

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS Y LA FERTILIZACION  
DEL FRIJOL EN COLOMBIA \*

*de J.*  
Rodrigo Muñoz Araque\*\*

RESUMEN

Con base en las características de fertilidad de los suelos  $P^H$ , acidez intercambiable, materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio, potasio y los elementos menores Fe, Mn, Zn, Cu y B, se hizo una evaluación y descripción de la fertilidad de los suelos de clima medio (1000-2000 m.s.n.m.) y frío (2000-2800 m.s.n.m.). Además se revisaron todos los experimentos realizados sobre la fertilización, el abonamiento orgánico y el enclamiento en la producción de frijol de variedades mejoradas arbustivas y volubles.

El análisis de la información permitió concluir que los suelos del clima medio y frío se caracterizan por la alta frecuencia de valores bajos en fósforo, magnesio y boro; medios en  $P^H$ , potasio, Mn, Zn y Cu, y altos en Fe. El contenido de materia orgánica es muy variable pero en clima medio predominan los contenidos medios y en clima frío los contenidos altos.

---

\* Contribución del Programa de Leguminosas de Grano de la Subgerencia de Investigación del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.  
\*\* Ingeniero Agrónomo M.S. Especialista en Suelos. A.A. 51764, Medellín

Los experimentos sobre la fertilización en las diferentes zonas ecológicas del país, permiten indicar que en suelos deficientes, para obtener una cosecha abundante de frijol (1.0 - 2.0 ton/ha) se requieren entre: 30 y 60 k/ha de N, 90 y 150 kg de  $P_2O_5$ /ha, 30 y 60 kg/ha de  $K_2O$ , 250 y 500 kg/ha de cal dolomítica y/o 500 y 1000 kg/ha de gallinaza.

#### CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS SUELOS

Los suelos denominados de clima medio tienen baja a mediana fertilidad y están moderada a severamente erosionados, con un horizonte "A" delgado (9). En estas tierras predominan las texturas medias y pesadas; con estructuras granulares, migajón y bloques; densidades aparentes entre 1.0 y 1.2  $gr/cm^3$ , con una alta porosidad total (40-60%) y mediana a alta capacidad de retención de agua disponible para los cultivos. En estas tierras predominan la topografía ondulada, quebrada y escarpada, con pocas áreas planas; el drenaje externo es rápido y el interno entre bien e imperfectamente drenado, con un drenaje natural medio, bueno o pobre. El drenaje externo rápido, predispone los suelos a una erosión pluvial severa cuando están descubiertos de vegetación, con una escorrentía posterior caracterizada por grandes volúmenes de agua, con alta energía de arrastre y abundantes sedimentos en suspensión, dando como resultado una erosión severa. Este fenómeno se ha agravado por la tala excesiva de los bosques y el uso desmedido del azadón para preparar los suelos en las siembras y para mantener posteriormente limpios los cultivos (8,9).

TABLA 1 Frecuencia relativa de las características de fertilidad de los suelos de clima medio, agrupados por categorías (8).

Característica	No. de Muestras	Frecuencia Relativa, %		
		Bajo (B)	Medio (M)	Alto (A)
pH	38.554	29	60	11
Al	23.498	38	14	28
M.O.	39.013	27	35	38
P	38.968	64	17	19
K	24.539	33	30	37

La textura predominante de los suelos mencionados es franca, franco-arcillosa, franco-arcillosa-arenosa y arcillosa. En la fracción arcillosa de éstos suelos predominan los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, arcilla 1:1 caolinita y haloisita; además en los andisoles abundan materiales amorfos alofánicos, fracciones minerales capaces de fijar grandes cantidades de fosfatos, siendo ésta una de las causas principales para que se presente una deficiencia, casi generalizada de fósforo aprovechable en los suelos de clima "medio" colombiano (8,9).

En relación al estado químico de los suelos mencionados, éstos presentan algunos limitantes para el crecimiento normal de los cultivos ya que en general su reacción o  $P^H$  tiende a ser fuertemente ácido ( $P^H$  4.2 - 5.5), con contenidos y saturaciones entre bajas y medias ( $< 30\%$ ) de Al-intercambiable; con una alta frecuencia en valores bajos y medios de K-asimilable (0.10 - 0.30 meq/100g), Mg (0.2 - 1.0 meq/100g) y materia orgánica ( $< 5.0\%$ ); con contenidos muy variables de Ca-asimilable (0.5 - 20.0 meq/100g). El contenido de P-aprovechable presenta predominio hacia los valores bajos (2-15 ppm) (Tabla 1,2,3); además poseen una mediana a alta capacidad de fijación de fosfatos. Los elementos menores han sido poco estudiados. En ésta región climática, en el departamento de Antioquia, una evaluación sobre el contenido de Fe, Mn, Zn, B y Cu mostró (Tabla 4) altas frecuencias de contenidos bajos y medios para los nutrientes B (99%), Cu (83%) y Zn (54%). Los suelos deficientes en Fe y mn son escasos (5,8,9).

TABLA 2. Frecuencia relativa de los valores de los análisis de suelos por categorías de fertilidad, en varios cultivos de clima medio (8).

Cultivos	Número de muestras de suelos	pH		Al		M.O.		P		K	
		B	M A	B	M A	B	M A	B	M A	B	M A
Cacao	714	39-60-1		77-14-9		32-42-26		71-14-15		55-28-17	
Café	2.898	46-54-0		78-14-8		11-29-60		63-23-11		38-34-28	
Caña	5.810	18-64-18		84- 9-7		34-40-26		60-22- 9		53-26-23	
Fríjol	1.405	37-55-8		70-16-14		23-36-41		53-20-27		23-32-45	
Hortalizas	1.929	30-63-7		75-13-12		24-32-44		61-19-20		38-27-35	
Maíz	4.082	31-58-11		68-18-14		29-38-33		59-19-22		26-32-12	
Pastos	3.628	47-50-3		62-24-14		17-24-59		70-16-14		36-31-33	
Piña	261	51-48-1		59-23-18		26-35-39		74-16-10		69-17-19	
Plátano	1.173	42-56-2		79-16-11		23-34-43		76-12-12		63-26-13	
Tabaco	167	11-58-31		92- 4-4		50-36-14		34-20-46		39-43-36	
Tomate	1.932	19-72-0		76-12-12		34-36-30		62-19-19		40-27-33	
Yuca	52	59-40-1		57-27-16		19-30-31		74-13-13		42-33-25	

Tabla 3. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS VALORES DE K, Mg Y RELACION Ca/Mg EN LOS CUATRO PISOS TERMICOS CALIDO, TEMPLADO, FRIO Y PARAMO EN COLOMBIA (10).

CLIMAS	ALTITUD mts	K - meq / 100 g			Mg - meq / 100 g			Relación Ca/Mg		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
CALIDO	< 1000	62	28	10	45	26	29	10	29	61
TEMPLADO	1000-2000	54	16	30	47	23	30	7	53	40
FRIO	2000-3600	39	21	40	61	30	9	5	27	68
PARAMO	> 3600	5	56	38				-	20	80

TABLA 4 - Estado de la fertilidad de los suelos de clima medio en Antioquia (5).

Elemento	<u>Límites Tentativos Críticos</u>			% de las muestras analizadas, con base en una población de 200		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
	ppm					
Fe	< 25	25-75	> 75	8	16	76
Mn	< 10	10-30	> 30	4	23	73
Zn	< 1.0	1.0-3.0	> 3.0	16	38	46
Cu	< 1.0	1.0-3.0	> 3.0	19	64	17
B	< 0.3	0.3-0.6	> 0.6	24	75	1

Rangos (ppm)

	<u>Más Bajo</u>	<u>Más Alto</u>
Fe	9	916
Mn	0.8	66.4
Zn	0.6	36.9
Cu	0.9	14.6
B	0.04	4.7

Durante el terciario y el cuaternario se presentó en Colombia una fuerte actividad volcánica que dejó materiales piroclásticos como lavas, aglomerados dacítico-andesíticos, ceniza volcánica, etc. que cubrieron extensas zonas planas y áreas adyacentes en los flancos de las cordilleras (4). Estos materiales bajo la influencia de los factores y procesos formadores dieron origen a suelos Inceptisoles (orden); Andept (suborden) y Dystrandept (gran grupo) o sea suelos alofánicos húmicos, fuertemente lixiviados y con mediana meteorización de los minerales primarios. Estos suelos, Andisoles (Dystrandept), son los más comunes en la zona fría de Colombia, aunque también son frecuentes los Humitropept, Dystropept y Placandept (4).

Los Andisoles mencionados presentan un primer horizonte (A) grueso cuyo espesor depende de tipo y grado de erosión existente y su contenido de materia orgánica es alto. Este horizonte descansa sobre el subsuelo pardo amarillento o rojo, en transición hasta el material parental subyacente meteorizado; es decir los Andisoles mencionados son suelos que presentan los horizontes típicos "A" - "C" ó "A" - (B) - "C" (9).

En el horizonte "A", de los Andisoles, son comunes las texturas medias: franco, franco arenosa, franco limosa y franco arcillosa, de difícil dispersión. Su estructura es buena, generalmente granular y migajón, con una alta porosidad total bien distribuída entre poros de drenaje y los que retienen agua disponible para las plantas. Su capacidad de reten-

ción de humedad entre 0.3 y 13 bares puede variar entre 28 y 9%; además éstos suelos son profundos, con una consistencia en humedad friable que les permite buen drenaje natural y fácil laboreo; en cambio el horizonte "B", en general, tiene propiedades físicas menos favorables, ya que presenta generalmente estructura columnar, textura pesada, densidad aparente alta con menor porosidad total y en consecuencia, con menos capacidad de retención de agua disponible para la planta (9).

En el horizonte "A" de estos Andisoles, la reacción o  $P^H$  varía generalmente entre muy fuertemente ácida y moderadamente ácida ( $P^H$  4.6 - 5.5) con contenidos medios de Al-intercambiable (15-30%) (Tabla 5), medios a altos en materia orgánica y en nitrógeno total, cuyo contenido disminuye gradualmente con la profundidad. La relación C/N se encuentra entre 8 a 22/1. En éstas tierras, debido a la baja temperatura ambiental, el  $P^H$  ácido, la baja saturación de bases Ca, Mg y K, el alto contenido de alofano y los compuestos de Al que estabilizan la materia orgánica y la deficiencia de fósforo aprovechable, dan origen a procesos de humificación dominantes sobre los de mineralización de la materia orgánica y por ende, aunque su contenido de nitrógeno total es medio a alto, gran parte está como nitrógeno orgánico cuya mineralización es tan baja, generalmente menos de 6 - 10 kg/ha, que es insuficiente para nutrir adecuadamente las plantas (7,9).

Otra característica importante, en estos suelos Andisoles, es su alta capacidad de intercambio aniónico dependiente del  $P^H$  en los primeros hori-

Tabla 5. Distribución porcentual de algunos indicadores de fertilidad en suelos de clima frío, y en diferentes cultivos (\*)

REGION	pH			Materia Orgánica			P-Aprovechable (Bray-2)			K Cambiable			Ca/Mg		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
<b>P A P A</b>															
BOYACA	78	21	1				74	7	19	53	38	9	0	35	65
CUNDINAMARCA	77	23	0				66	10	24	38	31	31	3	23	74
N. de SANTANDER	73	25	1				57	8	35	45	42	12	4	29	69
SANTANDER	70	30	0				52	3	15	77	15	8	4	24	72
NARIÑO	50	50	0				59	19	22	20	37	43	10	10	80
ANTIOQUIA	70	30	0				64	11	5	65	24	10	17	34	49
CALDAS	60	40	0				71	19	10	64	35	0	13	25	62
CAUCA	75	24	0				65	12	2	53	21	26	20	43	37
<b>TRIGO - CEBADA</b>															
BOYACA	51	44	5	55	31	13	45	11	44	12	34	54	10	43	47
CUNDINAMARCA	53	42	0	21	30	49	33	28	39	30	49	21	3	33	64
N. de SANTANDER	57	42	0	27	45	6	55	15	30	21	43	23	0	32	68
SANTANDER	57	40	3	16	63	16	45	23	32	25	50	25	0	12	59
NARIÑO	40	60	0	35	41	24	42	33	25	15	17	65	11	18	71
<b>M A I Z</b>															
ANTIOQUIA	45	52	3	20	18	62	70	16	14	70	21	9	22	35	43
BOYACA	47	32	21	33	34	33	44	18	38	15	37	47	4	32	64
CAUCA	30	69	1	30	35	34	74	16	10	25	42	32	15	43	42
CUNDINAMARCA	51	43	6	17	31	52	59	14	27	24	26	50	14	41	45
NARIÑO	28	70	2	25	25	50	65	17	17	10	13	74	13	38	49
<b>HORTALIZAS</b>															
ANTIOQUIA	59	40	1				75	11	14	58	21	21	10	39	51
BOYACA	39	59	12				30	21	49	16	28	56	0	11	89
CAUCA	48	49	3				82	11	7	34	32	34	7	47	46
CUNDINAMARCA	43	55	2				42	25	33	32	20	48	4	16	80
<b>P A S T O S</b>															
ANTIOQUIA	48	51	1				77	14	9	61	25	4	14	37	49
BOYACA	51	45	4				61	15	24	19	30	31	6	0	94
CAUCA	59	41	0				87	8	5	33	35	32	16	51	33
CUNDINAMARCA	50	48	2				49	25	26	34	25	41	3	36	61

(\*) Según Instituto Colombiano Agropecuario (1950)  
B: Bajo; M: Medio; A: Alto

zontes, que se traduce en una alta capacidad de fijación de aniones tales como Fosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{HPO}_4^{2-}$ ), Boratos ( $\text{B}_2\text{O}_3^{2-}$ ), Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y Molibdatos ( $\text{M}_6\text{O}_7^{2-}$ ) (4,9).

En estos suelos el P total varia entre contenidos bajos (500 ppm), en suelos erosionados, hasta contenidos altos (7000 ppm); sin embargo los contenidos más frecuentes están alrededor de 1000-3000 ppm, considerados normales. No obstante la concentración de P-hidrosoluble inmediatamente asimilable para las plantas es baja, generalmente menos de 0.1 ppm; de igual manera sin bajas otras fracciones donde el fósforo puede estar en forma más disponible para las plantas como P-unido al Calcio no apatítico, P-unido al Al o al Fe. Cuando el P-disponible se extrae con la solución Bray y Kurtz ( $\text{NH}_4\text{F}$  0.03N y  $\text{HCL}$  0.1N) su contenido general es deficiente, con menos de 15 ppm (Tabla 5). Además es común que en estos suelos exista una estrecha relación entre el C-orgánico y el P-orgánico, siendo gran parte del P-total, P-orgánico con una tasa mínima de mineralización, con índices de menos de uno a dos (1-2) kilogramos de P/ha en una hora, deficiente para la mayoría de los cultivos. En general en éstos suelos Andisoles la capacidad de fijación es alta, ya que puede representar 80% ó más, tanto de P-orgánico que se mineraliza, como de los fósforos solubles aplicados en los fertilizantes. Esta proporción de fijación de fósforo asimilable, se atribuye a varias causas, pero las más importantes parecen ser en los suelos Andisoles, su contenido alto de materiales amorfos, tipo alofánico, ya que puede llegar a representar más del 15% de la fracción arcillosa del suelo; además su alta capacidad de inter-

cambio aniónico y diferentes formas de Al a través de mecanismos de absorción, precipitación, disociación e hidrólisis (9).

En varias regiones colombianas de clima frío, las reservas totales de potasio en los suelos son relativamente altas, 1000-8500 ppm, aunque existen diferencias acentuadas entre regiones; se destacan las reservas altas en los suelos de los Altiplanos de Pasto (8500 ppm) e Ipiiales (4600 ppm), Sábana de Túquerres (6600 ppm) y las reservas bajas de los suelos del Oriente Antioqueño (1182 ppm). Las altas reservas de K en los suelos Nariñenses y similares en la zona fría colombiana se debe a la abundancia de materiales ricos en minerales potásicos como Ortosa, Ortoclasa, Microclina y Micas, particularmente la Biotita; además estos suelos tienen una capacidad moderada a alta de reabastecimiento de K ó liberación de K-soluble, entre 28 y 49 kg/ha; desafortunadamente también exhiben una alta susceptibilidad a pérdidas de potasio por lixiviación (9).

El K-cambiable ( $\text{NH}_4\text{OAC IN, pH } 7.0$ ) no siempre constituye un índice adecuado para estimar el K-provechable para las plantas, ya que algunas pueden nutrirse también de otras fracciones como del K-no cambiable en estado "más soluble". Sin embargo se considera que menos de 0.15 y 0.30 meq de K/100g en suelos livianos y pesados son contenidos bajos en los que las plantas presentan alta probabilidad de respuesta, con incrementos elevados, a la aplicación de fertilizantes potásicos. En general los suelos con valores bajos y medios de potasio cambiable son frecuentes en los departamentos de Caldas (100%), Antioquia (90%), Norte de Santander (83%),

Santander (83%) y Cauca (70%); en cambio son frecuentes los suelos con contenidos altos de potasio en Nariño (65%), Boyacá (43%) y Cundinamarca (38%) (Tabla 5) (7,9).

La relación Ca/Mg se ha tomado como un índice de fertilidad. Numerosos estudios muestran que las plantas se nutren adecuadamente con  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , cuando la relación de estos es de 1-3 Ca/Mg, aproximadamente. Relaciones más amplias se pueden considerar como desfavorables, ya que por antagonismo se podrían inducir o acentuar las deficiencias de Mg para las plantas. En este sentido, relaciones Ca/Mg amplias son comunes en las regiones naturales Sabana de Bogotá (70%) y Zona Andina (52%) en clima medio y frío; también en las regiones de clima frío (68%) y templado (40%), en aquellas regiones donde se cultiva para (64%), trigo y cebada (68%), plátano clima medio (66%), caña panelera (60%), cacao (61%) y en menor grado en cultivos como frijol (47%), maíz (45%), café (44%) y yuca (49%), etc. (Tabla 6,7) (4,5,6,7,9).

La acumulación de las reservas totales y asimilables de calcio es alta en los suelos de clima frío del departamento de Nariño, Cundinamarca y Boyacá; en otras regiones el calcio varía dentro de interacción muy amplios, 0.2 - 20 ó más meq/100g de suelo. En general se considera que, contenidos de Ca-intercambiable de 3 -6 meq/100g o saturaciones de Ca superiores al 30 por ciento son suficientes para abastecer de calcio inmediatamente disponible a las plantas. En este sentido, un porcentaje considerable,

TABLA 6. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS VALORES DE K, Mg y Ca/Mg PARA LAS REGIONES NATURALES DE COLOMBIA (10).

REGION NATURAL	K - mg / 100 g			Mg - mg / 100 g			Relación Ca/Mg		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
ANDINA	44	28	28	59	16	25	8	40	52
SABANA DE BOGOTA	29	25	46	65	20	16	8	22	70
VALLE ALTO MAGDALENA	36	30	34	44	39	17	2	54	44
VALLE DEL MAGDALENA MEDIO	47	32	21	30	28	42	6	79	15
VALLE BAJO MAGDALENA	62	19	19	-	-	-	7	48	45
VALLE DEL RIO CAUCA	40	27	33	10	36	53	12	64	24
COSTA PACIFICA	79	7	14	-	-	-	18	61	21
COSTA ATLANTICA	44	24	32	24	65	11	3	26	71
GUAJIRA	39	33	28	-	-	-	6	14	86
LA ORINOQUIA	70	22	8	90	6	3	17	25	58
AMAZONIA	62	25	13	-	-	-	15	23	58
SAN ANDRES Y PROVIDENCIA	16	16	68	4	21	75	48	42	12
NUMERO DE MUESTRAS	APROXIMADAMENTE			APROXIMADAMENTE			APROXIMADAMENTE		
CONSIDERADAS	100.000			19.000			100.000		

Tabla 7 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS VALORES DE K, Mg Y DE LA RELACION Ca/Mg EN DIFERENTES CULTIVOS EN COLOMBIA (10).

CULTIVO	Nº de muestras analizadas para Mg	K meq / 100 gr*			Mg - meq/100 g			Ca/Mg		
		bajo	medio	alto	bajo	medio	alto	bajo	medio	alto
Algodón	11.300	37	38	25	35	45	20	4	37	59
Arroz	2.400	69	19	12	35	43	22	16	51	29
Soya	3.400	35	35	30	33	26	41	6	51	43
Sorgo	1.500	33	34	33	36	34	30	7	44	49
Papa	700	52	31	17	73	14	13	9	27	64
Trigo y cebada	190	24	38	38	70	18	12	5	27	68
Hortalizas	220	34	28	38	61	22	13	5	26	64
Fríjol	200	26	31	43	53	20	77	12	41	47
Maíz	250	32	29	39	39	21	40	8	47	45
Café	250	50	38	12	42	46	12	15	51	44
Plátano	200	68	9	23	55	23	22	5	29	66
Yuca	500	56	20	24	34	26	40	13	38	49
Caña panelera	1.320	55	20	25	42	18	40	8	32	60
Pastos (Antioquia)	350	65	25	10	73	10	17	-	-	-
Cacao	350	72	14	14	25	30	45	9	30	61
Palma africana	350	93	3	1	78	15	7	14	40	43

20-40% de las demás tierras en Colombia ubicadas en clima frío, son deficientes en calcio asimilable (4,7,9,10).

Los suelos de la Sabana de Bogotá y de la zona fría de Cundinamarca, con predominio de arcillas amorfas alofánicas, presentan en promedio concentraciones más altas de Mg-total (52.2 Meq/100g) que los demás suelos (Tropé) (27.0 meq/100g). En otros suelos, de clima frío, no se ha realizado este tipo de investigación; sin embargo el índice de disponibilidad del elemento, basado en las fracciones de Mg-intercambiable y en la relación Ca/Mg, ha permitido establecer que cuando los suelos son ácidos ( $\text{pH} < 5.5$ .) y existe predominio de arcillas amorfas alofánicas y contenidos altos de C-orgánico, más del 10%; si en dichos suelos la saturación de Mg es menos de 6% o menos de 0.5 - 0.8 meq/100g de Mg-asimilable, generalmente hay respuesta a la aplicación del elemento (4,7,10).

El Mg es un nutrimento menos estudiado que el K en los suelos colombianos. Sin embargo, la información existente permite hacer varias precisiones tanto por clima como por regiones naturales y cultivos. En varias regiones naturales el contenido bajo de Mg, menos de 1.0 meq/100g, es común en la zona Andina (Cordilleras y Valles Inter montañosos) (59%), Sabana de Bogotá (65%) y Orinoquía (90%). En el clima frío los suelos bajos en Mg-asimilable compuesto con un alto porcentaje (91%), seguido del clima templado o medio (47%) y cálido (45%). Cuando se hace un análisis del contenido de Mg-intercambiable, en aquellas tierras dedicadas a los diferentes cultivos (Tabla 7) se aprecia que el mayor porcentaje de suelos de-

ficientes corresponde a los sembrados con palma africana (78%), pastos (73%), trigo y cebada (70%), hortalizas (61%) y plátano o frijol (53%), la carencia de Mg no es tan frecuente en las tierras cultivadas con algodón, café, coya, sorgo, maíz, yuca y cacao, con frecuencia para contenidos altos de Mg más de 50% (4,7,10).

Los elementos menores y su fracción disponible han sido poco estudiados en general, en Colombia las pocas investigaciones realizadas permiten inferir que los suelos de clima frío presentan contenidos de elementos menores potencialmente deficientes para los cultivos en una secuencia:

Mo > B > Cu > Zn > Mn Fe. En el caso del Cu, su deficiencia potencial parece estar asociada a altos niveles de minerales arcillosos alafónicos y a altos contenidos de C-orgánico, más de 8%. En relación con el Cu, B y Zn, su deficiencia potencial también parece estar asociada a factores de manejo tales como el uso de dosis altas de enmiendas agrícolas y de fertilizantes fosfóricos aplicados en casi todos los cultivos (4,7,9).

En una evaluación de la fracción disponible de los elementos menores, en la capa arable de los suelos de clima frío en Antioquia, se encontraron (Tabla 8) frecuencias altas para contenidos bajos y medios de B (82%), Zn (78.6%), Cu (78%) y Mn (55%). Estos porcentajes permiten establecer una secuencia de respuesta potencial de los cultivos a la aplicación de estos nutrimentos en el siguiente orden: B > Zn = Cu > Mn (5).

TABLA 8 - Contenido de los elementos menores en suelos de clima frío moderado (2000-25000 m.s.n.m.) en Antioquia (10).

Elemento	Niveles Críticos	Mínimo - Máximo - Promedio	% en base a 100 muestras
Fe	< 25 Bajo	26 426 81.5	0
	Medio		11
	> 75 Alto		89
Mn	< 10 Bajo	0.04 43.0 13.5	35
	Medio		20
	> 30 Alto		45
Zn	< 1.0 Bajo	0.03 6.2 2.1	24
	Medio		54
	> 3.0 Alto		22
Cu	< 1.0 Bajo	0.08 15.4 2.5	31
	Medio		47
	> 3.0		22
B	< 0.3 Bajo	0.01 0.76 0.34	22
	Medio		60
	> 0.6 Alto		18

ABSORCION Y DISTRIBUCION DE NUTRIMENTOS DURANTE EL  
CICLO DE CRECIMIENTO DEL FRIJOL

En la planta del fríjol la producción de materia seca es lenta durante los primeros 15 y 56 días subsiguientes. Después se reduce la materia seca total, ya que el aumento del peso de la vaina no compensa la pérdida de materia seca por la caída de las hojas en su proceso de defoliación natural (Figura 1) (1,2,3).

La plántula de fríjol al agotar las reservas en la semilla, empieza la absorción de los nutrimentos del suelo. En este cultivo con un período vegetativo y reproductivo tan corto, 4-7 meses, la absorción se incrementa notablemente desde los 10-20 días de su germinación hasta los 45-55 días, declinando substancialmente después hasta llegar a su maduración (Figura 2,3,4,) (1,2,3).

El N, K y Ca, tienen una tasa máxima de absorción alrededor de los 56 días; el S a los 50 a 60 días y el Mg a los 50 a 60 después de la germinación. La tasa de absorción de P es más o menos constante durante el ciclo vegetativo. Después de estos topes máximos de absorción, la cantidad de todos los elementos, en las hojas, tiende a disminuir, pero empieza a incrementarse en las vainas, debido a la redistribución de carbohidratos y nutrimentos en la planta. Este comportamiento es especialmente válido para los nutrientes más móviles N, K, Mg y P. El Ca no se traslada hasta las vainas, pero al descomponerse las hojas caídas regresa al suelo (1,2,3).

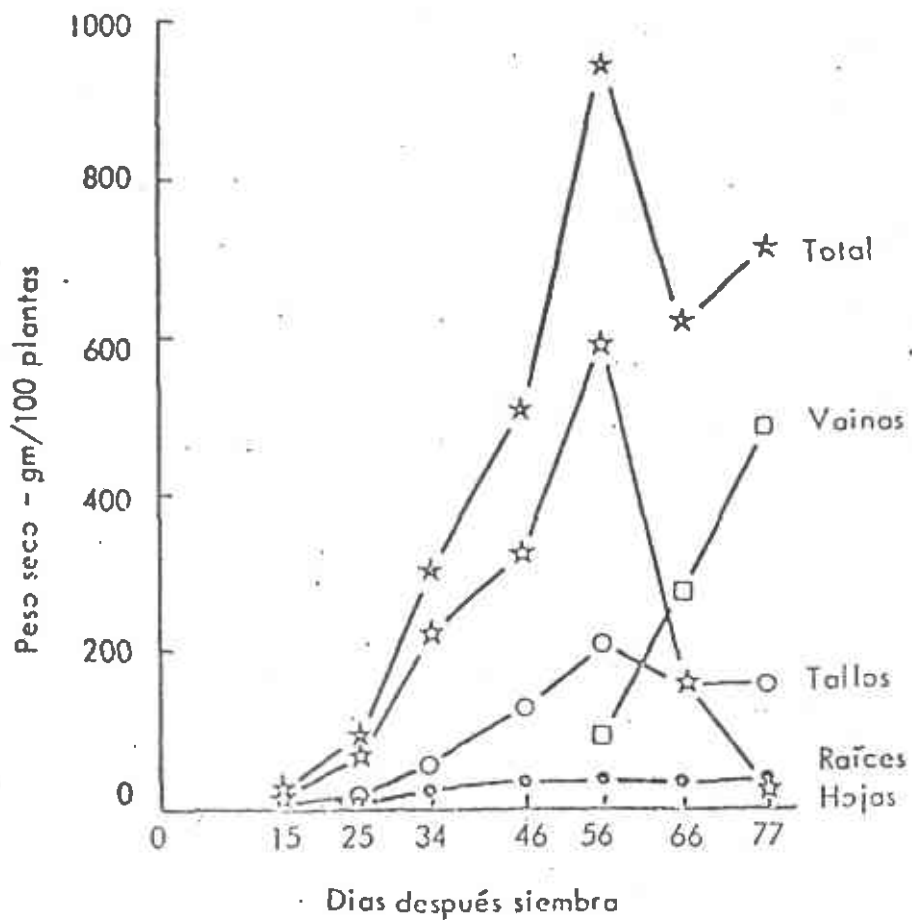
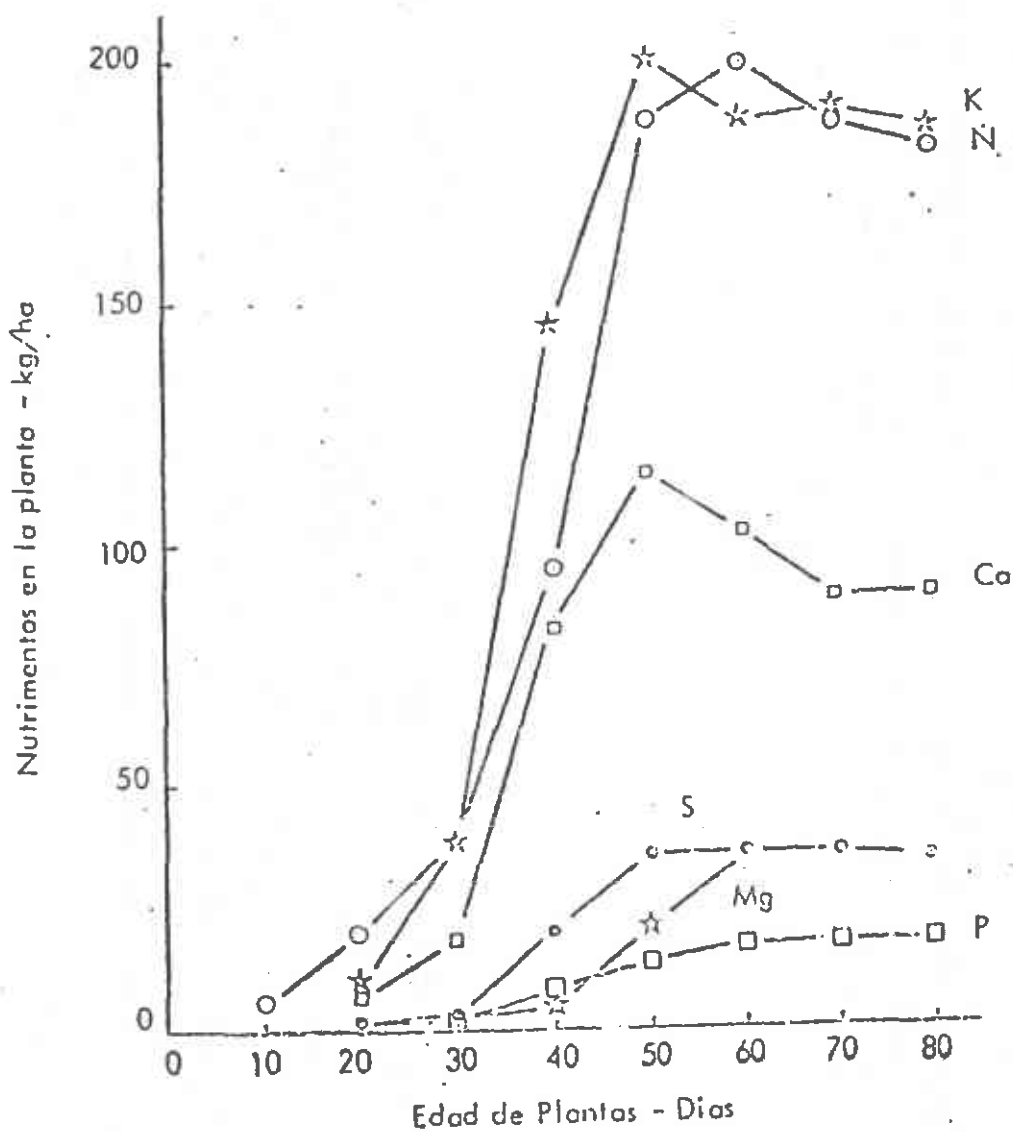


FIGURA 1. El peso seco de varias partes de la planta de fríjol y el peso total durante el ciclo de crecimiento (adaptado de Cobra, 1).



Floración Formación vainas Grano Madur.

Figura 2.- La cantidad de nutrimentos en la planta de frijol durante el ciclo de crecimiento (adaptado de Mag, 2).

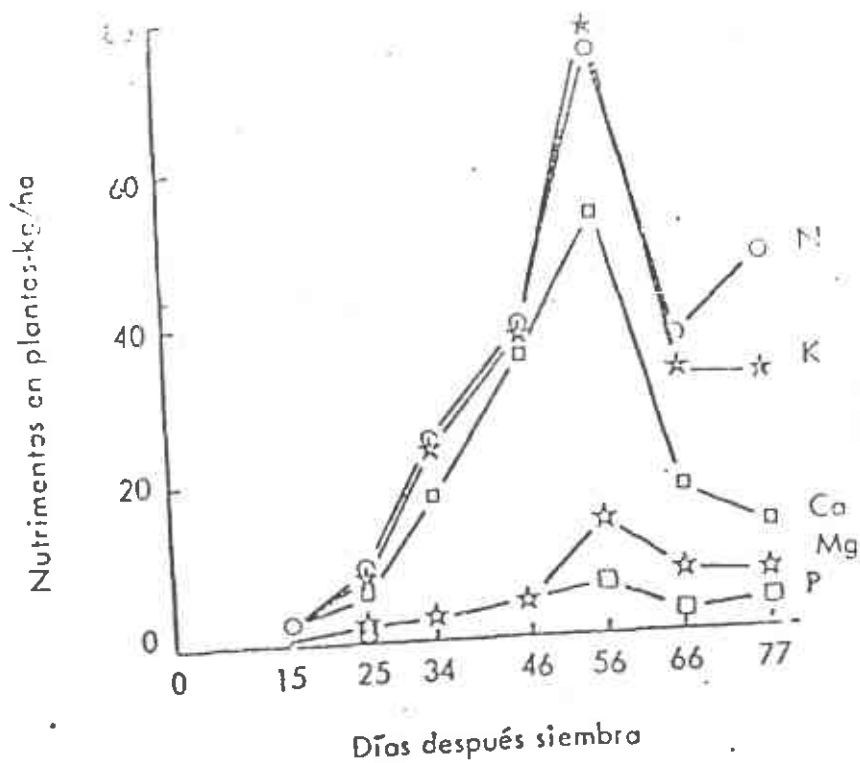


FIGURA 3. La cantidad de cinco elementos nutritivos en la planta total del frijol durante el ciclo de crecimiento (adaptado de cobra, 1).

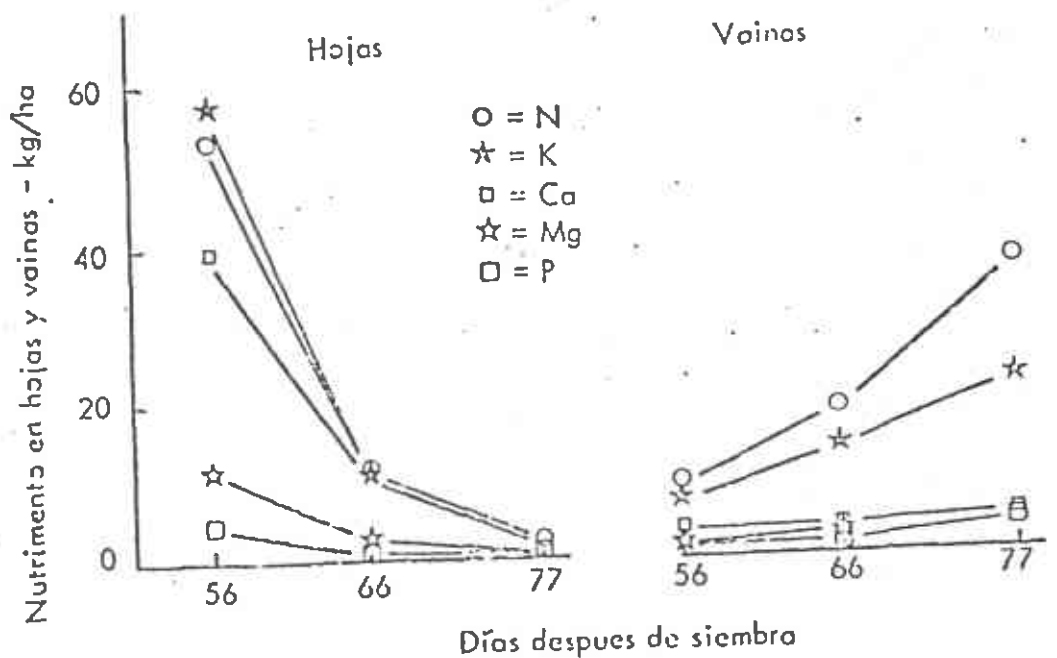


FIGURA 4. La cantidad de cinco elementos nutritivos en hojas y vainas de frijol durante la producción de vainas y granos (adaptado de cobra, 2).

## EXTRACCION DE NUTRIMENTOS

El fríjol es una planta de ciclo vegetativo corto la cual extrae del suelo cantidades relativamente altas de N y K, medianas de Ca, S y Mg y bajas de P, en una secuencia:  $N > K > Ca > S > Mg > P$ .

Parte de la planta	Extracción promedio, kg/ha-cosecha (1,2,3)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
1000 kg de grano/ha	32.3	2.8	19.7	3.6	3.0	4.8
Cultivo completo/ha	101.6	9.1	92.6	54.1	17.7	25.4
1088 de granos/ha	37.2	3.6	22.0	4.4	4.4	9.5
Cultivo completo/ha	201.2	17.5	200.7	116.0	36.0	36.0
1000 kg de grano/ha	28.6	3.3	20.4	3.6	2.0	4.4

De estos datos se interfiere que la incorporación de todos los residuos: hojas, tallos y vainas disminuye considerablemente el agotamiento de los nutrientes del suelo reduciéndose, en consecuencia, la cantidad de fertilizantes a aplicar en las siembras de fríjol subsiguientes.

### SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE NUTRIMENTOS EN LAS

#### PLANTAS DE FRIJOL

#### NITROGENO:

Las plantas afectadas por una deficiencia de N tienen poco desarrollo ra-

dicular y aéreo. Los rendimientos son bajos. Ocurre una defoliación prematura. Las hojas inferiores toman un color amarillo uniforme. Estas contienen menos de 3% de N (1,2,3).

#### FOSFORO:

Las plantas deficientes de P florecen y maduran tardamente. Se afecta el crecimiento radicular, el proceso de floración y su cuajamiento posterior, la formación de granos y maduración de los frutos.

Las plantas son pequeñas (raquíticas) con poca ramificación. Las hojas inferiores son amarillentas con bordes necróticos, se presenta una defoliación temprana severa.

Las hojas superiores, al iniciar la floración, con contenidos menos de 0.3-0.4% son deficientes; en los suelos menos de 10-15 ppm (Bray II) se considera igualmente deficiente (1,2,3).

#### POTASIO:

Se manifiesta por un amarillamiento y necrosis en los bordes de las hojas, se desarrollan manchas necróticas sobre los folíolos en las hojas de la parte inferior de la planta.

Un contenido deficiente de K altera la síntesis y metabolismo de los car-

bohidratos, incrementa la tasa de respiración y altera la absorción y transpiración. Los tejidos son débiles.

Un contenido de menos de 2% en las hojas se considera deficiente y en el suelo contenidos menores de 0.2 meq/100g ó saturaciones menores de 3-5% (1,2,3).

#### CALCIO:

El  $\text{Ca}^{++}$  es un elemento poco móvil. Su transporte de las raíces a la parte aérea ocurre por el xilema y una vez depositado en algún órgano no se transloca en la planta.

El  $\text{Ca}^{++}$  está involucrado en la economía hídrica de la planta. Su deficiencia afecta el crecimiento y desarrollo de órganos en activo crecimiento, meristemas y yemas terminales. Estas se necrosan cuando la deficiencia es severa.

Un nivel óptimo de calcio en las hojas está alrededor de 1.5-2% y en el suelo alrededor de 3.0 - 4.5 meq/100g ó saturaciones de más de 30% (1,2,3).

#### MAGNESIO:

El magnesio es un componente esencial de la clorofila. Esta relacionado con los procesos hídricos en las plantas y los energéticos.

Las hojas inferiores de las plantas, con deficiencias de Mg presentan inicialmente una clorosis intervenal avanzando a toda la hoja, que se torna amarilla uniforme con manchas necróticas, que se extienden a toda la hoja.

Hojas con deficiencia de Mg tienen contenidos de 0.22 - 0.3%, mientras que plantas normales tienen contenidos de 0.31 - 1.3%. En el suelo contenidos menores de 0.5 - 0.8 meq/100g ó saturaciones menores de 15% son deficientes (1,2,3).

#### FERTILIZACION DE FRIJOL EN COLOMBIA

##### NITROGENO:

La deficiencia de nitrógeno disponible ( $N-NH_4$  y  $N-NO_3$ ) para las plantas es común en los suelos de clima medio y frío en Colombia, especialmente en aquellas tierras ácidas, desaturadas y erosionadas (6,7,8,9,). En estos suelos con contenidos tan amplios de materia orgánica, 1.5 a 25.8%, indistintamente, las variedades de fríjol arbustivo y voluble incrementan su producción cuando se aplica nitrógeno o abonos orgánicos (Tabla 9). En aquellos suelos con 7 a 15% de materia orgánica las dosis promedias de nitrógeno están alrededor de 40 a 50 kg/ha al momento de la siembra (4,5).

TABLA 9. RESPUESTA DEL FRIJOL AL NITRÓGENO EN SUELOS DE CLIMA FRÍO Y SECIO EN COLOMBIA (4,5).

LOCALIDAD	VARIEDAD	MATERIA ORGÁNICA %	f - °C	TRANSACCIONES Kg/ha.		RENDIMIENTOS Kg/ha.	
				SIN N	M	SIN N	ABON: ORGÁNICO
La Selva (Blonnegro)	Diacol Catío	25.6	16	00	25	300	500
Sonson	Diacol Catío	13.4	17	00	25	440	647
Temorillo (Calúles)	Diacol Catío	9.7	18	00	25	547	863
Urrao	Diacol Catío	17.9	17	00	25	1437	1900
Tullio Ospina (Bello)	Frijol Arbutivo	5.3	22	00	50	500	710
Tullio Ospina (Bello)	ICA- boná	1.5	22	00	30	1280	1526
La Selva (Blonnegro)	Diacol Catío	26.7	16	00	50	1253	1361
Pasto (Nariño)	Diacol Catío	3.4	11	00	40	572	1369
Elina medio (Nariño)	Diacol Catío	-	-	00	4-	622	812
La Palma (Daque)	---	5.6	24	00	40	718	810
Leguilla (Guatapu)	---	1.5	20	00	40	1252	1354
San Juan (Cocotá)	Diacol Catío	4.2	20	00	30	630	900
Santa Cruz (Cocotá)	Diacol Catío	7.1	20	00	30	520	1050
Maldonado (Angatuna)	Diacol Catío	8.5	21	00	30	630	670
Liraces (Nariño)	Lironeño	5.7	18	00	20	888	1146
Chupeque (Cundinamarca)	Diacol Ardino	-	13	00	80	1196	1456
La alna (Tolipalma)	Diacol Catío	7.2	22	00	90	1130	1345
Serranía (Jardin)	Diacol Catío	7.5	19	00	90	389	630
Gonja Palmita (Palmita)	Diacol Calima	2.9	24	00	50	1003	1269
Gonja Palmita (Palmita)	ICA pljeo	2.9	24	00	50	1180	1209
RANGO		1.5 - 25.8	13 - 24		20 - 90	300-1437	630-1900
PROPIEDAD		8.6	-		43	818	1088
La Selva (Blonnegro)	ICA-Viboral	19.0	16	00	45	642	734
La Selva (Blonnegro)	ICA-Viboral	17.4	18	00	40	1430	1510
La Selva (Blonnegro)	ICA-Viboral	16.3	15	00	30	2500	2900
La Selva (Blonnegro)	Cargamento	20.0	16	00	75	640	1500
Donuzo (Pasto)	Portiño	2.6	11	00	50	1620	2020
Tibatitá Posquera	Bola Roja	-	11	00	50	4500	1000
La Chapa (El Carmen de Viboral)	ICA-Viboral	17.3	12	00	45	1736	2295
Calichal (Palaga)	Entredadera	-	18	5	35	635	676
Bombón (Concepción)	Entredadera	-	-	5	50	229	237
RANGO :		2.6 - 20.0	11 - 16		30 - 75	1000 - 4.500	224 - 1736
PROPIEDAD:		15.6			47	2200	910
							237 - 2295
							780-2
							1215
							147

Posiblemente en suelos con menos materia orgánica y más erosionados, las dosis de N pueden aumentarse hasta 60 kg/ha. En tierras con más de 15% de materia orgánica, especialmente las ubicadas en clima medio, como gallinaza con alto contenido de N (2% ó más), se puede aplicar entre 500 a 1000 kg/ha para variedades arbustivas; en frijoles volubles de clima frío las dosis están entre 1500 y 2500 kg/ha. Con este abonamiento orgánico, en presencia de dosis balanceadas de P, K y enmiendas, se consiguen buenos rendimientos de frijol, sin la adición de fertilizantes nitrogenados.

Una buena alternativa para adicionar N al frijol es mediante su aplicación foliar, en dosis de 1 a 2% en agua, iniciando a los 10 a 12 días de su germinación. Posteriormente se continuará con 2 a 3 aplicaciones hasta cuando el mayor porcentaje de vainas estén bien desarrolladas, pero aún en estado verde. Esta fertilización foliar es complementaria a la fertilización edáfica (5).

Tratamiento		Rendimiento en kg/ha, $\bar{X}$ de 6 experimentos clima medio (5)	
N-edáfico kg/ha	N-Foliar %	Rango	Promedio
0	0	630 - 750	670
30	0	950 - 1420	1130
0	2%	670 - 1050	830
30	2%	930 - 1670	1370

## FOSFORO:

Los suelos ubicados en clima medio y frío, cuando se cultivan con fríjol, responden a las aplicaciones de P soluble (SFT), especialmente aquellos que poseen contenidos menores de 30 ppm de P (Bray II) en menos de 15 ppm, el ritmo de incremento en producción es bajo (4,5).

Límite crítico tentativo de P. (Bray II)		Incremento en grano producido Kg/ha kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aplicado
Categoría	ppm	
Contenido bajo	< 15	3.86
Contenido medio	15 - 30	2.93
Contenido alto	> 30	2.14

El fríjol absorbe el P del suelo a un ritmo más o menos constante durante su ciclo vegetativo (1,2,3). La cantidad total acumulada en la planta, para una cosecha abundante varía entre 10 y 20 kg de P/ha, de los cuales 2.0 a 4.0 kilogramos se alcanzan a almacenar en los granos.

Estas son cantidades relativamente pequeñas; sin embargo debido a las condiciones físico-químicas en los suelos mencionados cuando contienen menos de 15 ppm, es necesario aplicar dosis altas, entre 100 y 200 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (43 a 65 kg del P/ha), para obtener una buena cosecha de fríjol (1.5 a 2.0 ton/ha). En suelos con 15 a 30 ppm se sugiere adicionar 50 a 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha y en aquellas tierras con más de 30% de P aprovechable son suficientes dosis bajas, entre 0 y 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Una característica común en la mayoría de los suelos de clima medio y frío colombianos: Dytrandept, Dystropept, Humitropept, Placandept, etc. en su alta capacidad de fijación de fósforos, más de 70 a 80% del P soluble aplicado o mineralizado. En varios suelos de estos, en experimentos de campo, al sembrar diferentes variedades de fríjol, la fuente de P superfosfato triple, cuyo fósforo es soluble en agua y citratos, ha dado excelentes resultados cuando se aplica la dosis en la forma (cerca a la semilla) y épocas (a la siembra) adecuadas (Figura 5,6) (Tabla 10,11); además se han estudiado otras fuentes de P como Escorias Thomas, con P soluble en citrato y rocas fósforicas parcialmente aciduladas (25-50%) con  $H_2SO_4$ , quedando con un porcentaje apreciable de P soluble en agua y citrato. Las Escorias Thomas como las rocas parcialmente aciduladas son buena fuente de P para fertilizar fríjol cuando se aplica las dosis requeridas y en la forma (banda o corona) y época (a la siembra) apropiadas (Figura 5,6) (Tabla 11). Las rocas fósforicas naturales molidas, sin ningún tratamiento químico previo, no han resultado ser buenas fuentes de P para aplicarlas en fríjol, en suelos deficientes de éste nutriente (4,5,6,7).

#### POTASIO:

Los suelos de clima medio presentan frecuencias altas (50 a 70%) de valores bajos y medios de K-asimilable (0.1 a 0.4 meq/100 g). En clima frío, las tierras con valores bajos y medios de K-disponible son también frecuentes en los departamentos de Caldas (100%), Antioquia (89%), Norte de

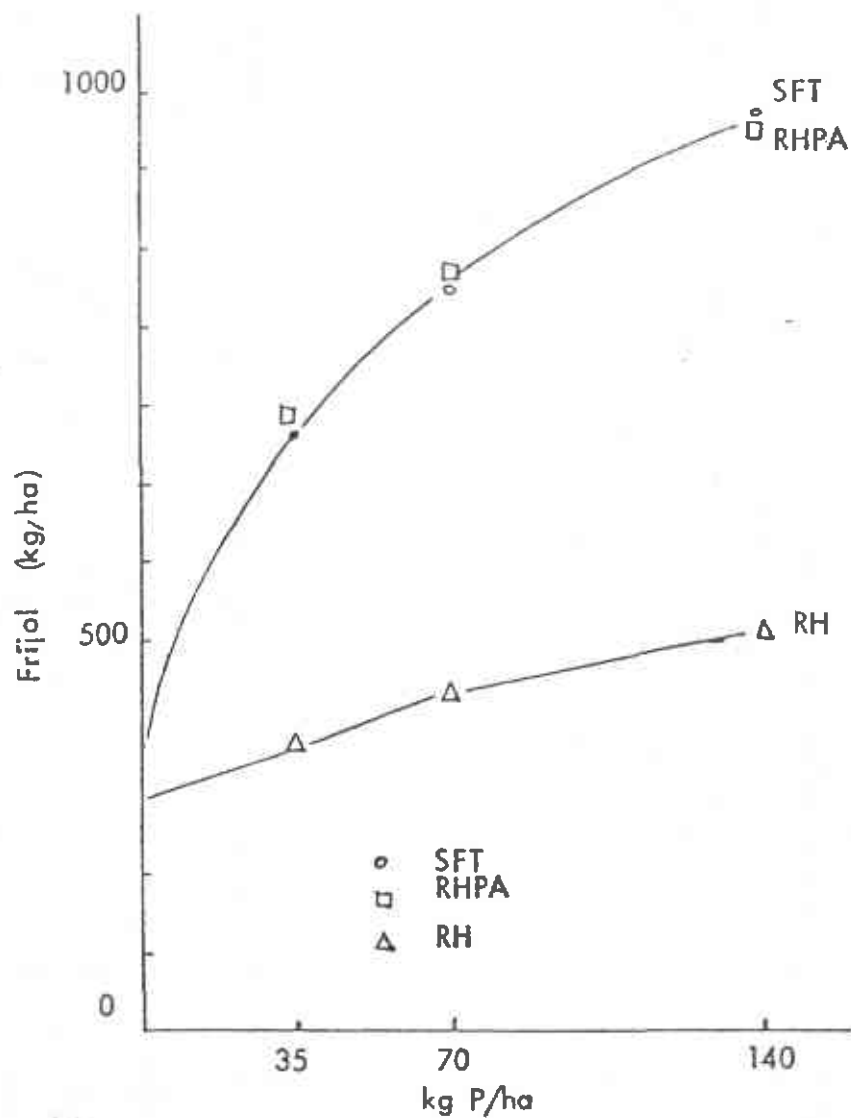


FIGURA 5. Respuesta del fríjol a dosis y fuentes de P en suelos ácidos infértiles del Cauca. Pescador, 1983A (3).

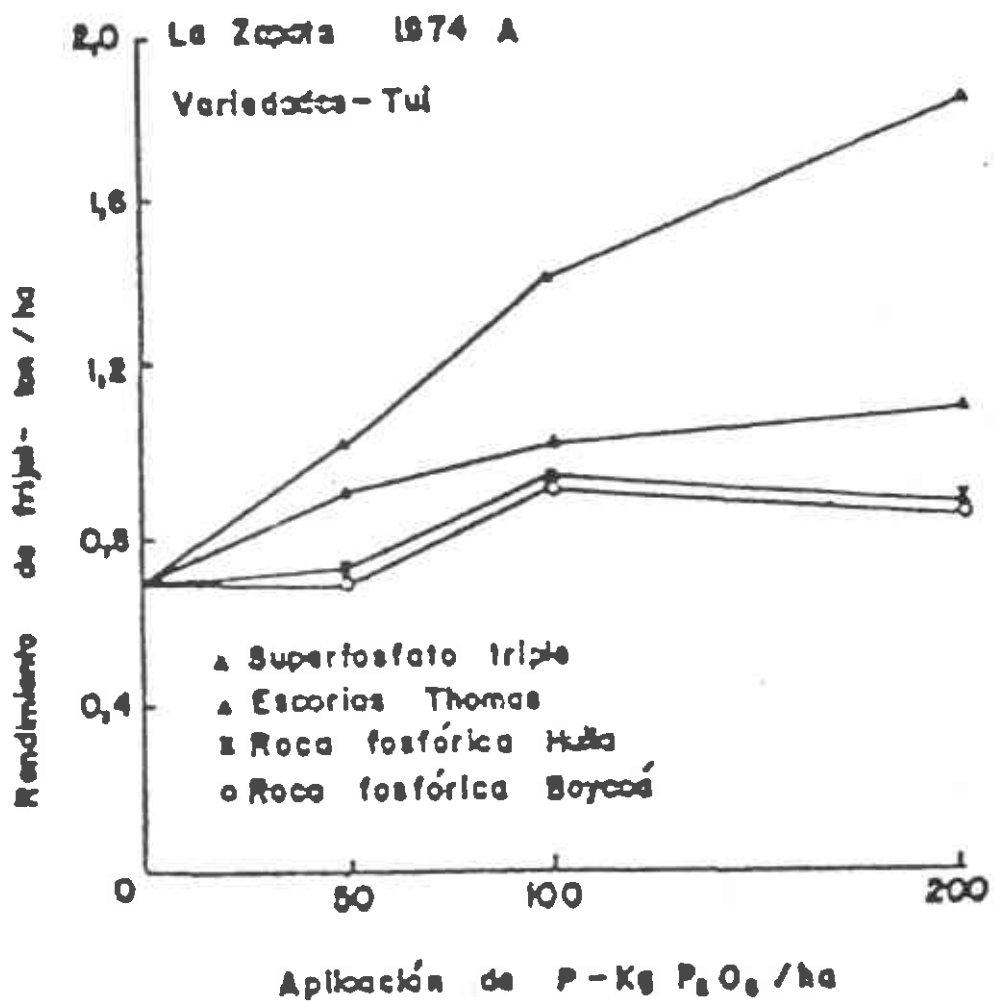


FIGURA 6. La respuesta del frijol Tui a la aplicación de varias dosis y fuentes de fósforo (3).

TABLA 10 : RESPUESTA DEL FRIJOL AL FOSFORO EN SUELOS DE CLIMA MEDIO Y FRIO EN COLOMBIA (4,5).

LOCALIDAD	VARIEDAD	P(ppm) Oray II	Tratamiento S, Kg/Ha		Rendimientos Kg/Ha.	
			Sin P.	Mejor dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sin P.	Mejor dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Tullo Ospina (Bello)	ICA-Lerd	2.8	0	90	808	1715
Tullo Ospina (Bello)	ICA-Cura	2.8	0	60	1146	1218
Tullo Ospina (Bello)	Discol Catio	2.8	0	90	699	1743
Clima medio (Muzo)	Frijol Aroustivo	15.0	0	120	660	812
Mayala (Ibatio)	ICA-Guif	6.2	0	200	481	1342
Parinde (Popayan)	ICA-Guif	11.5	0	300	260	1920
Colunto (Popayan)	ICA-Guif	7.1	0	300	902	1346
Moseta (Cajibío)	ICA-Guif	4.1	0	200	213	1141
Moseta (Plandano)	ICA-Guif	6.7	0	300	76	654
Runa Majo (Bartola)	Discol Catio	7.0	0	180	1018	1495
Moseta (Popayan)	---	0.7	0	320	300	1022
La Selva (Riosnegro)	Discol Catio	12.7	0	300	47	500
Sorsan	Discol Catio	11.1	0	150	393	557
Tesorito (Caldas)	Discol Catio	14.8	0	300	483	1240
Urrea	Discol Catio	3.2	0	300	163	1740
La Selva (Riosnegro)	Discol Catio	6.8	0	300	900	1100
Tullo Ospina (Bello)	---	2.4	0	100	140	270
Moseta (Popayan)	ICA-Riosnegro	10.0	0	200	420	2350
Moseta (Popayan)	Patrillo Sistracion	10.0	0	200	700	2100
La Zepeta (Palma)	ICA-Tul	10.0	0	200	680	1750
Lirreno (Muzo)	Lirreno	6.6	0	120	820	1053
Saranda (Jardin)	Discol Catio	3.0	0	180	197	617
La Selva (Riosnegro)	Discol Catio	18.3	0	150	1410	1770
La Selva (Riosnegro)	Discol Catio	18.3	0	75	1063	1373
Serie Palanca (Palanca)	ICA-Calma	25.0	0	25	1189	1269
Serie Palanca (Palanca)	ICA-Pisao	25.0	0	50	1283	1461
Sanandaya (Muzo)	---	34.0	0	120	524	572
Chaparral (Yacunguar)	ICA-Yordana	34.0	0	60	3348	3518
Chaparral (Yacunguar)	Antioquia 8	34.0	0	60	1954	2917
La Selva (Riosnegro)	ICA-Viboral	15.0	0	180	100	614
La Selva (Riosnegro)	Carpasento	14.0	0	300	640	1580
La Selva (Riosnegro)	ICA-Viboral	9.0	0	80	141	533
Casera de Viboral	ICA-Viboral	13.8	0	180	1876	2614
La Selva (Riosnegro)	ICA-Viboral	6.0	0	180	365	900
La Selva (Riosnegro)	ICA-Viboral	20.0	0	150	650	1950
Guaraco (Pasto)	Muzo	21.0	0	75	1810	1490
Palangilla (Santander)	Carpasento	25.0	0	45	951	910
Altiplano (Pasto)	Frijol Volante	16.0	0	120	402	1369
Altiplano (Epiales, Pasto)	Muzo	39-155	0	75	800	1150
PROMEDIO :		0.7 - 155	0	25-320	47-3348	270-3518
PROMEDIO :		14.8	0	157.5	774.2	1374.0

TABLA 11 - Efecto de la aplicación de dosis y fuentes de P en el rendimiento de maíz = frijol voluble, en un Andisol del Oriente Antioqueño (5).

Dosis de P kg/ha	Fuente	Rendimiento ton/ha		
		Maíz = Frijol		Maíz
		1987	1987	1988
		Primera Cosecha	Segunda Cosecha	
0		3.0	0.65	3.3
22	SFT	3.2	1.41	4.9
44	SFT	3.2	1.69	4.9
66	SFT	3.6	1.95	5.4
22	RFMLPA	4.0	1.74	4.7
44	RFMLPA	4.1	1.97	4.9
66	RFMLPA	3.6	1.72	4.8
22	RFPPA	4.0	1.26	4.9
44	RFPPA	3.1	1.41	5.9
66	RFPPA	3.2	1.62	5.9

SFT = Superfosfato triple  
 RFMLPA = Roca fosfórica media luna, parcialmente acidulada.  
 RFPPA = Roca fosfórica de pesca, parcialmente acidulada.

Santander (83%), Santander (81%) y Cauca (70%); en cambio, son frecuentes los suelos con contenidos altos de K-intercambiable en los departamentos de Nariño (65%), Boyacá (43%) y Cundinamarca (38%). En suelos representativos de estas regiones se han realizado experimentos para estudiar la respuesta del frijol arbustivo y voluble a la aplicación de fertilizantes potásicos. En aquellas tierras con contenidos menores de 0.20 meq de K/100 g, la aplicación de K<sub>2</sub>O incrementó positivamente el rendimiento en las diferentes localidades. El aumento logrado se puede considerar alto, ya que en promedio, por cada kilogramo de K<sub>2</sub>O utilizado, en un intervalo de 30 a 80 kg de K<sub>2</sub>O/ha, se produjo un incremento de 4.97 kilogramos de grano. En aquellos suelos cuyo contenido de K-asimilable varió entre 0.20 y 0.40 meq/100g, la relación entre grano/potasio aplicado fué de 3.40/1.0 y en tierras con contenidos más altos de 0.4 meq de K/100 g dicha relación se redujó a 1.92/1.0 (Tabla 12) (4,5,6,7).

Límite crítico tentativo de K		Incremento en grano producido kg/ha por cada kilogramo de K <sub>2</sub> O aplicado
Categorías	Meq/100g	
Bajo	< 0.20	4.97
Medio	0.20 - 0.40	3.40
Alto	> 0.40	1.92

Los resultados de la Tabla permiten afirmar que en suelos con contenidos bajos, medios y altos de K-asimilable (NH<sub>4</sub>OAC, IN pH<sup>7.0</sup>), se pueden aplicar, para obtener una buena cosecha de frijol, las siguientes dosis de

TABLA 12 RESPUESTA DEL FRIJOL AL POTASIO EN SUELOS DE CLIMA MEDIO Y FRIO EN COLOMBIA (4,5).

LOCALIDAD	VARIEDAD	K, Mg/100 g	TRATAMIENTO .Kg/ha.		RENDIMIENTOS Kg/ha	
			Sin K	Mejor dosis K2O	Sin K	Mejor dosis K2O
Mina Vieja (Borbold)	Discal Catio	0.17	0	30	1032	1264
Serranía (Jardín)	Discal Catio	0.16	0	30	760	707
Palomaredo (Argemire)	Discal Catio	0.17	0	30	570	800
San Francisco (Cocorná)	Discal Catio	0.12	0	30	415	1030
Urree	Discal Catio	0.18	0	80	1460	1493
La Selva (Rionegro)	ICA-Vibora	0.20	0	30	731	851
La Selva (Rionegro)	Carpentero	0.17	0	80	194	213
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.17-0.20</b>		<b>30-80</b>	<b>194-1460</b>	<b>213-1493</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.18</b>		<b>44</b>	<b>708</b>	<b>824</b>
Tullo Ospina (Bello)	Discal Catio	0.23	0	50	852	680
La Mina (Vereda)	ICA-Turón	0.28	0	30	850	1140
La Arboleda (Ciudad Bolívar)	Discal Catio	0.24	0	30	300	1090
Tullo Ospina (Bello)	ICA-Cura	0.40	0	30	974	1278
Tullo Ospina (Bello)	Discal Catio	0.40	0	30	1323	1234
La Selva (Rionegro)	Discal Catio	0.22	0	80	187	493
Tamito (Caldas)	Discal Catio	0.24	0	80	1187	843
Paloguito (Santander)	Carpentero	0.40	0	30	807	666
La Selva (Rionegro)	ICA-Vibora	0.43	0	30	582	519
Canaan de Vibora	ICA-Vibora	0.28	0	30	2247	2270
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.22-0.40</b>		<b>30 - 80</b>	<b>187-2247</b>	<b>493-2270</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.30</b>		<b>42</b>	<b>875</b>	<b>1018</b>
Chapucal (Yacuanquer)	Arturo G	0.80	0	20	2548	2041
Sonson	Discal Catio	1.14	0	80	373	807
La Selva (Rionegro)	Discal Catio	0.82	0	80	1980	1480
Lirio (Nariño)	Lirio	1.08	0	20	1030	1080
Eliseo Templado (Nariño)	Frijol Arbustivo	0.80	0	20	785	862
La Selva (Rionegro)	Discal Catio	0.81	0	50	1253	1061
Bacia Palmera (Palma)	ICA-Calina	0.85	0	25	1036	1269
Serie Palmera (Palma)	ICA-Calina	0.85	0	25	1155	1180
Sombrero (Nariño)	Frijol Arbustivo	0.82	0	20	541	637
Chapucal (Yacuanquer)	ICA-Turón	0.80	0	20	2877	43210
Altiplano de Pasto	Frijol Volcable	0.80	0	20	1047	1233
Ovaruno (Nariño)	MERTINO	0.71	0	100	2870	2780
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.81 - 1.18</b>		<b>20 - 100</b>	<b>373 - 2877</b>	<b>807 - 3216</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.78</b>		<b>37.5</b>	<b>1442</b>	<b>1514</b>

potasio ( $K_2O$ ), utilizando como fuente el KCL (60% de  $K_2O$ ); adicionándolo al momento de la siembra (4,5).

Límite crítico tentativo de K.

Dosis de  $K_2O/ha$

Categoría	Meq/100g	
Bajo	$< 0.20$	40 - 60
Medio	0.20 - 0.40	20 - 40
Alto	$> 0.40$	0 - 20

#### ACIDEZ:

Se consideran suelos normales, para el cultivo del fríjol, aquellos que están entre 5.0 y 7.5 de reacción o pH; hasta 1 a 2 meq de Al/100 g o menos de 30% de saturación y contenidos de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  asimilable superiores a 3.0 y 0.8 meq/100 g ó saturaciones mayores de 30 y 15 por ciento (3).

El fríjol es un cultivo bastante susceptible a la toxicidad de Al y Mn, común en suelos ácidos ( $pH < 5.5$ ). Las plantas afectadas por éste disturbio tienen poco crecimiento y desarrollo; las hojas son amarillentas con necrosis en los bordes. El sistema radicular es restringido. En casos severos de toxicidad de Mn las hojas del cogollo se deforman, encrespan y se necrosan; en las hojas nuevas se desarrolla una necrosis intervenal (3).

El control de la toxicidad producida por el Al y Mn se logra mediante la aplicación al suelo de enmiendas calcáreas o dolomíticas ó la incorporación de materia orgánica que al descomponerse libera compuestos que pueden retener el exceso de cationes.

En Colombia un alto porcentaje, 40 a 50%, de los suelos ubicados en clima medio y frío, donde se cultiva fríjol, presenta algunas limitantes, bien por  $P^H$  y/o alta saturación de Al o por deficiencias de Ca y/o Mg ó tienen relaciones Ca/Mg muy amplias (Tabla 1,2,5,7) (4,5,6,7,10).

En varios de los suelos mencionados, representativos de las condiciones físico químicas predominantes como  $P^H < 5.5$ ;  $Al \geq 1.0$  meq/100 g; Ca y  $Mg <$  de 3.0 y 1.0 meq/100 g, se han realizado experimentos para evaluar los efectos en la producción del fríjol y en las transformaciones químicas posteriores ocurridas en el suelo.

Analizando los datos se encontró, en todas las localidades, un incremento en los rendimientos (Tabla 13) con un índice de eficiencia de 217 gramos de fríjol producido por kilogramo de cal aplicada (4,5,7).

En aquellos suelos con  $P^H > 5.5$ . con contenidos bajos de Al y medios a altos de Ca y/o Mg, el encalamiento también incrementó la producción, en la mayoría de los sitios considerados, pero el índice de eficiencia fué bajo, apenas de 118 gramos de grano producido por cada kilogramo de cal agrícola ó dolomítica aplicada (4,5,7).

TABLA 13 : RESPUESTA DEL FRIJOL AL ENCALARIENTO EN SUELOS DE CLIMA MEDIO Y FRIO EN COLOMBIA (4,5,5,7).

LOCALIDAD	VARIEDAD	Req/100 g.			TRATAMIENTO Kg/ha		RENDIMIENTO Kg/ha		
		Al	Ca	Mg	Sin Cal	Mejor Dosis Cal	Sin Cal	Mejor Dosis Cal	
La Selva (Rionegro)	Diacol Catlo	4.6	2.1	1.6	0.35	0	2000**	213	627
Sanson	Diacol Catlo	5.1	1.1	1.6	0.35	0	2000**	510	717
Urrea	Diacol Catlo	5.4	1.6	0.8	0.37	0	2000**	1101	1900
La Selva (Rionegro)	ICA-Viborel	4.9	1.2	1.0	0.30	0	2000**	734	1009
La Selva (Rionegro)	Diacol Catlo	5.2	1.0	2.8	0.30	0	500**	1373	1922
La Selva (Rionegro)	Línea 10487	5.2	1.0	2.8	0.30	0	1000**	1428	1872
La Selva (Rionegro)	Línea 202-70	5.2	1.0	2.0	0.30	0	500**	949	1676
La Selva (Rionegro)	ICA-Viborel	4.9	1.2	1.0	0.30	0	240*	770	970
La Selva (Rionegro)	ICA-Viborel	4.9	1.7	2.6	0.60	0	2000**	551	785
Serreñías (Jardín)	Diacol Catlo	5.1	4.4	2.5	0.90	0	2000**	448	525
RANGO:		4.8-5.4	1.0-2.1	0.8-2.8	0.3-0.90		240-2000	213-1420	625-1922
PROMEDIO :		5.0	1.82	2.55	0.40		1424	615	1202
Payola - Tumbia	ICA-Guall	5.5	0.9	4.0	2.20	0	4000**	1250	1400
Arinda - Popayan	ICA-Guall	5.7	--	2.0	1.90	0	4000**	1423	1420
Coluello - Popayan	ICA-Guall	5.0	--	2.0	0.34	0	4000**	924	1271
Maseta - Cajitio	ICA-Guall	5.5	1.0	2.0	1.90	0	4000**	043	902
La Selva (Rionegro)	Cargamento	5.4	0.5	2.8	1.10	0	4000**	450	620
Carmen de Viborel	ICA-Viborel	5.9	--	7.9	0.35	0	2000**	2295	2708
Mina Vieja (Betania)	Diacol Catlo	5.7	--	8.0	2.40	0	1000**	1137	1500
RANGO:		5.4-5.9	0.5-1.0	2.0-8.0	0.34-2.4		1000-4000	450-2295	620-2708
PROMEDIO:		5.8	0.80	4.2	1.39		1901	1316.2	1515.2

\* Cal aplicada al momento de la siembra en concave o en banda.

\*\* Cal aplicada al voleo con un mes de anticipación a la siembra o incorporada.

En virtud de los resultados obtenidos en las aplicaciones de cal en los suelos mencionados se sugiere, para corregir los problemas de acidez en fríjol, el siguiente plan de encalamiento:

Condiciones químicas prevalentes			Cal ton/ha	Sistema de aplicación		
pH	meq/100 g			Epoca	Forma	
AL	Ca	Mg				
< 5.5	> 2.0	< 3.0	< 0.8	1.0 - 2.0	Antes siembra	Al voleo incorporada
				0.25 - 0.50	A la siembra	Banda o corona

Quando la relación Ca/Mg es muy amplia, 3-6/1.0 ó más, y/o en contenido de Mg en el suelo es 0.8 a 0.5 meq/100 g ó menos, la fuente de cal debe ser dolomítica,  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$ ; en otras condiciones químicas, la cal agrícola,  $\text{CaCO}_3$  es la recomendada.

#### NECESIDADES POTENCIALES DE FERTILIZANTES, ABONOS ORGANICOS

#### Y ENMIENDAS

En Colombia se cultivan anualmente entre 90.000 y 110.000 hectáreas en fríjol arbustivo y voluble. Esta área básicamente está localizada en los suelos de clima medio y frío. Los estudios realizados permiten establecer una secuencia tentativa de suelos con contenidos bajos a medios en N, P, K y ácidos ( $\text{pH} < 5.5$ ) en el siguiente orden: 90% (N) > 65% (P)

**TABLA 14. Necesidades Potenciales de Fertilizantes para Frijol en Suelos con contenidos bajos y medios de materia orgánica, P, K y ácidos ( $p^H < 5.5$ ) en zonas de clima medio y frío en Colombia.**

Miles de hectareas Siembradas/año	% de suelos deficientes en				Dosis Promedias en kg/ha				Toneladas			
	N	P	K	ácidos	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cal	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cal
Para 90.000	90	65	60	50	45	100	40	500	3645	5850	2060	22500
Para 100.000	90	65	60	50	45	100	40	500	4050	6500	2400	25000
Para 110.000	90	65	60	50	45	100	40	500	4450	7150	2640	27500

**Nota:** Aplicaciones entre 500 y 1000 Kg/ha de gallinaza pueden reemplazar el N recomendado ( 45 Kg/ha), lo cual dá entre 45.000 y 110.000 toneladas para abonar el frijol sembrado en Colombia, cada año.

60% (K) >50% (suelos ácidos), que requieren aplicaciones de fertilizantes, enmiendas y/o abonos orgánicos en las dosis promedias, a aplicar para obtener buenas cosechas de fríjol, que se indican en la Tabla 14. Para el número de hectáreas sembradas se requieren potencialmente entre 3645 y 4450 toneladas de N; 5850 y 7150 toneladas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2060 y 2640 toneladas de K<sub>2</sub>O y 22.500 a 27.500 toneladas de cal agrícola y/o dolomítica.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Cobro, Netto-A. 1967. Absorcao e deficiencias dos macronutrientes pelo fêijoeiro. Tese de Doctor em Agronomia. E.S.A. Luis de Queiroz. Piracicaba (SP).
2. Haag, H.P. et al. 1967. Absorcao de nutrientes pela cultura de fêijoeiro. *Bragantia* 20(30):381-391.
3. Howeler, R.H.; C.J. Medina. S.F. La fertilización en el fríjol Phaseolus vulgaris: Elementos mayores y secundarios. Hojas en duplicación de xeros. CIAT. Palmira (Valle) 1-45p.
4. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos. Informe de Progreso. 1976-1986.
5. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de Suelos de la Regional 4. Informe de Progreso. 1975-1989.
6. Monómeros Colombo-Venezolano. 1986. Fertilización de cultivos del clima medio. 2 serie de divulgación técnica. 1-130p.
7. Monómeros Colombo-Venezolano. 1988. Fertilización de cultivos de clima frío. 3 serie de divulgación técnica. 1-179p.
8. Marín, M.G. y F.R. Forero. 1982. Fertilidad general de los suelos del clima medio de Colombia. Hojas en Mimeografo. Centro Experimental Tibaitatá (Mosquera). 1-24p.
9. Muñoz, A.R. 1980. Resumen sobre ecología, fisiografía y suelos de la Región Central de Antioquia. Hojas en Mimemografo. Granja Tulio Ospina (Bello). 1-20p.

- 258
10. Muñoz, A.R. 1989. El estado de la fertilidad de los suelos Colombianos en relación al Al, Ca, Mg, S y la relación Ca/Mg en diferentes regiones y cultivos. Hojas a máquina. Granja Tulio Ospina (Bello). 1-44p.