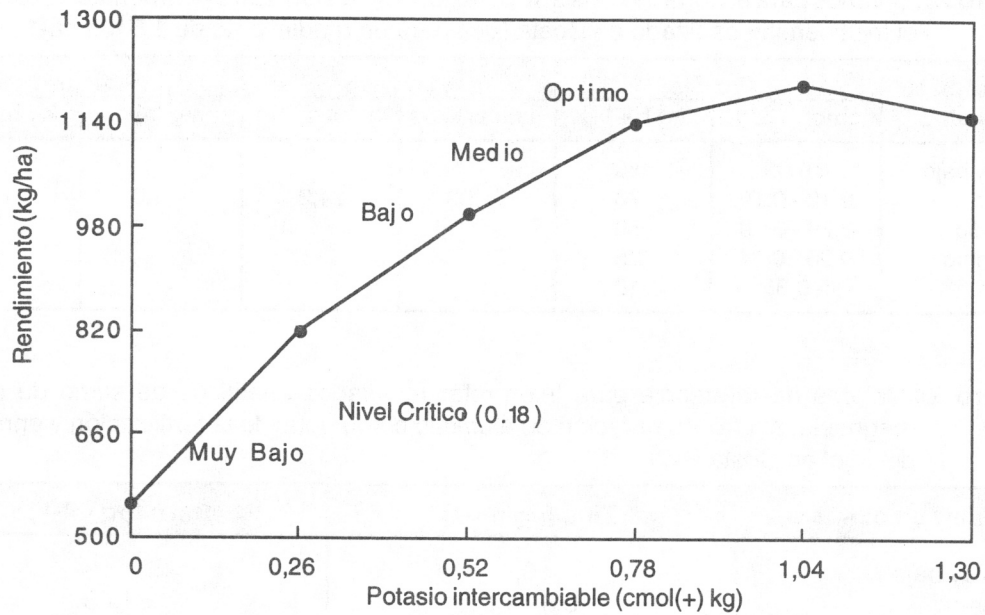


Fig. 20. Nivel crítico de potasio en el cultivo de frijol extraído con KCL 1 N.

Cuadro 18. Valores de referencia para interpretar resultados analíticos de suelo de potasio, magnesio, azufre y saturación de aluminio como guía de la fertilización y enmiendas del frijol en Costa Rica.

Valor en el suelo	Potasio cmol (+) L-1	Magnesio cmol (+) L-1	Azufre mg ml-1	% de saturación de Aluminio mg ml-1
Muy bajo	< 0,09			< 2,5
Bajo	0,10 - 0,19		2,6 - 5,1	
Medio	0,20 - 0,29	< 4,0	5,2 - 8,0	
Optimo	0,30 - 0,34			
Alto	> 0,35		8,1 - 15,0	
Muy alto		>15,1		

Muy bajo = < 40% del rendimiento máximo
 Bajo = 40 - 80% del rendimiento máximo
 Medio = 80 - 90% del rendimiento máximo
 Optimo = 90 - 100% del rendimiento máximo
 Alto = 100 - 90%
 Muy alto = 90 - 75%

Cuadro 19. Criterios para escoger las dosis de potasio, magnesio, azufre y carbonato de calcio para el frijol semimecanizado en Costa Rica para un rendimiento de 1,5 ton ha-1

Nivel en el suelo	Potasio		Magnesio		Azufre	
	cmol (+)L-1	kg ha-1 K	cmol (+)L-1	kg ha-1 Mg	mg ml-1	kg ha-1 S
Muy bajo	< 0,09	80	< 1,3	24,2	< 4.0	14
Bajo	0,10 - 0,19	70				
Medio	0,20 - 0,29	50				
Optimo	0,30 - 0,34	25				
Alto	> 0,35	10				

Cuadro 20. Valores de referencia para interpretar resultados analíticos de suelo de potasio, magnesio, azufre y saturación de aluminio como guía de la fertilización y enmiendas del frijol en Costa Rica.

Valor en el suelo	Zinc (µg ml-1)	Boro (µg ml-1)
Muy bajo	< 0,4	< 1,03
Bajo	0,5 - 1,0	
Medio	1,1 - 1,8	
Optimo	1,9 - 3,1	
Alto	> 3,2	

Muy bajo = < 40% del rendimiento m-ximo
 Bajo = 40 - 80% del rendimiento m-ximo
 Medio = 80 - 90% del rendimiento m-ximo
 Optimo = 90 - 100% del rendimiento m-ximo
 Alto = 100 - 90%

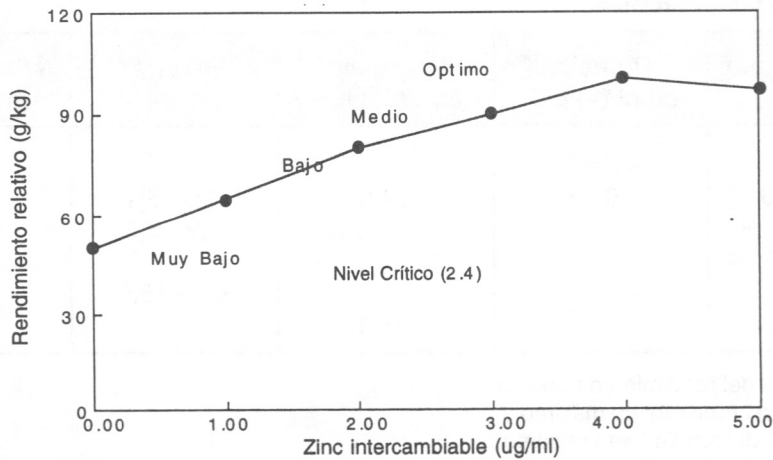


Fig. 21. Nivel crítico de Zinc en el cultivo de frijol extraído con EDTA.

Cuadro 19. Criterios para escoger las dosis de Zinc, Boro, y carbonato de calcio para el frijol semimecanizado en Costa Rica para un rendimiento de 1,4 t ha⁻¹

Nivel en el suelo	Zinc		Boro		SATAL	
	mg ml ⁻¹	kg ha ⁻¹ Zn	mg ml ⁻¹	kg ha ⁻¹ B	(%)	kg ha ⁻¹ CaCO ₃
Muy bajo	< 0,4	8			< 2,5	0
Bajo	0,5 - 1,0	6	< 1,3	1	2,6 - 5,1	0
Medio	1,1 - 1,8	4			5,2 - 8,0	500
Optimo	1,9 - 3,1	2				
Alto	> 3,2	—			8,1 - 15	1000
Muy Alto					> 15,1	2000

LITERATURA CITADA

- COCHRAN, T.T.; SALINAS, J.G.; SANCHES, P.A. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate Al tolerance. *Trop. Agric.* 57: 133-140.
- COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W. 1967. The basic chemistry of soil acidity. *En R.W. Pearson y F. Adams (ed). Soil acidity and liming. Agronomy* 12: 1-41.
- CORELLA, J.F. 1981, 1982, 1983, 1984 Y 1985. Informe anual de labores. Unidad de Suelos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.
- CORELLA, J.F. 1982. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) a la fertilización nitrogenada y fosforica en un typic Eutropept de Costa Rica. *En Memorias de la XXVIII reunion anual de PCCMCA, San José, Costa Rica, 200p.*
- CORELLA, J.F. 1982. Efecto de diferentes dosis de fertilizantes (al suelo y foliar), sobre el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un typic Eutropept de Costa Rica. *In: Memorias de la XXVIII reunion anual de PCCMCA, San José, Costa Rica, 200p.*
- CORELLA, J.F. 1982. Efecto de diferentes dosis de 10-30-10 al suelo y fuente de abono foliar, en el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *En Memorias del V Congreso Agronómico Nacional, San José, Costa Rica, 176p.*
- CORELLA, J.F. 1983. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno y fósforo en cinco ensayos de frijol, (en diversas localidades en el cantón de Upala, Alajuela). *En Memorias del 29 Reunion Anual del PCCMCA, Ciudad Panamá, Panamá, 170p.*
- CORELLA, J.F. 1983. Efecto de dosis crecientes de nitrógeno sobre dos distancias de siembra y dos variedades de frijol común. *En Memorias del 29 Reunion Anual del PCCMCA, Ciudad Panamá, Panamá, 170p.*
- CORELLA, J.F. 1983. Aspectos de fertilización del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Costa Rica. *En Memorias Segundo Curso Intensivo de Capacitación de frijol. MAG-UCR-CIAT-FAO. Coronado, San José, IICA, 22p.*
- CORELLA, J.F. 1983. El cultivo de frijol en Costa Rica, clasificación y manejo de suelo. *En Memorias del VI Foro Internacional sobre Taxonomía de Suelos. CATIE, Costa Rica, 24p.*
- CORELLA, J.F. 1986. Respuesta de los granos básicos al azufre y micronutrientes en algunos suelos de Costa Rica. *En Memorias del VII Congreso Agronómico Nacional, San José, Costa Rica.*
- CORELLA, J.F. 1986. Extracción de nutrimentos en algunos granos básicos en dos épocas de crecimiento del cultivo. *En Memorias del VII Congreso Agronómico Nacional, San José, Costa Rica.*

13. CORELLA, J.F. 1986. Fertilización nitrofosforica en el rendimiento de frijol común en dos ambientes de Guanacaste. *En Memorias del VII Congreso Agronómico Nacional*, San José, Costa Rica.
 14. CORELLA, J.F. 1986. Respuesta del frijol comun a la fertilización nitrofosforica en el canton de Upala, Alajuela. *En Memorias del VII Congreso Agronómico Nacional*, San José, Costa Rica.
 15. CORELLA, J.F. 1986. Selección de cultivares de frijol en suelos con bajos contenidos de fósforo nativo. *En Memorias del VII Congreso Agronómico Nacional*, San José, Costa Rica.
 16. CORELLA, J.F. 1990. Datos sin publicar.
 17. EVANS, C.E.; KAMPRATH, E.J. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and Organic matter content. *Soil Sci. Amer. Proc.* 34: 893-896.
 18. GUZMAN, P. 1980, 1981 y 1982. Informe anual de labores. Unidad de Suelos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.
 19. HOWELER, R.H. Análisis de del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales en algunos cultivos tropicales. Programa de Yuca, CIAT, Cali, Colombia. 28p.
 20. KAMPRATH, E.J. 1967. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am Proc.* 24: 252-254.
 21. KASS, D.L., M. JIMENEZ, W. BERMUDEZ Y L.G. CEDEÑO. 1985. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Talamanca a aplicaciones de caliza y fósforo en suelos con altos niveles de aluminio y manganeso en la zona Atlántica de Costa Rica. *En Memorias de la 31ª reunion del PCCMCA*, San Pedro Sula, Honduras.
 22. RAMIREZ, G.F. 1969. Síntomas de deficiencia de minerales en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y sus relaciones nutritivas específicas. Tesis de grado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
 23. RAMIREZ, G.F. 1987. Evaluación de la eficacia de rocas fosfóricas como fuentes de fósforo para los cultivos en suelos de Costa Rica. *En Memorias de Alternativas sobre el Uso como Fertilizantes de Fosfatados Nativos en América Tropical y Subtropical*. CIAT, Colombia, 99-114p.
 24. SPAIN, J.M.; FRANCIS, C.A; HOWELER, R.H.; CALVO, F. 1974. Diferencias entre especies y variedades de cultivos y pastos tropicales en su tolerancia a la acidez del suelo. *En Manejo de suelos en la América Tropical*, CIAT, Colombia, 313-335.
 25. SCHOLZ, U. 1983. Identification and analysis of Agroproduction zones by the overlay-correlation method. The case of Costa Rica. CIAT, Agroecological Studies Unit. Cali, Colombia, 102p.
 26. SCHWEIZER, S.; COWARD, H.; VASQUEZ, A.. 1980. Metodología para suelos, plantas y aguas. Boletín técnico # 68, 1ª edición, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.
-