

EFFECTOS DE CINCO NIVELES DE POTASIO, CALCIO
Y MAGNESIO SOBRE LA PRODUCCION DE FRIJOL
(Phaseolus vulgaris L.)

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Eduardo Alejandro Armijos Gutiérrez



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Mayo, 1972

EFFECTOS DE CINCO NIVELES DE POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO, SOBRE
LA PRODUCCION DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Tesis

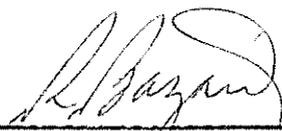
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



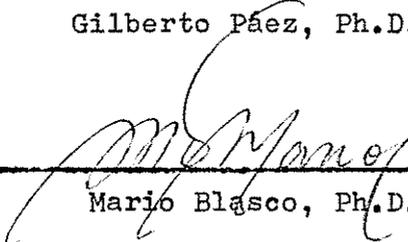
Rufo Bázán, Ph.D.

Consejero



Gilberto Pérez, Ph.D.

Comité



Mario Blasco, Ph.D.

Comité



José Fargas, Ph.D.

Comité

Mayo, 1972

Con cariño y respeto,
amor y devoción,
y con afecto, a

Miguel Arsenio,
Rosa María,
Bertha María,
F. Eduardo
Sandrita J. M. del C.,
Ramiro Eugenio,
Fabián Alejandro,
Rosario, Jorge, P. Francisco,
Julio Humberto, Máximo, Carmen
e Isabel.

Al agricultor de mi país y del mundo.

AGRADECIMIENTOS

El autor hace constancia de sus sinceros agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

Dr. Rufo Bazán, Consejero Principal por su constante orientación y estímulo.

Dr. Gilberto Pérez, Profesor y Maestro infatigable, por su invaluable ayuda prestada para una mejor realización del presente trabajo.

Dres. Mario Blasco y José Fargas por sus valiosas sugerencias para una mejor presentación del texto.

A mis profesores de ayer y de hoy por las enseñanzas impartidas.

A mis amigos y hermanos que me alentaron espiritual y moralmente a continuar mis estudios.

Al IICA-CTEI por la beca concedida de setiembre de 1970 al 22 de abril de 1972 y al IICA-Zona Andina, por la prórroga de beca hasta el 22 de mayo del presente año, organismos que hicieron factible la realización de estudios de postgrado.

BIOGRAFIA

El autor, nació en la ciudad de Loja, República del Ecuador, el 22 de mayo de 1942.

Cursó sus estudios primarios en la Escuela de los HH. CC. "J. A. Eguiguren". Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Nacional "Bernardo Valdivieso" de la ciudad de Loja.

En octubre de 1960 ingresó en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Loja, habiendo egresado con honores (Diploma y medalla de Oro) en julio de 1965. Se graduó como Ingeniero Agrónomo en julio de 1966.

Desde enero de 1964 a setiembre de 1966, desempeñó el cargo de Ayudante de Cátedra de Estadística y diseño experimental en la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

De octubre a noviembre de 1963 obtuvo una beca del Departamento de Estado de los EE.UU. para observación y estudio en los Estados Unidos de Norteamérica, de aspectos relacionados con la agricultura en general.

De febrero de 1964 a enero de 1967 se desempeñó en la docencia de varios Colegios de Loja.

De febrero de 1967 a setiembre de 1970 fue Director de la Escuela Práctica de Agricultura de Puebloviejo, institución dependiente del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.

De agosto de 1967 a setiembre de 1970 fue Profesor de la Facultad de Agronomía de Babahoyo, Extensión de la Universidad Laica

"Vicente Rocafuerte" de Guayaquil, además fue Miembro Principal del H. Consejo Directivo y Fiscal de la mencionada Facultad.

En setiembre de 1970 ingresó a la Escuela de Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, habiendo obtenido el grado de Magister Scientiae en mayo de 1972.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Función de los nutrimentos	3
2.1.1. Potasio	3
2.1.2. Calcio	5
2.1.3. Magnesio	7
2.2. Efectos de interacción	8
2.3. Fertilización y encalado	8
2.4. Antagonismo	9
3. MATERIALES Y METODOS	11
3.1. Localización del estudio	11
3.2. Suelos	11
3.3. Fertilizantes	12
3.4. Diseño experimental y tratamientos	12
3.4.1. Aplicación de nutrimentos por niveles co- dificados	14
3.5. Preparación del experimento	14
3.5.1. Aplicación de los tratamientos	15
3.5.2. Establecimiento del experimento	15
3.5.3. Desarrollo del experimento	16
3.5.4. Control de insectos y de enfermedades ...	16
3.5.5. Toma de datos	17
3.6. Siembra y fertilización en el experimento de campo	17
3.7. Desarrollo del experimento	19
3.7.1. Control de malas hierbas, insectos y en- fermedades	19
3.7.2. Cosecha	19
3.8. Estandarización del rendimiento	20
3.9. Análisis de los resultados	20

	<u>Página</u>
4. RESULTADOS	22
4.1. Características físicas y químicas del suelo ..	22
4.2. Efecto de tratamientos sobre la producción de frijol en invernadero y campo	23
4.3. Determinación de niveles óptimos de fertiliza- ción	27
4.4. Efecto de los fertilizantes sobre otros compo- nentes del rendimiento	28
4.5. Asociación entre componentes del rendimiento ..	33
4.6. Asociación entre producción de semilla en inver- nadero y campo	35
4.7. Curvas de producción	36
4.8. Análisis de variancia	36
4.9. Ajuste del modelo matemático	37
5. DISCUSION	38
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
7. RESUMEN	45
7a. SUMMARY	47
8. LITERATURA CITADA	49
APENDICE	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro Nº		<u>Página</u>
1	Nutrimientos aplicados por niveles codificados ..	14
2	Nutrimientos aplicados por niveles codificados ..	18
3	Coefficientes de regresión múltiple	23
4	Niveles óptimos de fertilización	27
5	Coefficientes de regresión múltiple para otras variables de respuesta	29
6	Coefficientes de regresión múltiple para porción aérea (materia seca/maceta).....	31
7	Coefficientes de regresión múltiple para porción radical (materia seca/maceta)	32
8	Matriz de correlación dentro y entre variedades	34
9	Matriz de correlación entre producción de semillas	35

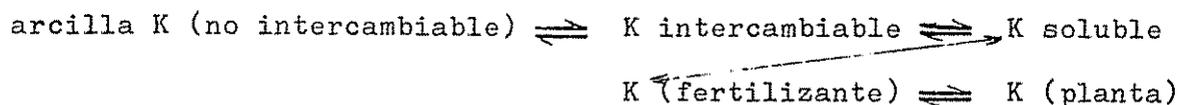
1. INTRODUCCION

Un serio problema en la recomendación de fertilizantes, es la falta, a veces total, de información básica, que puede obtenerse por investigaciones realizadas en invernadero y su confirmación mediante experimentos de campo. Muchas veces los valores obtenidos en el invernadero son diferentes a los del campo y la correlación entre ambos no es satisfactoria. Quizá esto se debe a que en el invernadero se consiguen condiciones homogéneas y se proporcionan mejores cuidados a los cultivos, mientras que en el campo ellos se liberan a la acción de los agentes naturales.

Es necesario recordar, cuando se dice que los suelos contienen cantidades considerables de determinados nutrimentos, que el suelo es un medio de transformación de potencialidad variable cuyo efecto en la producción depende de varios factores limitantes, por tanto, el mínimo insumo aplicado al suelo debe producir los mejores rendimientos. En el caso de los nutrimentos, cuando un determinado elemento como el potasio, tiene efectos antagónicos sobre la absorción de otros elementos como el calcio y el magnesio, y un desequilibrio entre ellos, puede ser el responsable directo de la falta de respuesta a la fertilización, se hace necesario estudiar el comportamiento conjunto de ellos, en diferentes concentraciones para realizar recomendaciones eficaces.

El presente estudio, tiene como objetivo general, estudiar los efectos del potasio, calcio y magnesio en la producción del frijol, bajo condiciones de invernadero y campo. Los objetivos específicos son:

1. Determinar el grado de asociación existente entre ensayos de invernadero y campo.
2. Estimar las dosis de potasio, calcio y magnesio que producen máximas físicas y económicas.
3. Señalar efectos de la fertilización sobre otros componentes del rendimiento.



Por esta razón, se dice que la influencia del pH del suelo y el potasio asimilable es probablemente específica para cada uno de los estados de equilibrio (3).

La fertilización potásica tiende a mantener un cierto estado de equilibrio, pero uno de los posibles problemas es que ocasione una baja disponibilidad de magnesio para las plantas. Esto ocurre porque el K substituye mucho del Mg-nativo y porque la presencia de gran cantidad de K inhibe la absorción del Mg (41).

El ión potasio, al contrario de los elementos P y N no entra en la constitución de los principios esenciales (glúcidos, próticos y lípidos), pero desempeña un papel importante en la asimilación clorofílica y en la formación de los glúcidos; aumenta la elaboración de los próticos a partir del N-mineral, permitiendo así una mejor utilización del nitrógeno (14).

Aunque no se conoce mucho sobre las funciones del potasio en la planta, se sabe más sobre sus efectos cuando falta éste elemento (37). El potasio es uno de los macronutrientes más exigido por las plantas, siendo del mismo orden que del N y a veces mayor que del P (26). Se han enunciado teorías de que el K aumenta la capacidad de las plantas para resistir a las enfermedades, al frío y a otras condiciones adversas y que toma parte en el proceso de síntesis de proteínas (40), almidones y azúcares a partir del anhídrido carbónico y del agua. Interviene, así mismo, en varias reacciones metabólicas favorables a la planta (11).

El potasio es muy móvil en el suelo y en la planta y se sabe que es el más abundante en las células vegetales. La aplicación de K aumenta la producción de materia seca (23). Hay bajo contenido proteínico cuando existe deficiencia de K, lo cual puede disminuir la fotosíntesis y aumentar la actividad respiratoria (37, 39, 42).

El K mantiene la turgidez de las células y por consiguiente sostiene la presión interna de los tejidos de las plantas (4). Aumenta la resistencia a la caída de los tallos por aumento de la cutícula de los mismos, favorece la absorción del ácido silícico y refuerza tallos y hojas (40).

2.1.2. Calcio

Al calcio se le han asignado ciertas funciones fisiológicas dentro de la nutrición mineral. Una de las principales es que neutraliza el ácido oxálico por la formación de oxalato de calcio relativamente insoluble, previniendo el acumulamiento de ácido oxálico a un nivel peligroso. Se cree que juega un papel importante al neutralizar otros ácidos orgánicos formados por la actividad metabólica de la planta. Como pectato de calcio es un formador y componente de la pared celular. Remueve el oxalato de potasio, el cual probablemente interfiere la acción de la diastasa necesaria para la translocación de los carbohidratos (32, 42).

En ausencia de calcio, los nitratos no son absorbidos ni asimilados (34). La actividad de la reductasa necesaria para la reducción de nitratos es baja en ausencia de calcio. Por tanto juega un papel importante en la acción de las enzimas (4, 32).

La acción unilateral excesiva del K, como ión hidrófilo, puede verse atenuada por acción del Ca (3); además, el Ca reduce grandemente la lixiviación del K (4, 35).

Las leguminosas necesitan grandes cantidades de Ca, ya que pueden extraer de 3 a 8 veces más que otros cultivos (20, 32, 45). A diferencia del K, el Ca es relativamente inmóvil en la planta, sin embargo, es necesario para el crecimiento de los meristemas apicales (4, 27, 42). La concentración de Ca en las hojas está determinada, no sólo por el nivel de calcio en el substrato, sino que el equilibrio catiónico juega un papel principal, especialmente las interacciones que se produce entre Ca, Mg y K (33, 38).

Entre los varios agentes que afectan la superficie de la célula, el Ca es el más común y altera las propiedades de las barreras celulares de una forma particular. Inhibe la penetración por los poros de cationes altamente hidratados como Li, Na y probablemente H, pero estimula la penetración de K, Rb y Cs. Esto induce a cierta selectividad y a una eficiencia y ecología importantes en la prevención de efectos negativos de altas concentraciones de H, Na y Li en la porción media de los vasos en desarrollo (43). Por tanto, el principal papel del Ca es que elimina los efectos tóxicos de otros elementos (44), cantidades de Ca en niveles cercanos a los de micronutrientos son necesarias y suficientes para los microorganismos. Cuando el Ca es deficiente en el suelo, no se descarta la posibilidad de toxicidad de iones como el Zn y Mn para los microorganismos (34, 44).

2.1.3. Magnesio

El Mg constituye parte de la molécula de clorofila, las semillas contienen una buena parte de él (27).

Si el calcio desempeña cierto papel en el metabolismo del fosfato e indirectamente en el mecanismo respiratorio, también el Mg en las plantas puede servir como transportador de P, llevando a este elemento a los puntos donde es sintetizado en compuestos orgánicos (17, 28). Si el Mg se encuentra en concentración mayor que el Ca, el P tomado por las plantas es muy bajo (17, 22). Los iones de magnesio parecen ser activadores específicos de ciertas enzimas incluyendo algunas transforilasas, deshidrogenasas y carboxilasas (32).

Un exceso de Mg en soluciones nutritivas puede producir efectos tóxicos, lo cual es contrarrestable por aplicación de calcio (27). La relación Ca:Mg, para obtener una buena producción debe ser siempre mayor que 1 (22); aunque esta relación es discutible en el trópico húmedo para algunos cultivos, donde la relación invertida Ca:Mg, no afecta la producción.* El Mg en altas dosis disminuye la producción, pero el rendimiento se ve favorecido con adiciones de K, P y Ca en relación al Mg (25).

Bajos niveles de Mg pueden aumentar la concentración de azúcares debido a que el Mg es esencial para la glicólisis (15) pero resulta perjudicial para la absorción de P, K y Ca.

* Blasco L., M. Información personal.

2.2. Efectos de interacción

La interacción K:Ca tiene importancia, pues la aplicación de ambos favorecen el desarrollo de raíces y hojas (35). La relación recíproca del K:Ca en las plantas parece ser controlada primeramente por el suministro de K-disponible en el substrato, aunque no hay evidencia de una influencia depresiva del Ca sobre la absorción de K, hubo efecto marcado del K en reducir la absorción de Ca en las plantas (46).

Berry y Ulrich (5) indican que una deficiencia inducida de calcio ha sido atribuida a altas concentraciones de Na, K o Mg en el cultivo. Geraldson, citado por los mismos autores, indica que altas concentraciones de sales, por sí, inhiben la absorción de Ca. La posibilidad de interacciones con temperatura, luz, aereación, humedad (4) y otros nutrimentos también han sido sugeridos (5).

2.3. Fertilización y encalado

Jansson y Torstensson (20) señalan que la fertilización potásica y la aplicación de calcio ejercieron influencias favorables en el rendimiento de trigo y de los guisantes. La calidad de los granos se ve mejorada con la aplicación de calcio y de potasio.

Pearson (31) indica que la eficiencia de la utilización del potasio por los cultivos es mejorada indirectamente por la acción del Ca.

La fertilización magnésica ayuda a la formación de carotenoides y otros pigmentos. Por ejemplo, la protoporfirina IX, precursora de la clorofila y la presencia del Mg en el suelo favorecen la asimila-

ción de los abonos fosfatados y se pone en contacto con ellos para la formación de la fitina (34).

2.4. Antagonismo

Kabu y Toop (21) han observado que altos substratos potásicos (12 me/litro) reducen significativamente la toma de Mg por las plantas de substratos magnésicos (3 me/litro). Bajo este inducido "antagonismo" potásico, el contenido de Mg requerido por las hojas está a expensas del tallo. Grandes cantidades de Mg fueron requeridas para prevenir deficiencias bajo condiciones de alto substrato potásico. Los altos niveles de K hacen que se presente deficiencia de Mg a pesar de que la cantidad existente es considerada adecuada (21).

El encalado y los fertilizantes potásicos excesivos provocan frecuentemente carencia de Mg debido al antagonismo iónico (46).

Welte y Werner (45) observan, con respecto a la fertilización de K y Mg, que las condiciones normales de nutrimentos en la relación K:Mg en las plantas generalmente varía entre 7 - 10. El K induce sín tomas de deficiencia magnésica si la relación K:Mg excede de 15 a 20. Pero esta crítica relación varía de acuerdo con las diferentes especies de plantas. Como el ión potasio es más favorablemente absorbido por la planta que el ión Mg, y como el Mg tomado es más o menos inhibido por otros cationes, la relación de potasio disponible a Mg en el suelo puede ser menor que la relación K:Mg en la planta. En experimentos en macetas hechos con la relación K:Mg cerca de 4:1 en mezcla fertilizante, se encontró que esta relación fue suficiente para co-

rregir la deficiencia de Mg, así como para compensar el efecto antagónico del K.

Jansson y Torstensson (20), al explicar acerca del antagonismo K-Ca, indican que a pesar de que existe el antagonismo, en los guisantes, grandes consumidores de Ca, este nutrimento desempeña un papel predominante; el encalado ejerció una gran influencia como abastecedor de Ca. Los guisantes (y casi todas las leguminosas) requieren terrenos ricos en Ca y el K no puede ejercer toda su influencia sino en suelos de esa naturaleza. Por tanto las necesidades de K de estos cultivos son idénticas a las de variedades exigentes.

Aplicación desbalanceada al suelo de uno de los tres nutrimentos (K, Ca, Mg) producen efectos represivos en la absorción de los otros dos (13).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el IICA-CTEI, bajo dos condiciones: invernadero y campo. En el invernadero la temperatura media fue de 23,8°C, temperatura máxima de 32°C, temperatura mínima de 17°C y humedad relativa media de 77,9%, durante el período experimental.

3.2. Suelos

Los suelos utilizados en esta investigación pertenecen a la serie Instituto Arcilloso, fase pedregosa de acuerdo con la descripción de Aguirre (1), el cual que fue sometido a los siguientes análisis preliminares de laboratorio:

- a) Textura: Método de Bouyoucus (7)
- b) pH, en suspensión acuosa en relación 1:2,5, utilizando un potenciómetro Beckman de electrodo de vidrio modelo 96.
- c) Materia orgánica: Método de Walkley y Black, indicado por Sáiz del Río y Bornemisza (36).
- d) Nitrógeno total: Método micro-Kjeldahl de Bremmer (10) modificado por Díaz-Romeu. La digestión y destilación se hicieron en aparatos diseñados por Müller (29).
- e) Capacidad de intercambio de cationes (CIC): Método de Bower et al. (8) modificado por Díaz-Romeu y Balerdi (12). Bases cambiables (K, Ca, Mg) por el método de Bower et al modificado

por Díaz-Romeu y Balerdi (12) utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 303.

- f) Fósforo disponible: Método Bray 1 indicado por Sáiz del Río y Bornemisza (36).
- g) Fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, hierro y molibdeno total: Se siguió la técnica descrita por Ulrich. Del filtrado obtenido se determinó fósforo total por el método del cloromolibdico y los otros por espectrofotometría de absorción atómica.

3.3. Fertilizantes

Como fuentes de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se utilizaron el ClK con 60-62% de K_2O (49,8% - 51,5% K), $CaSO_4$ con 29,4% de Ca y MgO con 60,3% de Mg.

3.4. Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño de superficie de respuesta, que responde al arreglo de composición central, $2^3 + 3 \times 2 + 6$ con repetición del punto central. La representación geométrica está indicada en la Fig. 1.

<u>Factores</u>		30	60	90	120	150	<u>Fuentes de estudio</u>
Potasio	dosis Kg/Ha	30	60	90	120	150	K_2O
	código	-2	-1	0	1	2	
Calcio	dosis Kg/Ha	10	20	30	40	50	Ca
	código	-2	-1	0	1	2	
Magnesio		2	4	6	8	10	Mg
		-2	-1	0	1	2	

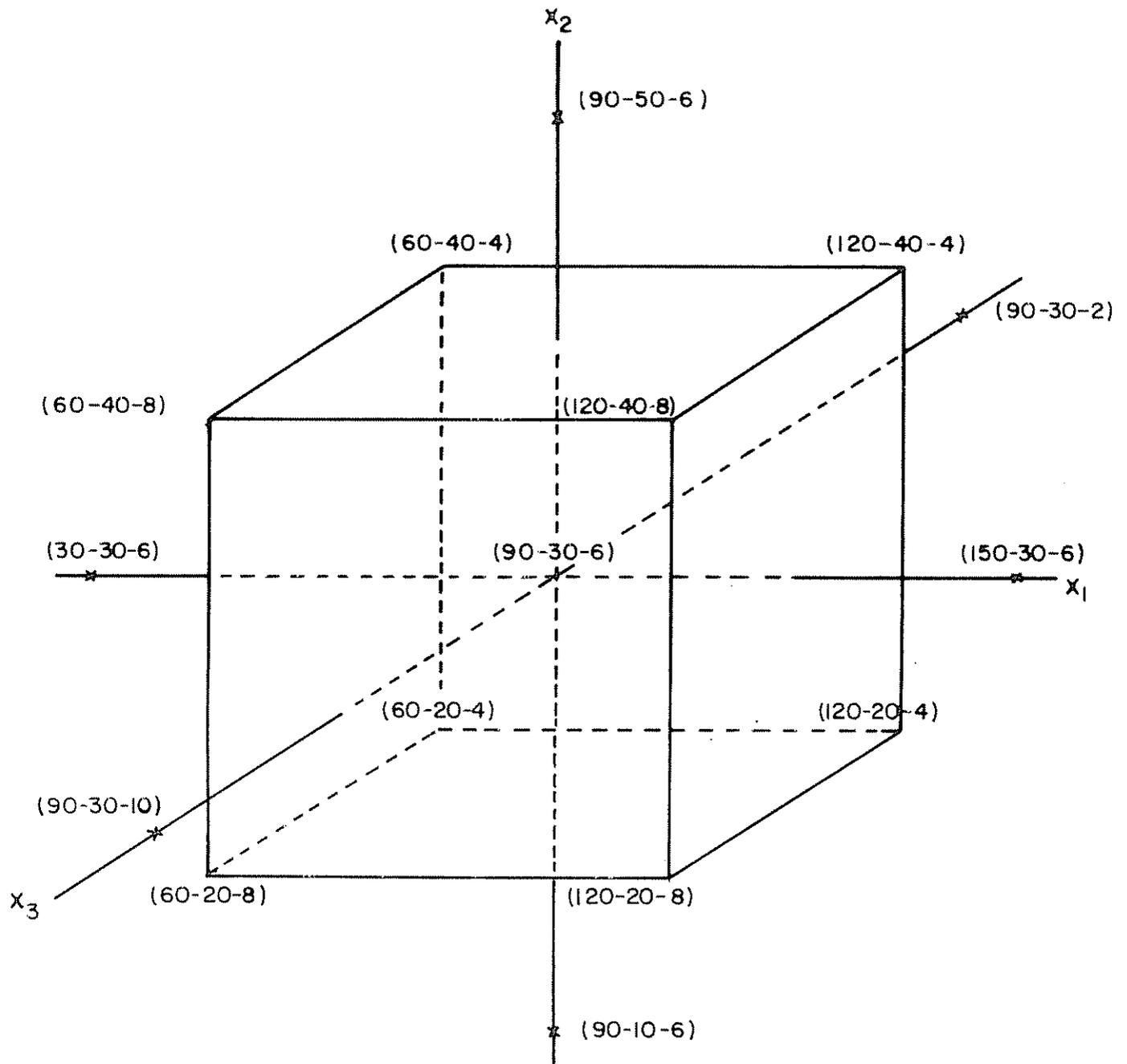


Fig.1 Representación espacial del Diseño de composición central

3.4.1. Aplicación de nutrimentos por niveles codificados

La cantidad de nutrimentos aplicados, correspondientes a los niveles codificados se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Nutrimentos aplicados por niveles codificados.

Nivel co dificado	CLK		CaSO ₄		MgO	
	mg/maceta	Kg/Ha	mg/maceta	Kg/Ha	mg/maceta	Kg/Ha
-2	100,89	49,2	71,97	33,97	7,06	3,32
-1	201,78	98,4	143,94	61,94	14,12	6,64
0	302,67	147,6	215,92	101,91	21,18	9,96
1	403,56	196,8	297,89	135,88	28,24	13,28
2	504,45	246,0	359,86	169,85	35,31	16,60

La aplicación de los tratamientos se realizó en forma irrestrictamente al azar.

3.5. Preparación del experimento

Las muestras de suelo, traídas del campo, fueron secadas al aire, tamizadas en malla de 5 mm y luego homogenizadas.

Se utilizaron macetas metálicas de aproximadamente 3,5 Kg de capacidad, en el fondo de cada maceta se colocó, aproximadamente, 370 g de grava, previamente lavada, la cual fue tamizada en dos tipos de malla, comprendida entre 7 y 12 mm; sobre esta grava se depositó 3 Kg de suelo tamizado.

3.5.1. Aplicación de los tratamientos

Identificadas las macetas, se procedió a aplicar los fertilizantes en forma disuelta. Se efectuó una aplicación básica de todos los otrosnutrimentos como N, P, Mo, B, Zn, Fe, Mn, Cu, S y Na en las siguientes cantidades y sus respectivas fuentes:

		Kg/Ha
NH_4NO_3	255,53 mg/maceta	181,50
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	599,6 "	283,0
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	8,62	4,07
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	23,42 "	11,05
ZnO	42,37 "	20,00
$\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	179,05 "	84,5
MnSO_4	87,24 "	41,7
$(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Cu} \cdot \text{H}_2\text{O}$	21,27 "	10,04

Al igual que los nutrimentos en estudio, los señalados anteriormente, fueron diluidos y su aplicación se hizo, tanto en el recipiente donde se colocó la maceta como en la parte superior de esta última. Siguiendo la misma técnica se adicionó agua procurando que tuviera humedad suficiente para efectuar la siembra.

3.5.2. Establecimiento del experimento

Con la ayuda de un disco circular de cartón del diámetro de la maceta, se sembraron en cada una de ellas 8 semillas de frijol en forma equidistante. Se utilizaron dos variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) denominadas Turrialba 1 y 51135, cuyas características

principales son: erectas, semiarbusivas y granos de color negro. La siembra se efectuó el 1 de diciembre de 1971.

3.5.3. Desarrollo del experimento

A los cinco días de realizada la siembra, comenzó la germinación de las plántulas; a los diez días subsiguientes se efectuó un raleo, dejando tres plantas por maceta, teniendo cuidado de seleccionar las que ofrecían los mejores aspectos de supervivencia y además que tuvieran uniformidad en cada maceta. A los 30 días de la siembra se efectuó otro raleo, dejando únicamente dos plantas.

Los tensiómetros que fueron colocados en cuatro macetas, que también llevaban plantas, daban una mejor pauta para aplicar el riego. Desde la brotación se procuró mantener el ensayo en óptimas condiciones de humedad; el riego se hizo por absorción capilar.

3.5.4. Control de insectos y de enfermedades

Para que el experimento de invernadero tuviera las mismas condiciones que en el campo, el suelo no fue desinfectado ni fumigado. Sin embargo, para controlar el ataque de enfermedades y de insectos, se utilizaron insecticidas y fungicidas. Las aplicaciones fueron en las siguientes formas.

Diciembre 19: Malathion 5 cc/galón de agua

Diciembre 27: Benlate 7 g/galón de agua

Enero 17 : Benlate 7 g + Malathion 5 cc/galón de agua

Enero 29 : Benlate 7 g + Folidol C. 2 cc/galón de agua

Febrero 6 : Benlate 7 g + Folidol C. 2 cc/galón de agua.

Con estos tratamientos se mantuvo el experimento en buenas condiciones fitosanitarias, aunque el 15 de febrero el frijol comenzó a ser atacado por la mancha angular de la hoja (Isariopsis griseola).

3.5.5. Toma de datos

Una vez terminado el ciclo biológico del frijol, a los 90-92 días, se procedió a cosechar la semilla en su vaina. La parte aérea de las dos plantas de cada maceta, se cortaron a 1 cm del nivel del suelo, se lavaron y se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas, fueron llevadas a estufa de aire forzado, por 48 horas a 75°C. Se determinó la producción de semilla, parte aérea y porción radical de cada maceta; para esto último se utilizó un tamiz de 2 mm, donde se vació el contenido de cada maceta y desde donde se iban cogiendo las partes más visibles de la porción radical. El proceso de secado fue similar al de la porción aérea.

3.6. Siembra y fertilización en el experimento de campo

La siembra se realizó el 23 de diciembre de 1971. Se depositó una semilla cada 10 cm en surcos de 6 m de largo. El área de las parcelas utilizadas, es la recomendada para los ensayos de frijol, cuyas características son 4 surcos distanciados entre sí a 50 cm, dando un total de 2 m de ancho y su largo es de 6 m. El área total del experimento fue de 480 m².

La fertilización se hizo en el momento de la siembra. En ensayo de campo, se substituyó el MgO del invernadero por el MgSO₄, debido a

la falta del primero, En el Cuadro 2, se muestran las cantidades de fertilizantes utilizados.

Cuadro 2. Nutrimientos aplicados por niveles codificados.

Nivel co dificado	ClK		CaSO ₄		MgSO ₄	
	g/parcela	Kg/Ha	g/parcela	Kg/Ha	g/parcela	Kg/Ha
-2	59,02	49,2	40,76	33,97	14,12	11,77
-1	118,04	98,4	81,53	67,94	28,24	23,54
0	177,06	147,6	122,29	101,91	42,36	35,31
1	236,08	196,8	163,06	135,88	56,47	47,08
2	295,10	246,0	203,82	169,85	70,59	58,85

La distribución de las parcelas se realizó tomando en cuenta las variedades y se hizo irrestrictamente al azar en bloques con 10 parcelas cada uno. Se realizó la fertilización del campo, además, con los nutrimentos que se señalan para el experimento de invernadero a fin de mantener uniformidad en cuanto a aplicación de fertilizantes y puedan ser comparados los resultados que se obtengan en el campo y en el invernadero.

Como fuentes de N, P, Mo, B, Zn, Fe, Mn, Cu, S se usaron:

		Kg/Ha
NH_4NO_3	145,68 g/parcela	181,60
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	339,60 "	283,00
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	4,88 "	4,07
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	13,26 "	11,05
ZnO	24,00 "	20,00
$\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	100,00 "	84,50
MnSO_4	50,04 "	41,75
$(\text{CH}_3 \cdot \text{COO})_2\text{Cu} \cdot \text{H}_2\text{O}$	12,05 "	10,04

La aplicación de los fertilizantes se hizo en el fondo del surco, luego fue cubierto con suelo y se realizó la siembra. El Zn, Mn y Cu, se aplicaron en forma líquida por medio de bombas de mochila.

3.7. Desarrollo del experimento

Al siguiente día de realizada la siembra, se hizo una aplicación de una mezcla de herbicidas preemergentes, compuesta por herbón y afalón, a razón de 200 ml y 50 g/bomba de 16 litros de **capacidad**.

3.7.1. Control de malas hierbas, insectos y enfermedades

Para realizar el control de malas hierbas, insectos y enfermedades, fue necesario el uso de un herbicida postemergente, de insecticidas y de fungicidas.

3.7.2. Cosecha

Terminado el ciclo de este cultivo fue recolectado. El 20 de

marzo se cosechó la variedad 51135 que maduró más rápido y el 27 de marzo se cosechó la variedad Turrialba 1.

La cosecha se efectuó a mano y de cada parcela se cosecharon los dos surcos centrales eliminando dentro de ellos bordes de 50 cm, dando un área útil de 5 m²/parcela.

3.8. Estandarización del rendimiento

La semilla recolectada en el campo, para ser comparable entre sí, se estandarizó a un contenido de humedad del 13% mediante la siguiente fórmula:

$$PF = PI \frac{(100 - HI)}{(100 - HF)}$$

donde:

PF = peso final

PI = peso inicial (peso de semilla luego de la cosecha)

HI = humedad inicial

HF = humedad final (ó de estandarización del rendimiento)

100 = constante.

3.9. Análisis de los resultados

El análisis estadístico efectuado, corresponde al análisis estandar de una superficie de respuesta.

Para estimar el rendimiento óptimo, se analizaron las funciones de producción y de costo $\beta = Y P_Y \equiv C$

Se probó la función polinomial de tipo cuadrático:

$$Y_i = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i X_i + \sum_{i=1}^3 b_{ii} X_i^2 + \sum_{i,j} b_{ij} X_i X_j \quad (30)$$

Se calculó la productividad marginal debida a los fertilizantes (PM_F), diferenciando la función de producción:

$$PM_F = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \quad (30, 33)$$

4. RESULTADOS

4.1. Características físicas y químicas del suelo

El suelo estudiado pertenece a la categoría franco-arcillosa, con una densidad aparente de 0,99, valor adecuado que indica ausencia de impedimento mecánico (compactación) a la penetración de las raíces de las plantas.

El pH del suelo es igualmente adecuado, con valor de 5,7, aunque en el aspecto nutricional pueden observarse ciertos problemas.

Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total (5,9 y 0,3 respectivamente) de acuerdo con los patrones de comparación, varían de medio a alto, estando la relación C/N (10,9) cercano al nivel alto. La concentración de fósforo disponible, es muy baja lo cual es de esperar en este tipo de suelos.

Las mayores variaciones se encuentran en el contenido de bases intercambiables, donde el potasio se encuentra de medio a alto, mientras que el calcio y el magnesio, principalmente el primero, son extremadamente deficientes; consecuentemente las relaciones entre estos tres cationes muestran serios desbalances, especialmente donde participa el potasio. La relación Ca/Mg, a pesar de que los valores absolutos de ambos cationes son muy bajos, están próximos al nivel adecuado de 4. Por consiguiente, basándose en estos análisis de suelos, es posible anticipar un ensayo efecto detrimental del K, hacia el Ca y Mg antes que entre Ca y Mg.

4.2. Efecto de tratamientos sobre la producción de frijol en invernadero y campo

Los datos de producción que se muestran en el Cuadro 1⁴ del Apéndice y cuya representación gráfica se muestra en las Figuras 2 y 3, se transformaron a tasas de producción por unidad de insumo aplicado; es decir, se ajustó una función de producción para cada variable de respuesta. Los coeficientes de regresión múltiple representan la magnitud de los efectos correspondientes a cada variable. En el Cuadro 3 se indican dichos coeficientes.

Cuadro 3. Coeficientes de regresión múltiple.

Relación	Coeficientes de regresión	Variedades			
		Invernadero		Campo	
		Turrialba 1	51135	Turrialba 1	51135
$\frac{\text{Kg prod.}}{\text{Kg K}_2\text{O}}$	b_1	-0,697702	-0,750011	-10,722354	7,608795
$\frac{\text{Kg prod.}}{\text{Kg Ca}}$	b_2	-25,104717	-0,450201	24,643943	1,900059
$\frac{\text{Kg prod.}}{\text{Kg Mg}}$	b_3	20,599258	-2,496961	78,440399	373,437256
	b_{11}	-0,035834	0,007525	0,012177	-0,118992
	b_{22}	0,191245	-0,073524	-0,225946	-0,572762
	b_{33}	-6,000219	-0,150584	-2,076796	-21,635105
	b_{12}	0,176245	0,055831	0,100738	0,519068
	b_{13}	0,610430	-0,137555	0,393977	-0,290113
	b_{23}	0,181113	0,374881	-3,027703	-3,129496
	b_0	1045,386	650,476	1941,605	820,893
	R^2	0,746	0,480	0,431	0,640

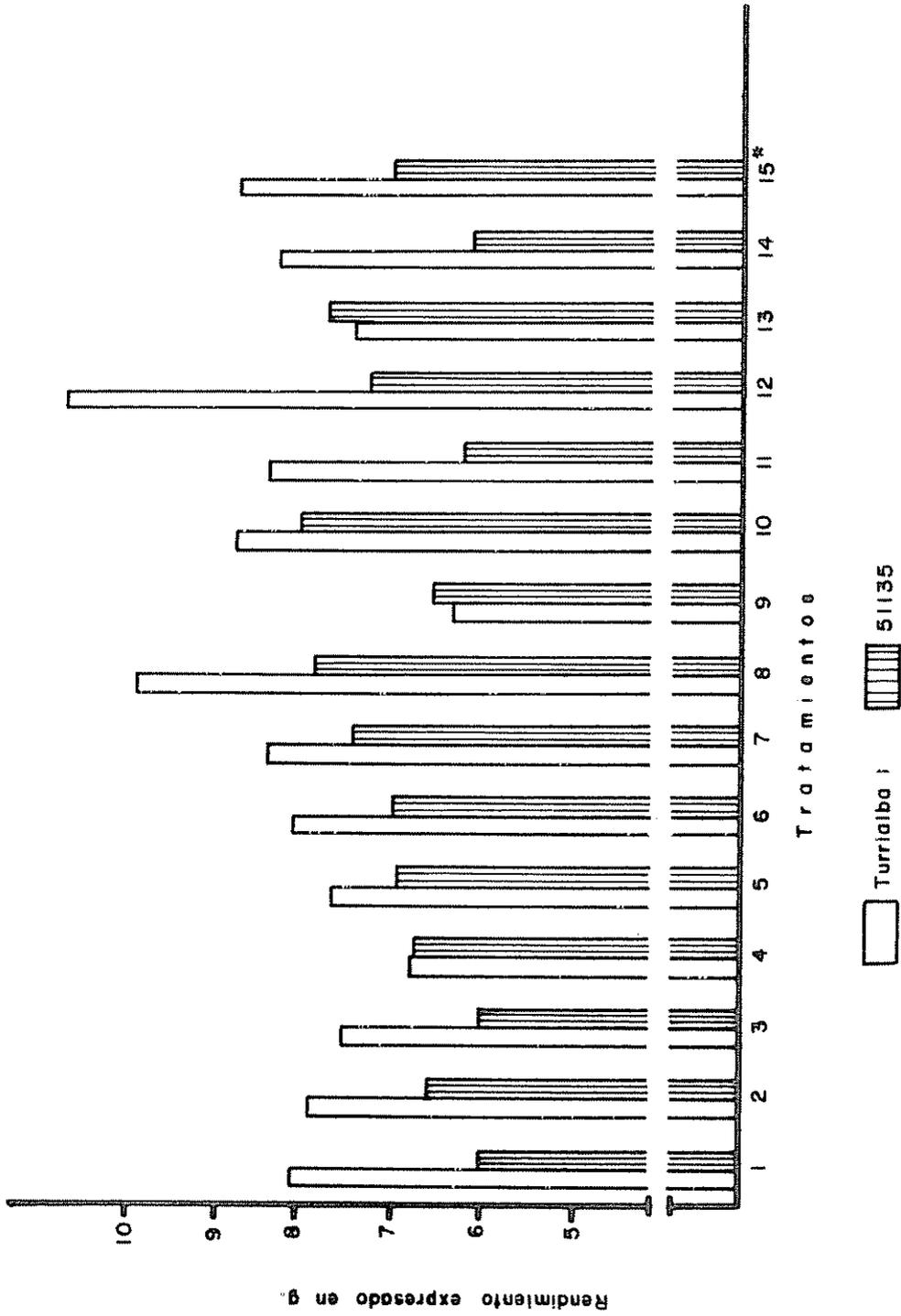


Fig. 2 Respuesta de las variedades de frijol a la aplicación de fertilizantes.
Experimento de invernadero

*Promedio de seis macetas

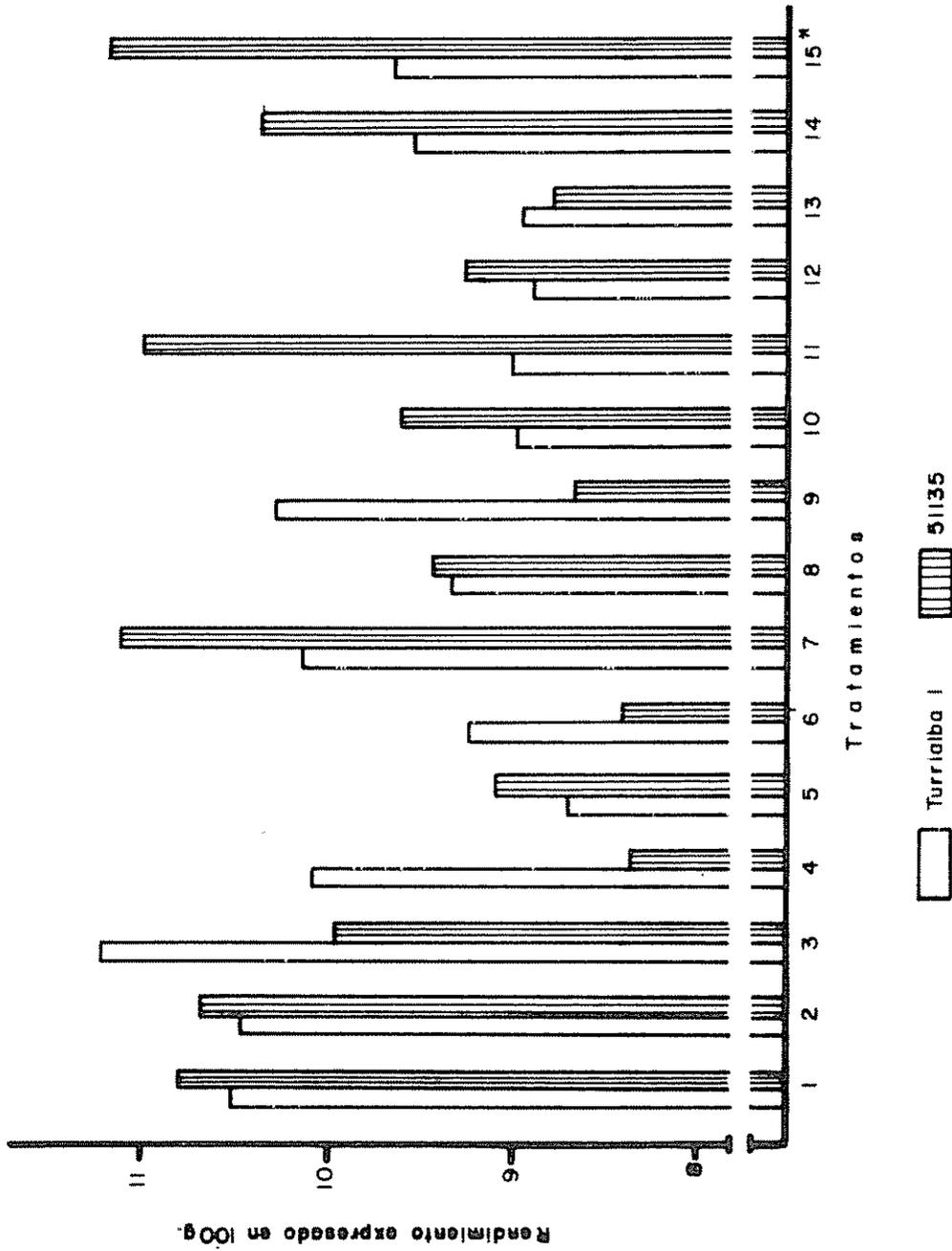


Fig. 3 Respuesta de las variedades de frijol a la aplicación de fertilizantes.
Experimento de campo
* Promedio de seis parcelas

Ecuación de regresión múltiple:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

Según los coeficientes de regresión del Cuadro 3 en el ensayo de invernadero, el efecto de los nutrientes, potasio, calcio y magnesio mostró ser detrimental, salvo el magnesio que en la variedad Turrialba 1 tuvo un ligero efecto positivo. Naturalmente, con base en el análisis de los datos de invernadero, no se pueden hacer afirmaciones definitivas, pues, posiblemente, con la homogenización del suelo y la uniformidad de los factores del medio ambiente, se alteran un tanto las condiciones normales de respuesta.

Es interesante anotar la respuesta diferencial que existe entre ambas variedades. La variedad Turrialba 1, produjo un rendimiento mayor que la variedad 51135. Por otro lado, el magnesio parece ser el elemento de acción positiva en la variedad Turrialba 1, no así en la variedad 51135. Nótese que en la variedad Turrialba 1 la producción aumentó en 21 Kg por Kg de magnesio aplicado, mientras que en la variedad 51135 la producción declina en aproximadamente 2,5 Kg por cada Kg de magnesio incorporado. En general los efectos de tratamientos en el invernadero no fueron detectados como relevantes.

En el ensayo de campo el efecto de los nutrientes también parece ser diferente. Así, en la variedad Turrialba 1, la aplicación del potasio tiene un efecto negativo sobre la producción, pues, un Kg de potasio aplicado disminuye la producción en 10,7 Kg. El calcio y el magnesio tienen efectos positivos y 1 Kg de calcio aplicado aumenta

la producción en 24,6 Kg, mientras que 1 Kg de magnesio añadido incrementa la producción en 78,4 Kg. En la variedad 51135 el efecto de los nutrimentos sobre la producción es positiva. Así, la aplicación de 1 Kg de potasio, 1 Kg de calcio y 1 Kg de magnesio, eleva la producción en 7,6 Kg, 1,9 Kg y 373,4 Kg respectivamente. Se nota una gran diferencia del efecto del magnesio sobre la producción.

4.3. Determinación de niveles óptimos de fertilización

Con base en las ecuaciones de respuesta, generadas por los coeficientes de regresión presentados en el Cuadro 3 se estimaron las dosis que producen máximos físicos y económicos de la producción. Ambas estimaciones estuvieron, entre sí, muy próximas, por esta razón y por ser de mayor interés se presentan las dosis económicamente recomendables. Donde la función no mostró ni máximos ni mínimos, se estimaron las dosis económicas en forma condicional. Es decir, se fija el elemento detrimental a un nivel mínimo y se optimizan los otros dos. Los resultados se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Niveles óptimos de fertilización.

Nutrimento	Variedades			
	Invernadero		Campo	
	Turrialba	51135	Turrialba 1	51135
Potasio (K ₂ O)	0	0	0	120*
Calcio (Ca)	0	0	18	42
Magnesio (Mg)	2	0	5	5

(* Kg/Ha)

A juzgar por el ensayo de invernadero, en las dos variedades de frijol, se puede apreciar que la demanda de potasio, calcio y magnesio, es cero. Es decir que en invernadero, bajo las condiciones que se llevó a cabo el experimento, no sería necesaria la aplicación de ninguno de los tres nutrimentos para obtener la mayor producción.

Sin embargo, los resultados de campo indican que la demanda de los mismos nutrimentos es muy diferente. Se puede observar que los requerimientos de potasio en las dos variedades, para alcanzar la máxima producción, es diferente; la variedad Turrialba 1 no requiere adición de este nutrimento, mientras que la variedad 51135 requiere 120 Kg/Ha de K_2O (99,6 Kg/Ha de K). Las necesidades de calcio y magnesio, en las dos variedades, pueden ser consideradas como similares, aún cuando se detecta que el nivel óptimo del calcio para la variedad 51135 es mayor para la variedad Turrialba 1.

4.4. Efecto de los fertilizantes sobre otros componentes del rendimiento

Tomando en consideración, los resultados obtenidos en el invernadero y mostrados en los Cuadros 11, 12, 13 y 14 del Apéndice, se determinó el efecto de los fertilizantes sobre otros componentes del rendimiento como son: promedio de vainas por planta, número de semillas por vaina, peso de semilla y peso de vaina. Los resultados obtenidos se muestran en los Cuadros 5, 6 y 7.

Cuadro 5. Coeficientes de regresión múltiple para otras variables de respuesta.

Coeficientes de regresión	Promedio de vainas por planta		Número de semillas por vaina		Peso de semilla		Peso de vaina	
	Turrialba 1	51135	Turrialba 1	51135	Turrialba 1	51135	Turrialba 1	51135
b_1	-0,014772	-0,013631	0,012149	-0,019635	0,00197	-0,001370	0,004483	-0,008439
b_2	-0,165059	-0,234634	-0,042679	0,128707	0,002816	0,002525	0,002336	0,063165
b_3	0,184676	-0,454440	-0,214653	0,414835	0,006707	-0,020124	0,002249	0,100149
b_{11}	-0,000334	-0,000202	0,000145	0,000342	0,000001	0,000004	0,000032	0,000109
b_{22}	0,001988	0,000056	-0,000201	0,001193	-0,000015	-0,000082	-0,000138	-0,000142
b_{33}	-0,059661	0,001420	0,028097	-0,008295	0,000136	0,001684	0,005599	0,000710
b_{12}	0,001249	0,002083	-0,000325	-0,001454	-0,000007	0,000004	-0,000092	-0,000438
b_{13}	0,000333	-0,000000	-0,005041	0,000229	-0,000035	-0,000010	-0,001358	0,0
b_{23}	-0,006250	0,012497	0,011375	-0,011061	-0,000168	0,000156	0,001849	-0,003162
b_0	6,204370	8,163870	4,99405	0,77618	0,15263	0,41374	0,72711	0,22128
R^2	0,810	0,665	0,501	0,475	0,134	0,607	0,481	0,668

Según datos del Cuadro 5, los coeficientes de regresión múltiple del promedio de vainas por planta, indican que en general, el efecto de la aplicación de los fertilizantes sobre tal promedio es negativo; únicamente el magnesio en la variedad Turrialba 1 tiene efectos ligeramente positivos; este mismo nutrimento en la variedad 51135 tiene el mayor peso sobre la disminución de vainas por planta. El calcio y el potasio, en ambas variedades hacen disminuir el promedio de vainas por planta en una forma muy similar.

Los coeficientes de regresión del número de semillas por vaina, señalan que en la variedad Turrialba 1, la aplicación de potasio tiene efectos positivos ya que produce un ligero aumento sobre el número de semillas por vaina; el calcio y el magnesio tienen efectos perjudiciales sobre el número de semillas por vaina, siendo el magnesio el elemento que produce una mayor disminución. En la variedad 51135, la aplicación de los nutrimentos tiene efectos totalmente opuestos a los de la variedad Turrialba 1, así, el potasio disminuye el número de semillas por vaina, mientras que el calcio y el magnesio aumentan el número de semillas, siendo el magnesio el nutrimento de mayor peso en el referido aumento.

Los coeficientes de regresión del peso de semilla, indican que, la variedad Turrialba 1 se ve favorecida, por la aplicación de los tres nutrimentos. El orden de importancia a la contribución del aumento de peso de semilla es magnesio, calcio y potasio. En la variedad 51135, la adición de magnesio y potasio tiene efectos negativos y su aplicación disminuye el peso de la semilla; el calcio es el nutrimento que juega un papel positivo y tiende a aumentar el peso de la

semilla, pero esta contribución positiva es muy inferior al efecto negativo del magnesio.

Los coeficientes de regresión del peso de vaina, indican que, en la variedad Turrialba 1, la aplicación de los nutrimentos tiene efecto positivo sobre el peso de la vaina, aunque la magnitud de tal efecto es pequeña. En la variedad 51135, la adición de potasio, tiene efectos negativos sobre el peso de la vaina; en cambio, las aplicaciones de magnesio y calcio tienden a favorecer un mayor peso de la vaina. Los valores del magnesio y calcio que incrementan el peso de la vaina, son muy superiores al valor del potasio que tiende a disminuir tal peso.

Cuadro 6. Coeficientes de regresión múltiple para porción aérea (materia seca/maceta).

Coeficiente	Variedades	
	Turrialba 1	51135
b_1	0,031314	0,011359
b_2	0,238810	0,294825
b_3	1,282882	1,148541
b_{11}	0,000106	0,000061
b_{22}	-0,002088	-0,003704
b_{33}	-0,049717	-0,045740
b_{12}	-0,000916	-0,000645
b_{13}	-0,005083	-0,004354
b_{23}	-0,004874	-0,002186
b_0	-3,96580	-3,36224
R^2	0,679	0,594

Es interesante observar que la porción aérea, se ve favorecida por la aplicación de magnesio, calcio y potasio y las dos variedades presentan sus tendencias en forma muy semejante. El magnesio tiene el mayor peso sobre la formación aérea de la planta, seguido del calcio y del potasio.

Cuadro 7. Coeficientes de regresión múltiple para porción radical (materia seca/maceta).

Coeficiente	Variedades	
	Turrialba 1	51135
b_1	-0,023814	0,076886
b_2	0,084548	0,266908
b_3	1,103519	1,521487
b_{11}	0,00351	-0,000330
b_{22}	-0,000034	-0,003070
b_{33}	0,005398	-0,064575
b_{12}	0,000191	-0,000229
b_{13}	-0,009334	-0,003062
b_{23}	-0,013752	-0,012437
b_0	0,47166	-8,00736
R^2	0,495	0,670

La porción radical se ve afectada, en la variedad Turrialba 1 con la aplicación de potasio, el cual, ejerce una acción negativa; el

magnesio y el calcio tienen efecto directo sobre el aumento de raíces, siendo el magnesio muy superior al calcio.

En la variedad 51135, la porción radical es influenciada positivamente con la adición de magnesio, calcio y potasio y es en este orden de dominancia, la influencia que recibe de los nutrimentos.

4.5. Asociación entre componentes del rendimiento

El Cuadro 8 contiene los datos que muestran las asociaciones más importantes entre los diferentes componentes del rendimiento.

La matriz de correlación (Cuadro 8) señala como más importantes las siguientes asociaciones, para los dos variedades:

Y_1, Y_2 indica que, a mayor número de vainas por planta tiende a ser menor el número de semillas dentro de cada vaina. Y_1, Y_4 , es decir que a mayor número de vainas por planta existe menor peso de semillas. Y_1, Y_5 , que indica una relación directa entre el número de vainas y la producción, es decir a mayor número de vainas, mayor producción. Y_2, Y_4 señala que a mayor número de semillas por vaina, mayor es el peso de la vaina. Y_5, Y_6 indica una asociación inversa entre la producción de semilla y la producción de materia seca de la porción aérea, que se interpreta como, a mayor producción de semilla existe disminución de la porción aérea o viceversa.

En la variedad Turrialba 1, existen otras correlaciones importantes como Y_5, Y_7 que indica que a mayor producción de semilla, la porción radical tiende a disminuir fuertemente. Y_6, Y_7 , muestra que aumentando la producción de porción aérea se aumenta la de porción radical o viceversa.

Cuadro 8. Matriz de correlación dentro y entre variedades.

	Variedad Turrialba 1							Variedad Turrialba 1 vs. Variedad 51135						
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
Y ₁	1,000	-0,666	-0,472	-0,771	0,839	-0,440	-0,338	0,370	-0,138	-0,494	-0,393	0,215	-0,454	-0,243
Y ₂		1,000	0,035	0,907	-0,251	0,343	-0,001	-0,387	0,380	0,275	0,489	-0,024	0,182	0,106
Y ₃			1,000	0,420	-0,317	0,099	-0,013	0,115	-0,194	0,174	-0,172	-0,056	0,166	0,337
Y ₄				1,000	0,320	0,335	-0,029	-0,322	0,213	0,340	0,371	-0,081	0,235	0,245
Y ₅					1,000	-0,386	-0,556	0,316	-0,052	-0,442	-0,303	0,281	-0,507	-0,136
Y ₆						1,000	0,528	-0,291	0,401	0,156	0,530	0,152	0,514	0,444
Y ₇							1,000	0,025	0,214	-0,101	0,201	0,124	0,240	-0,005
Y ₁								1,000	-0,597	-0,306	-0,842	0,589	-0,348	-0,210
Y ₂									1,000	-0,311	0,807	0,129	-0,077	0,028
Y ₃										1,000	0,249	-0,375	0,587	-0,014
Y ₄											1,000	-0,151	0,295	0,043
Y ₅												1,000	-0,457	-0,221
Y ₆													1,000	0,371
Y ₇														1,000

donde: Y₁ = promedio de vainas por planta

Y₂ = número de semillas por vaina

Y₃ = peso de semilla

Y₄ = peso de vaina

Y₅ = producción de semilla por maceta

Y₆ = porción aérea (materia seca/maceta)

Y₇ = porción radical (materia seca/maceta)

En la variedad 51135, se observa un fuerte grado de asociación entre Y_3 , Y_6 , es decir que a mayor peso de porción aérea se espera un mayor peso de semilla.

Al observar las correlaciones entre variedades y dentro de ellas entre componentes del rendimiento, pese a que las asociaciones entre dichos componentes en cada variedad fueron idénticas, se detecta que no existen asociaciones importantes entre variedades y sus componentes del rendimiento. Esto puede deberse al carácter diferencial de cada variedad y al grado de respuesta que en cada variedad tuvieron los componentes del rendimiento.

4.6. Asociación entre producción de semilla en invernadero y campo

Para detectar el grado de asociación entre producción de semilla en las dos variedades, tanto en invernadero y campo, se efectuó análisis de correlación con los datos de producción. Este análisis en forma de matriz de correlación, se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Matriz de correlación entre producción de semilla.

		Variedades			
		Invernadero		Campo	
		Turrialba 1	51135	Turrialba 1	51135
Invernadero	Turrialba 1	1,000	0,281	-0,262	0,210
	51135		1,000	0,538	0,164
Campo	Turrialba 1			1,000	-0,093
	51135				1,000

Es interesante anotar que no existe asociación, dentro de variedades, entre los resultados de invernadero y campo. Las condiciones intrínsecas de cada lugar de experimentación, son las que posiblemente determinan estas respuestas diferenciales.

Cabe indicar además, que entre variedades y dentro del lugar del ensayo tampoco se halla ningún grado de asociación entre ellas, lo cual indica que cada variedad dentro de iguales condiciones de suelo y medio-ambientales, tiene comportamiento diferente.

4.7. Curvas de producción

Las ecuaciones de regresión múltiple con los coeficientes de regresión del Cuadro 3, se pueden reducir alterando una variable y fijando dos de ellas.

Las ecuaciones reducidas pueden ser usadas para estudiar puntos o regiones de interés específico. El uso de tales ecuaciones es la construcción de curvas de producción como función de cada variable: K_2O , Ca y Mg para diferentes dosis o cantidades de nutrimentos aplicados. Las Figuras 4 a 9 que representan curvas de producción, son demostraciones de lo que acontece al interaccionar los nutrimentos entre sí, lo cual causa aumentos o disminuciones de la producción.

4.8. Análisis de variancia

El análisis de variancia efectuado, se resume en el Cuadro 15 del Apéndice. No se detectó diferencias entre tratamientos, ni aún dentro de tendencias.

4.9. Ajuste del modelo matemático

Para determinar la confiabilidad del modelo utilizado dentro de la presente investigación, se sometieron los datos al ajuste del modelo matemático. Los valores correspondientes al ajuste, se presentan en el Cuadro 16 del Apéndice. El ajuste del modelo matemático es satisfactorio, aunque se observa una gran variación en los valores de R^2 , para cada variedad y para cada lugar de ensayo. En otras palabras la confiabilidad del modelo utilizado varía entre variedades y entre lugares de experimentación.

5. DISCUSION

La baja correlación encontrada entre ensayos de invernadero y de campo (Cuadro 9), puede deberse a que en el invernadero, el suelo se encuentra homogenizado, situación que puede alterar sus condiciones naturales y con ello, la disponibilidad de nutrimentos puede ser afectada, lo cual determinará respuestas diferentes a las del campo. Otra diferencia en la producción obtenida en el invernadero frente a la obtenida en el campo, puede deberse al volumen de suelo que ocupan las plantas; en el campo disponen de un mayor volumen de suelo para el desarrollo radical y para la absorción de nutrimentos, lo cual tendría una repercusión directa en una mayor producción. Las condiciones de riego y medio ambientales son controladas y homogéneas en el invernadero; en el campo estos factores son muy diferentes, lo cual va a alterar las condiciones de la planta y con ello la producción.

La respuesta diferencial de las dos variedades en el invernadero, donde las condiciones climáticas y edáficas fueron iguales, indica que la variedad Turrialba 1 responde mejor que la variedad 51135 a niveles similares de nutrimentos y condiciones climáticas, lo cual puede deberse a la diferente composición genética de cada variedad (16).

En lo referente a la necesidad de nutrimentos en el invernadero, podría indicarse que las plantas tuvieron los necesarios, para su mejor producción, en el suelo homogenizado al cual se aplicó inicialmente una fertilización básica (3.5.1), por tanto, las adiciones de potasio, calcio y magnesio no favorecieron la producción, sino que contrariamente fueron perjudiciales, salvo el magnesio en la variedad

Turrialba 1, donde realizó un ligero aumento en la tasa de producción. Esta es la razón probable, por la cual la demanda de nutrimentos potasio, calcio y magnesio, en las dos variedades es prácticamente nula.

En el ensayo de campo, la producción obtenida, por la aplicación de nutrimentos, en general, no es diferente entre las dos variedades, aunque sí existen diferencias dentro de ellas por efecto de tratamientos y más aún por acción de los nutrimentos en investigación; así el potasio ejerce una acción detrimental en la variedad Turrialba 1, en cambio en la variedad 51135 este mismo nutrimento produce, por 1 Kg de fertilizante aplicado como K_2O (0,83 Kg de K), una tasa de aumento en la producción de 7,6 Kg. Esta diferencia puede explicarse por las diferentes condiciones intrínsecas de cada variedad (16); la misma explicación puede darse para las respuestas diferentes obtenidas por la aplicación de calcio (16).

Es interesante observar en el ensayo de campo, que la respuesta altamente favorable de las dos variedades a la aplicación de Mg pese a la diferencia de ellas en su constitución genética y por ellas a la producción (16), sea debida a la adición de este elemento lo cual pudo ayudar a mejorar las condiciones de equilibrio del suelo y de la planta, ya que en suelos fluvio-lacustres, como los del Valle de Turrialba, que por tener una probable sedimentación química el Ca ha desplazado al Mg, lo que indica que este último elemento se encuentra en condiciones desventajosas (28); más específicamente, los suelos distropeptos (suelos utilizados en el ensayo), son suelos antiguos y

meteorizados con predominio de metahalloisita, sin posibilidad de sustitución isomórfica, que tienen una constitución en la cual el calcio triplica prácticamente al Mg*, relación que podría ser desfavorable en la producción. Por consiguiente, parece que una relación invertida o menor Ca:Mg puede ser necesaria para una mayor producción.** Además, el Mg actuando como transportador del fósforo (17, 28) va a intervenir indirectamente en un mejor aprovechamiento de este macronutriente dentro de la planta y con ello a aumentar la producción. La aplicación del Mg al suelo es factor primordial en el aumento de la producción, por las características bioquímicas que posee, así como por el equilibrio que puede llegar a producir en el suelo.

Puesto que el efecto más fuerte en la producción, debido a la aplicación de los nutrientes, corresponde al magnesio y con base en las Curvas de Producción, Figuras 4, 5, 6, 7, 8 y 9 del Apéndice, donde la producción de las variedades Turrialba 1 y 51135 en el ensayo de campo, está en función del incremento de Mg, se puede deducir lo siguiente:

En las Figuras 4, 5 y 6 (Curvas de Producción de la variedad Turrialba 1) se encuentra la máxima producción con la aplicación de 30 Kg/Ha de K_2O (24,9 Kg/Ha de K), manteniendo fijos los valores del calcio en los niveles de 10, 20, y 30 Kg/Ha e incrementando los valores del Mg. Se observa que la no aplicación del potasio (valor 0) podría dar como resultado una mayor producción, ya que su aplicación

* Besoain M., E. Información personal.

** Blasco L., M. Información personal.

en dosis cada vez mayores es detrimental en la producción de la variedad citada.

El aumento de calcio, no da como resultado mayores aumentos en la producción, al comparar valores de 20 y 10 Kg/Ha; quizá el límite óptimo de aplicación es un valor casi intermedio entre ellos, entonces el valor de 18 Kg/Ha de Ca determinado, parece ser adecuado.

Al comparar las Figuras 4, 5 y 6 se observa que en las dos primeras existe un incremento en la producción por aplicación de mayores cantidades de magnesio, pero en la Fig. 6 se nota declinación de la tasa de producción con aumentos de este elemento. El límite (punto) máximo de producción en la Fig. 6, es menor que los límites máximos de producción de las dos figuras antes enunciadas, sugiriendo las Figuras 4 y 5 que una dosis de 5 Kg/Ha de magnesio es el nivel que produce los máximos rendimientos.

En las Figuras 8 y 9 correspondientes a las Curvas de Producción de la variedad 51135, el potasio con una dosis de 120 Kg/Ha, como K_2O (99,6 Kg/Ha de K), es el que alcanza la máxima producción, aún cuando se fijan los valores de calcio a 40 y 50 Kg/Ha y se varíen los niveles de magnesio. En la Fig. 7, 90 Kg/Ha de K_2O (74,7 Kg/Ha K) alcanza la mayor producción, esta cantidad da una producción cercana a las obtenidas con la aplicación de 120 Kg/Ha de K_2O ; quizá por la necesidad de la planta de una mayor cantidad de potasio, sería preferible en todo caso utilizar la dosis mayor, aún cuando no se descarta la posibilidad del uso de 90 Kg/Ha de K_2O (74,7 Kg/Ha de K) que fue la dosis central utilizada en este ensayo.

En las figuras antes indicadas y analizando la respuesta del Ca, se observa que el aumento de este nutrimento, produce ligeros incrementos sobre la producción, probablemente la constitución genética de la variedad 51135 (16) y la alta demanda de potasio requerida, ha ce que las necesidades de Ca sean también mayores. Por esta razón puede señalarse 40 Kg/Ha de Ca como la dosis óptima para alcanzar una mayor producción.

La acción del Mg sobre la producción, en la variedad 51135 es muy clara. El Mg realiza un incremento de la producción hasta un límite máximo y tiende luego, a decrecer notablemente. Se observa en las figuras 7, 8 y 9, correspondientes a esta variedad que la producción máxima se alcanza con la adición de 5 Kg/Ha de Mg, aún cuando los otros dos nutrimentos se alteren.

En general, los requerimientos de las dos variedades Turrialba 1 y 51135, en lo que respecta al K y Ca, son diferentes; pero la necesidad del Mg en las mismas variedades es igual.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. No existe asociación entre los experimentos de invernadero y campo. Por consiguiente en las condiciones de este ensayo, la producción obtenida en el invernadero no es un buen estimador de la probable producción de campo.
2. En el experimento de invernadero la variedad Turrialba 1 fue, en rendimiento superior a la variedad 51135.
3. En el experimento de campo, las dos variedades mencionadas, no muestran diferencia estadística, sin embargo, la tendencia seguida por cada una de ellas es muy diferente.
4. El magnesio, fue el nutrimento de mayor importancia relativa en el ensayo de campo para las dos variedades, Este nutrimento debe ser investigado de acuerdo a nuevas relaciones: $K:Ca$, $Ca:Mg$ y $(Ca + Mg):K$.
5. El calcio y potasio, esenciales para una mayor y mejor producción deben ser investigados a partir de las dosis óptimas obtenidas para cada variedad, tomando en consideración el experimento de campo.
6. El potasio en la variedad Turrialba 1, en el ensayo de campo tuvo efectos depresivos, aunque su valor en interacción con el calcio y magnesio fue positivo.
7. El potasio en la variedad 51135 tiene efectos positivos en el ensayo de campo. Debe investigarse más a partir de la dosis máxima de producción con intervalos menores.

8. El calcio en las dos variedades tiene efectos benéficos, siendo mayor su efecto en la variedad Turrialba 1.
9. El magnesio debe ser investigado más detalladamente debido a las altas tasas de aumento de rendimiento que produjo.
10. Para una mayor confiabilidad, por la variedad natural del suelo y de la semilla, el diseño de superficie de respuesta debe ser repetido más de una vez.

7. RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en el IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica, en condiciones de invernadero y de campo, con objeto de investigar los efectos de cinco niveles de potasio, calcio y magnesio sobre la producción de frijol (Phaseolus vulgaris L.), además de determinar las dosis máximas de producción y las dosis económicas más adecuadas.

Los suelos utilizados pertenecen al orden Dystropepts, según la clasificación de la VII Aproximación.

Se utilizaron dos variedades de frijol, Turrialba 1 y 51135. En el ensayo de invernadero, se utilizaron macetas metálicas conteniendo 3 Kg de suelo. En el campo, la parcela experimental ocupada fue de 6 m x 2 m, en el sitio denominado "La Montaña".

El diseño estadístico empleado fue Superficie de respuesta de composición central.

En el invernadero, la variedad Turrialba 1, produjo rendimientos superiores a la variedad 51135, demostrando no existir asociación entre ambas variedades.

En el campo, la variedad 51135 fue ligeramente superior en rendimiento a la variedad Turrialba 1, aunque no existió evidencia estadística de esto; cada variedad tuvo respuestas diferentes indicadas por los coeficientes de regresión múltiple determinados.

En las condiciones de este estudio, se determinó la no existencia de asociación entre el ensayo de invernadero y el de campo. //

En el experimento de campo la variedad Turrialba 1, respondió muy bien a las aplicaciones de magnesio y bien a las de calcio. El potasio tuvo un efecto detrimental en la producción.

En el mismo experimento de campo, la variedad 51135 respondió muy bien, en primer lugar a las aplicaciones de magnesio, luego al potasio y por último al calcio.

En las condiciones del presente estudio, para el ensayo de campo, las dosis recomendables de fertilizantes se ajustan a las siguientes cantidades:

	----- Kg/Ha -----		
Variedad Turrialba 1:	K = 0	Ca = 18	Mg = 5
Variedad 51135 :	K = 99,6	Ca = 42	Mg = 5

7a. SUMMARY

The present investigation was conducted at the Tropical Center for Research and Training of the IICA, Turrialba, Costa Rica. It comprised greenhouse and field experiments in order to study the effect of five levels of K, Ca and Mg fertilizers on bean production (Phaseolus vulgaris L.), and to determine the levels yielding maximum production and most economical application.

Selected soils were classed as Dystropepts, according to the Seventh Approximation System. Two bean varieties, Turrialba 1 and 51135 were utilized.

In the greenhouse, tin pots with 3 Kg of soils were used, and in the field 12 m² plots (6 x 2 m) were used. Both experiments were performed under a surface response design.

In the greenhouse, the Turrialba 1 variety outyielded the 51135 variety while no correlation appeared to exist between the two varieties.

In the field, production in the 51135 variety was slightly superior to the Turrialba 1 variety. Though differences were not statistically significant, the multiple regression coefficients indicated different responses. Also in the field, the Turrialba 1 variety showed very good responses to Mg fertilizer, good responses to Ca fertilizer, but K application depressed bean production. The 51135 variety responded strongly to Mg, less so to K, and only slightly to Ca.

Under the conditions of this study, no correlation was found between the results of the greenhouse and field experiments.

Based on the results of the field investigations the recommended fertilizer dosages are as follows:

	----- Kg/Ha -----		
Turrialba 1 variety:	K = 0	Ca = 18	Mg = 5
51135 variety :	K = 99,6	Ca = 42	Mg = 5

8. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-CTEI. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 138 p. (mimeo).
2. BAEYENS, J. Le sol, réservoir de principes nutritifs pour la planta. In Scharrer, K. y Linser, H. Handbuch der pflanzenernährung und düngung, New York, Springer-Verlag, 1966. v. 2, pt. 1, pp. 474-551.
3. _____. Nutrición de las plantas de cultivo. Trad. Mateo-Box, J. M. 1a ed. esp. Madrid, Lemos, 1970. 631 p.
4. BARBER, S. A. y HUMBERT, R. P. Advances in knowledge of potassium relationships in the soil and plant. In Mac-Vickar, M. H. ed. Fertilizer Technology and Usage. New York, Stechert Hafner. 1963. pp. 231-268.
5. BERRY, W. L. y ULRICH, A. Calcium nutrition of sugar beets as affected by potassium. *Soil Science* 110(6):389-394. 1970.
6. BOULD, C. y HEWITT, E. J. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. In Steward, F. C. ed. *Plant Physiology*. New York, Academic Press. 1963. pp. 15-133. v. 3.
7. BOUYOUCUS, C. J. Recalibration of hydrometer methods for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 43(9): 434-438. 1951.
8. BOWER, C. A. et al. Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. *Soil Science* 73(4):251-261. 1952.
9. BRAY, R. H. y KURTZ, L. T. Determination of total inorganic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59(1):39-45. 1945.
10. BREMMER, J. M. Total nitrogen. In Black, C. A. et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin American Society of Agronomy, 1965. pp. 1171-1175.
11. DEMOLON, A. Principios de agronomía. II. Crecimiento de vegetales cultivados. Trad. 5a. ed. franc. Pérez, J. Barcelona, Omega, 1966. 293 p.
12. DIAZ-ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, IICA, 1967. 3 p. (mimeo).

13. FUDGE, B. R. The effect of applications of calcium and magnesium upon the absorption of potassium by citrus. Soil Science Society of Florida Proceedings 7:60-74. 1945.
14. GRIGNAC, P. El abonado potásico de trigo duro. Fertilité nº 16: 3-9. 1962.
15. GRUNES, D. L. et al. Effect of Mg, K, and temperature on growth and composition of Lolium perenne. In International Congress of Soil Science 9th, Adelaide, 1968. Sydney, Angus and Robertson, 1968. v. 2, pp. 597-603.
16. HAAG, W. L. Differential response among bean varieties (Phaseolus vulgaris L.) to nitrogen and phosphorus. Tesis Mag. Sc. Michigan, Michigan State University, 1970. 91 p.
17. HUNTER, A. S. Yield and composition of alfalfa as affected by variations in the calcium-magnesium ratio in the soil. Soil Science 67(1):53-62. 1949.
18. ISLAM, M. A. y BOLTON, J. The effect of soil pH on potassium intensity and release of non-exchangeable potassium to rey grass. Journal of Agricultural Science Cambridge 75(4): 571-576. 1971.
19. JAKOBSEN, S. T. y STEENBJERG, F. The concentrations of various plant nutrients in oats as influenced by potassium and magnesium nutrition. In Bould, C. Plant analysis and fertilizer problems. Michigan, American Society Horticultural Science, 1964. pp. 174-188.
20. JANSSON, S. L. y TORSTESSON, G. El abonado potásico y calcáreo en los guisantes y en el trigo de primavera, su influencia sobre la importancia de las cosechas y sobre la composición de las mismas. Revista de la Potasa, sec. 13:1-3. 1958.
21. KABU, K. L. y TOOP, E. W. Influence of potassium-magnesium antagonism on tomato plant growth. Canadian Journal of Plant Science 50(6):711-715. 1970.
22. KEY, J. L., KURTZ, L. T. y TUCKER, B. B. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium of field and composition of soybeans and corn. Soil Science 93(1):265-270. 1962.
23. LAUGHLIN, W. M. y RESTAD, S. H. Effect of potassium rate and source on yield and composition of bromegrass in Alaska. Agronomy Journal 56(5):484-487. 1964.

24. LUCAS, R. E. y SCARSETH, G. D. Potassium, calcium and magnesium balance and reciprocal relationship in plant. *Journal of American of Agronomy* 39(10):887-896. 1947.
25. LYND, J. Q. y MURPHY, H. F. Alfalfa yield response to potassium calcium and magnesium levels with three soil types. Oklahoma Agricultural Experiment Station. Bulletin 622. 1964. 15 p.
26. MALAVOLTA, E. A B C da adubação. 3a. ed. Sao Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1970. 189 p.
27. MEYER, B. S., ANDERSON, D. W. y BÖNING, R. H. Introducción a la fisiología vegetal. Trad. del inglés J. Ginbert y R. Pitterberg. Buenos Aires, EUDEBA, 1966. 579 p.
28. MILLOT, G. Géologie des argiles. Paris, Masson Et. Cie Editeurs. 1969. 499 p.
29. MÜLLER, L. Un aparato micro-Kjeldhal simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. *Turrialba* 11(1):17-25. 1961.
30. PAEZ, G. Diseño y análisis de experimentos; apuntes de clase. Turrialba, Costa Rica, IICA, CTEI. 1971. p. irr.
31. PEARSON, R. W. Liming and fertilizer efficiency. *Agronomy Journal* 50(7):356-362. 1958.
32. PIERRE, W. H. y HALLAWAY, W. H. Calcium in the soil. II. Biological relations. *Soil Science Society of America Proceedings* 6:16-26. 1941.
33. PIMENTEL GOMEZ, F. Nuevos aspectos del estudio económico de los ensayos de fertilización. *Fertilité* nº 34:3-9. 1969.
34. REITEMEIER, R. F. Soil potassium and fertility. *In* US. Department of Agriculture. Year book of Agriculture; soil. Washington, D. C.
35. ROSSITER, R. C. Studies on the nutrition of pasture plants in the south-west of Western Australia. IV. The growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) as affected by lime, molybdenum, and potassium. *Australian Journal Agricultural Research* 3:244-258. 1952.
36. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químicos de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, IICA, 1961. 107 p.

37. SHAW, E. J. ed. Manual de fertilizantes. México, Agencia para el desarrollo internacional, 1968. 236 p.
38. SINGH, K. Responses of bell pippers (Capsicum annum L.) to excision of initial flowers and fruits and fertilization with nitrogen and calcium. Dissertation Abstracts 23(3): 785. 1962.
39. STEINECK, O. Importance du potassium pur la synthèse des composés organiques de la plante. In International Potash Instituto. La Fertilization des Cultures Protégées. Berna, 1968. pp. 320-323.
40. TAKAHASHI, J. La potasa y el cultivo de arroz. Fertilité nº 11: 13-22. 1960.
41. THOMAS, G. W. y HANWAY, J. Determining fertilizer needs. In Dinauer, R. C., ed. Changing patterns in fertilizer use. Madison, Soil Science Society of America, 1968. pp. 119-140.
42. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L. Soil and fertilized potassium, magnesium, calcium and sodium. In _____. Soil fertility and fertilizers. 2nd. ed. New York, MacMillan, 1967. pp. 252-273.
43. WAISEL, Y. The effect of calcium on the uptake of monovalent ions by excised barley roots. Physiologia Plantarum 15(4): 709-724. 1962.
44. WALLACE, A., ELGAZZAR, E. y SOUFI, S. M. The role of calcium as a micronutrient and its relationship to other micronutrient. In International Congress of Soil Science 9th., Adelaide, 1968. Sydney, Angus and Robertson, 1968. v. 2, pp. 357-366.
45. WELTE, E. y WERNER, W. Potassium-magnesium antagonism in soils and crops. Journal of the Science of Food and Agriculture 14(3):180-186. 1963.
46. YORK, E. T., BRADFIELD, R. y PEECH, M. Influence of lime and potassium on yield and cation composition of plants. Soil Science 77(1):53-63. 1954.

A P E N D I C E

Cuadro 10. Efectos de la fertilización sobre ciertos componentes del rendimiento, en ensayo de invernadero. Variedad: Turrialba 1.

Tratamiento	Nº de vainas/maceta	Nº de vaina/planta	\bar{X} vainas/planta	Nº de frijoles/maceta	Nº de frijoles/vaina (\bar{X})	Peso \bar{X} frijoles/g	Peso \bar{X} vaina/g
K ₂ O-Ca-Mg							
60-20-4	9	3 - 6	4,5	36	4	0,224	0,898
60-20-8	7	4 - 3	3,5	32	4,5	0,247	1,129
60-40-4	8	5 - 3	4	31	3,88	0,244	0,944
60-40-8	7	5 - 2	3,5	28	4	0,239	0,957
120-20-4	6	3 - 3	3	33	5,5	0,231	1,270
120-20-8	10	5 - 5	5	35	3,5	0,231	0,809
120-40-4	10	4 - 6	5	37	3,7	0,227	0,839
120-40-8	11	7 - 4	5,5	43	3,9	0,228	0,892
30-30-6	6	3 - 3	3	29	4,83	0,215	1,037
150-30-6	9	5 - 4	4,5	39	4,33	0,223	0,967
90-10-6	10	6 - 4	5	41	4,1	0,204	0,838
90-50-6	13	5 - 8	6,5	50	3,85	0,213	0,819
90-30-2	8	4 - 4	4	33	4,13	0,221	0,911
90-30-10	8	3 - 5	4	39	4,88	0,213	1,036
90-30-6	9	4 - 5	4,5	41	4,56	0,232	1,054
90-30-6	10	6 - 4	5	41	4,10	0,209	0,855
90-30-6	9	4 - 5	4,5	39	4,33	0,225	0,977
90-30-6	8	4 - 4	4	30	3,75	0,235	0,881
90-30-6	11	6 - 5	5,5	41	3,73	0,213	0,795
90-30-6	11	4 - 7	5,5	39	3,55	0,213	0,832

Cuadro 11. Efectos de la fertilización sobre ciertos componentes del rendimiento, en ensayo de invernadero. Variedad: 51135.

Tratamiento	Nº de vainas/ maceta	Nº de vainas/ planta	\bar{X} vainas/ planta	Nº de fri- joles/ maceta	Nº de fri- joles/ vaina (\bar{X})	Peso \bar{X} frijoles g	Peso \bar{X} vaina g
K ₂ O-Ca-Mg							
60-20- 4	7	4 - 3	3,5	18	2,57	0,331	0,850
60-20- 8	6	3 - 3	3	19	3,17	0,342	1,083
60-40- 4	5	2 - 3	2,5	19	3,8	0,315	1,196
60-40- 8	7	4 - 3	3,5	20	2,86	0,334	0,954
120-20- 4	6	2 - 4	3	22	3,67	0,311	1,142
120-20- 8	6	3 - 3	3	22	3,67	0,315	1,153
120-40- 4	10	5 - 5	5	25	2,5	0,296	0,740
120-40- 8	11	6 - 5	5,5	25	2,27	0,317	0,720
30-30- 6	4	2 - 2	2	19	4,75	0,342	1,623
150-30- 6	6	3 - 3	3	29	4,83	0,276	1,332
90-10- 6	6	3 - 3	3	21	3,5	0,293	1,025
90-50- 6	7	3 - 4	3,5	32	4,57	0,225	1,028
90-30- 2	8	4 - 4	4	26	3,25	0,302	0,980
90-30-10	5	2 - 3	2,5	18	3,6	0,336	1,210
90-30- 6	6	3 - 3	3	21	3,5	0,314	1,1
90-30- 6	7	3 - 4	3,5	24	3,43	0,319	1,093
90-30- 6	8	4 - 4	4	29	3,63	0,279	1,013
90-30- 6	8	5 - 3	4	25	3,13	0,258	0,806
90-30- 6	6	3 - 3	3	21	3,5	0,317	1,108
90-30- 6	6	3 - 3	3	19	2,38	0,316	1,0

Cuadro 12. Producción de semilla y materia seca de las porciones radical y aérea. Variedad: Turrialba 1.

Tratamiento	Y ₁ semilla (g/maceta)	Y ₂ porción aérea (materia seca/maceta)	Y ₃ porción radical (materia seca/maceta)
K ₂ O-Ca-Mg			
60-20- 4	8,08	3,42	2,70
60-20- 8	7,90	4,80	3,88
60-40- 4	7,55	4,18	3,05
60-40- 8	6,70	5,08	4,45
120-20- 4	7,62	4,68	3,18
120-20- 8	8,09	4,75	3,44
120-40- 4	8,39	4,25	5,08
120-40- 8	9,82	4,02	2,92
30-30- 6	6,22	6,25	6,44
150-30- 6	8,70	4,35	3,59
90-10- 6	8,38	3,98	3,62
90-50- 6	10,65	4,18	3,85
90-30- 2	7,29	3,99	4,68
90-30-10	8,29	4,25	2,99
90-30- 6	9,49	4,92	2,62
90-30- 6	8,55	5,09	3,19
90-30- 6	8,79	5,55	3,92
90-30- 6	7,05	4,82	4,95
90-30- 6	8,75	4,48	3,40
90-30- 6	9,15	4,22	3,42

Cuadro 13. Efectos de la fertilización en la producción de semilla y materia seca de las porciones radical y aérea.

Variedad: 51135.

Tratamiento	Y ₁	Y ₂	Y ₃
	semilla (g/maceta)	porción aérea (materia seca/maceta)	porción radical (materia seca/maceta)
K ₂ O-Ca-Mg			
60-20- 4	5,95	3,80	2,55
60-20- 8	6,50	4,75	4,38
60-40- 4	5,98	4,75	3,19
60-40- 8	6,68	5,02	2,79
120-20- 4	6,85	4,20	3,02
120-20- 8	6,92	3,60	2,88
120-40- 4	7,40	3,87	2,15
120-40- 8	7,92	3,60	2,25
30-30- 6	6,49	6,38	2,88
150-30- 6	7,99	2,39	2,32
90-10- 6	6,15	2,85	2,45
90-50- 6	7,20	2,51	2,67
90-30- 2	7,84	2,38	2,32
90-30-10	6,05	4,48	3,19
90-30- 6	6,60	4,29	3,78
90-30- 6	7,65	5,78	3,38
90-30- 6	8,10	2,50	4,02
90-30- 6	6,45	4,95	4,82
90-30- 6	6,65	4,20	3,72
90-30- 6	6,00	4,32	2,96

Cuadro 14. Producción de semilla en pruebas de invernadero y campo.

Nº	Tratamiento	R e a n d i m i e n t o (g)			
		Invernadero		Campo	
		Turrialba 1	51135	Turrialba 1	51135
1	60-20- 4	8,08	5,95	1.053,38	1,080,27
2	60-20- 8	7,90	6,50	1.047,89	1.067,49
3	60-40- 4	7,55	5,98	1,123,81	995,50
4	60-40- 8	6,70	6,68	1.007,51	835,00
5	120-20- 4	7,62	6,85	870,52	909,60
6	120-20- 8	8,09	6,92	922,60	839,45
7	120-40- 4	8,39	7,40	1.011,68	1.113,70
8	120-40- 8	9,82	7,92	932,36	940,96
9	30-30- 6	6,22	6,49	1.027,39	869,32
10	150-30- 6	8,70	7,99	896,48	959,17
11	90-10- 6	8,38	6,15	900,43	1.101,50
12	90-50- 6	1,65	7,20	889,44	926,26
13	90-30- 2	7,29	7,84	893,67	876,03
14	90-30-10	8,29	6,05	953,35	1.034,68
15	90-30- 6	9,49	6,60	883,69	970,50
15	90-30- 6	8,55	7,65	976,98	1.181,36
15	90-30- 6	8,79	8,10	863,28	1.240,94
15	90-30- 6	7,05	6,45	906,40	1.124,81
15	90-30- 6	8,75	6,65	1.067,54	1.110,82
15	90-30- 6	9,15	6,00	1.075,04	1.081,69

Cuadro 15. Características físicas y químicas del suelo en estudio.*

pH H ₂ O	M.O ----- %	C ----- %	N _{total} -----	Bases cambiables			C/N	10,9	Bases cambiables P _{disp.}			Relaciones Ca:Mg Mg:K (Ca + Mg):K	CIC	Densidad aparente	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
				K	Ca	Mg			ppm	ppm	ppm							
5,7	5,9	3,4	0,3	0,40	3,5	1,2	7,4	2,7	3,4	12,7	46,2	0,398	32,7	36,5	30,8	Franco-arcilloso		
Standars para comparación (I.C.T.A. Trinidad) (Hardy - 1962)** (a 15 cm de prof.)																		
	Alto	7,0	---	0,35	11,5	0,55	24,0	6,0	120	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	Medio	3,5	---	0,20	9,5	0,35	12,0	3,0	60	4,0	8,0	40,0	---	---	---	---	---	---
	Bajo	0,75	---	0,05	7,5	0,20	4,0	1,0	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---

* Valores promedios de 16 muestras compuestas.

** Tomado de: Bazán S., R. Soil survey of La Lola cacao farm. Thesis M.A. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1963.

Cuadro 16. Análisis de variancia preliminar.

Fuente de variación	gl	Invernadero		Campo	
		Variedades		Variedades	
		Turrialba 1	51135	Turrialba 1	51135
		CM	CM	CM	CM
Tratamientos	24	1,27 n.s	0,489 n.s	5.672,5 n.s	15.739,0 n.s
Error puro	5	0,71	0,633	8.622,0	8.460,1
Total	19				

n.s = no significativo

Cuadro 17. Ajuste del modelo matemático.

Fuente de variabilidad	Invernadero			Campo				
	Variedades			Variedades				
	Turrialba 1	51135		Turrialba 1	51135			
SC	R ²	SC	R ²	SC	R ²	R ²		
Total	21,38302	0,7460	10,01205	0,4569	122.526,3239	0,4381	262.651,0520	0,6399
Tratamientos	17,83022	0,895	6,84595	0,6682	79.415,8800	0,6759	220.350,4933	0,7633
Regresión	15,95243		4,57427		53,678,3081		168.087,9243	

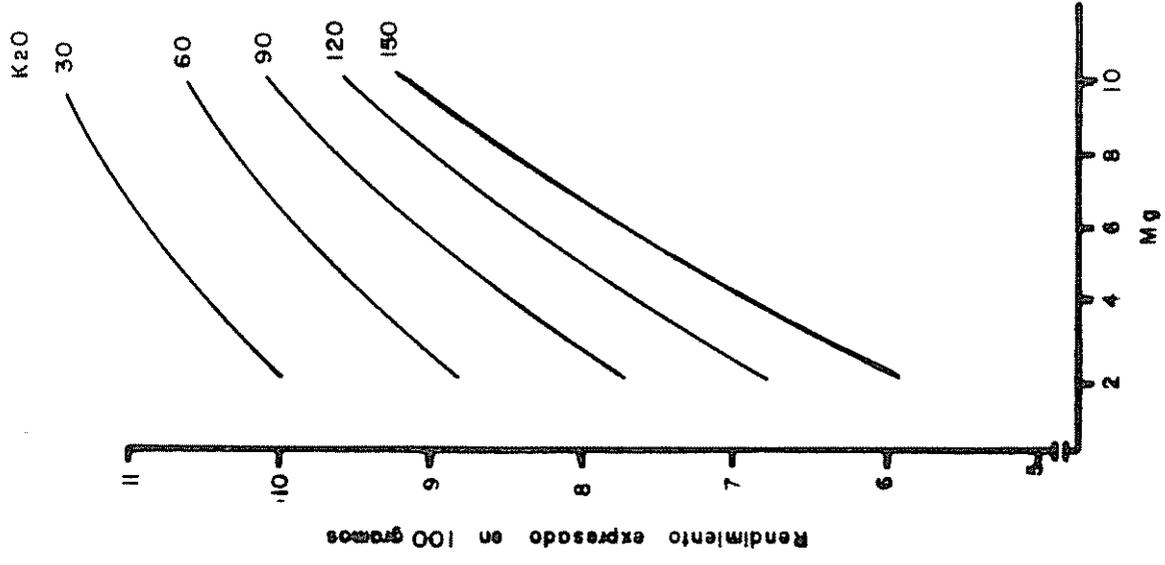


Fig. 4 Relaciones de la aplicación de Mg (Kg/Ha) con el rendimiento de frijol con diferentes cantidades de K₂O y en nivel de 10 Kg/Ha de Ca

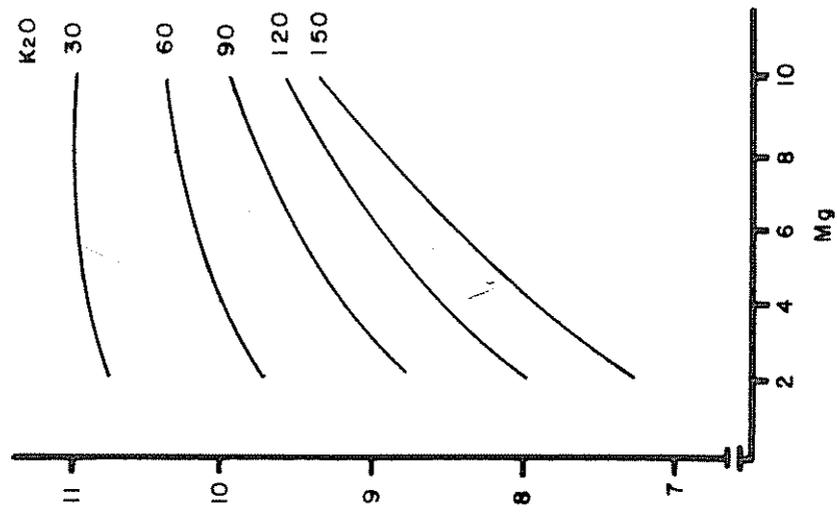


Fig. 5 Relaciones de la aplicación de Mg (Kg/Ha) con el rendimiento de frijol con diferentes cantidades de K₂O y en nivel de 20 Kg/Ha de Ca

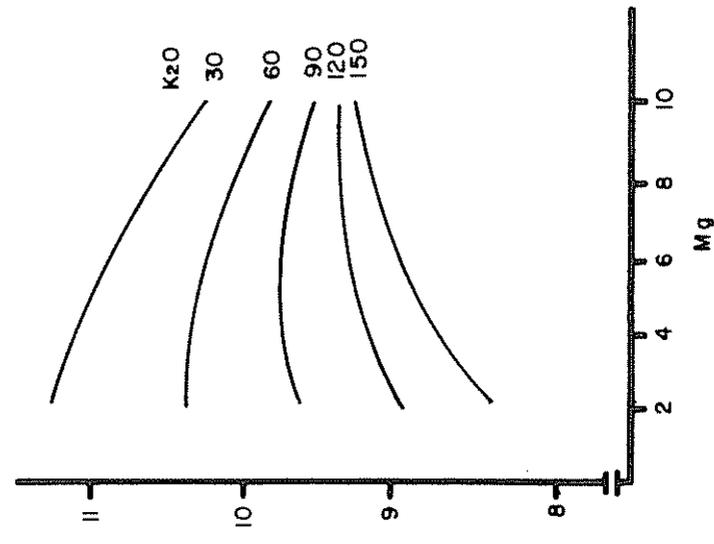


Fig. 6 Relaciones de la aplicación de Mg (Kg/Ha) con el rendimiento de frijol con diferentes cantidades de K₂O y en nivel de 30 Kg/Ha de Ca

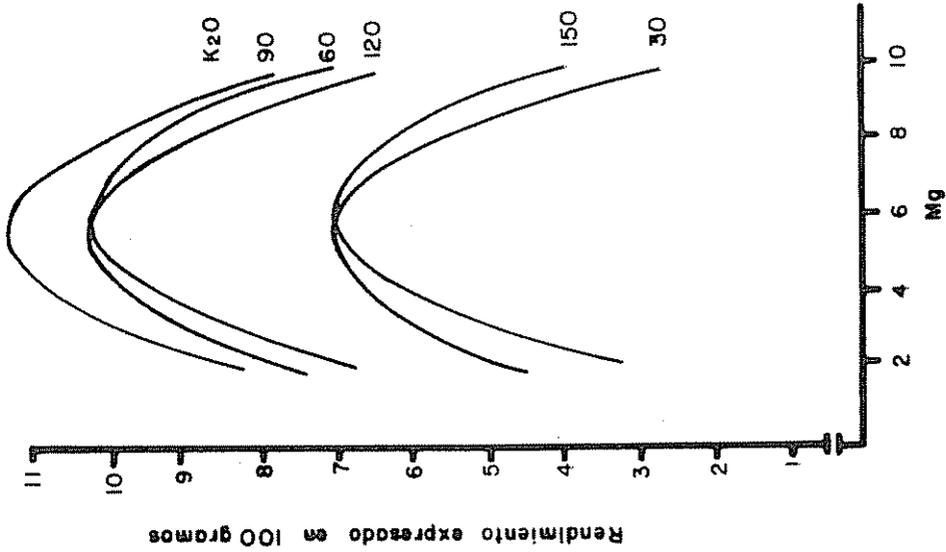


Fig. 7 Relaciones de la aplicación de Mg (Kg/Ha) con el rendimiento de frijol con diferentes cantidades de K₂O y en nivel de 30 Kg/Ha de Ca

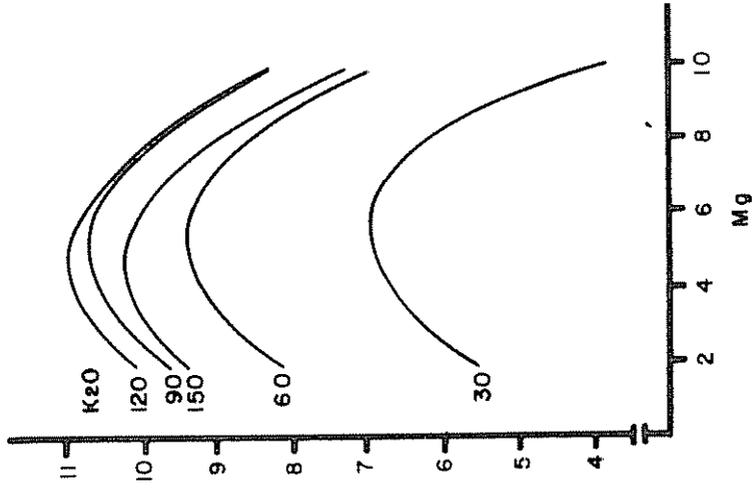


Fig. 8 Relaciones de la aplicación de Mg (Kg/Ha) con el rendimiento de frijol con diferentes cantidades de K₂O y en nivel de 40 Kg/Ha de Ca

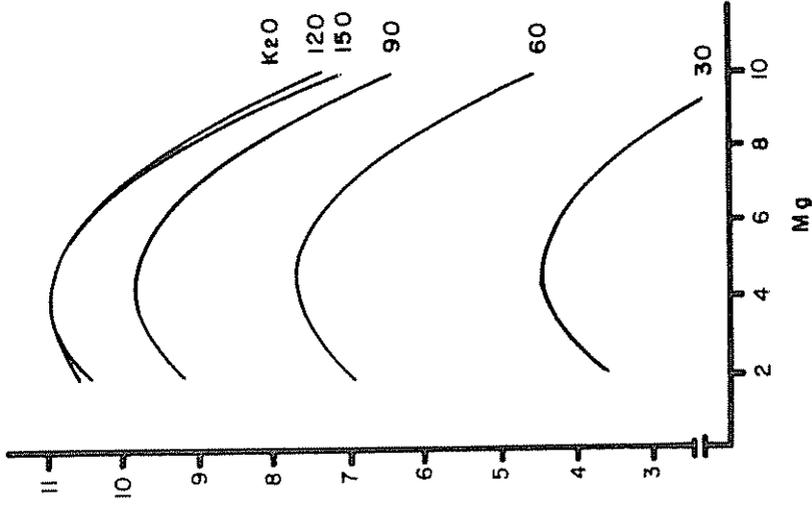


Fig. 9 Relaciones de la aplicación de Mg (Kg/Ha) con el rendimiento de frijol con diferentes cantidades de K₂O y en nivel de 50 Kg/Ha de Ca