

1.059.7

REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**CARACTERIZACION DE LA RESPUESTA
A LA FERTILIZACION (N - P - K)
EN POROTO (Phaseolus vulgaris, L)**

Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo.-

Roberto P. Carballo Castro

Pedro Alberto Alajuga Perera

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

Este trabajo fue realizado en la
Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía, bajo la supervisión del Ing. Agr. José P. Zambalde.-

5 de agosto de 1975.

15 SET. 1975

INDICE

(1) INTRODUCCION -----1

(2) ANTECEDENTES -----2

2-1.- Generalidades -----2

2-2.- Absorción y efecto de algunos nutrientes sobre el cultivo -----2

2-2-1.- Requerimientos nutritivos de los porotos -----2

2-2-2.- Nitrógeno -----3

2-2-2-1.- Fijación simbiótica y fertilización nitrogenada -5

2-2-3.- Fósforo -----6

2-2-4.- Potasio -----7

2-2-5.- Fertilización N-P-K -----8

2-2-6.- Aplicación de fertilizantes -----10

2-2-6-1.- Fertilización en el suelo -----10

2-2-6-2.- Fertilización foliar -----10

2-3.- Funciones de respuesta y diseños experimentales ----11

2-3-1.- Funciones de respuesta -----11

2-3-1-1.- Funciones de respuesta para un solo nutriente --11

2-3-1-2.- Funciones de respuesta para más de un nutriente-16

2-3-2.- Diseños experimentales -----18

(3) MATERIALES Y METODOS-----25

(4) RESULTADOS -----29

4-1.- Rendimientos -----29

4-1-1.- Rendimientos sin corregir por número de plantas --29

4-1-2.- Rendimientos corregidos por número de plantas ----36

4-2.- Análisis de los componentes del rendimiento -----43

4-2-1.- Peso de 100 porotos -----43

4-2-2.- Número de porotos por chaucha -----48

4-2-3.- Número de chauchas totales por parcela -----51

4-3.- Dosis óptimas físicas y económicas -----57

(5) CONCLUSIONES -----59

(6) BIBLIOGRAFIA -----61

(7) AGRADECIMIENTOS -----63

(1) INTRODUCCION.-

-1-

Como en cualquier cultivo, el crecimiento y rendimiento de las plantas de porotos dependen de múltiples factores. Uno de los que más incidencia tiene en el buen éxito de la producción, tanto en calidad como en cantidad, es la nutrición. Esta debe proporcionar a las plantas, los elementos necesarios y en las cantidades apropiadas, tanto para un buen crecimiento vegetativo como para una buena calidad en cuanto a presentación, cocimiento y envasado.-

En nuestro país, quizás por la poca importancia que en la actualidad tiene el cultivo, a pesar de ser el cuarto en superficie de los cultivos hortícolas y del hecho que en este momento se están promoviendo planes de exportación del producto, no hay estudios acerca de los requerimientos nutritivos del cultivo, así como ensayos de fertilización y otros problemas de manejo.-

El objetivo principal del presente trabajo, consistió en determinar las dosis óptimas físicas y económicas, a través del ajuste de una ecuación cuadrática entre las dosis de nutrientes y los rendimientos. Asimismo se intenta cubrir la deficiencia en información, que con respecto a la fertilización de dicho cultivo hay en el país. Información que pretende servir de base para el mejoramiento de las condiciones de manejo del cultivo, teniendo en cuenta los actuales propósitos de desarrollo del mismo. Se pretende además aportar datos aclaratorios, al controvertido problema de la respuesta a la fertilización nitrogenada en esta leguminosa hortícola.-

El ensayo se realizó en un predio hortícola del departamento de Montevideo, en la zona de Rincón del Cerro, durante la temporada junio de 1974-febrero de 1975.-

A causa de la magnitud del trabajo y no existir antecedentes en el país, fue preciso realizarlo en un solo lugar (un solo tipo de suelo).-

La variedad utilizada fue la "Bountifull", que a pesar de no ser la más difundida en nuestro medio, brindaba la posibilidad de contar con semilla que ofrecía garantías con respecto a autenticidad y procedencia.-

(2) ANTECEDENTES

2-1.- Generalidades.-

En el país no existe información acerca de la respuesta y aplicación de fertilizantes en el cultivo de poroto. Una recomendación elaborada en forma empírica, es la aplicación de 80 unidades de nitrógeno, 40 de fósforo y 20 de potasio por hectárea (Bonilla, com. pers.). Existen referencias para Latinoamérica, pero no extrapolables a nuestras condiciones ecológicas particulares. Se cuenta sí con considerable información a nivel internacional, con respecto al comportamiento de los diferentes nutrientes en el cultivo.-

En cuanto a la metodología de trabajo, en especial al uso del diseño experimental, son de destacar los aportes que a nivel Nacional realizaron Zamalvide, Rabufeti y Canale, trabajando en papa, remolacha y trigo.-

2-2 Absorción y efecto de algunos nutrientes sobre el cultivo.-

2-2-1.- Requerimientos nutritivos de los porotos.-

Es necesario diferenciar entre la cantidad y relación de nutrientes requeridos por las plantas para un óptimo crecimiento, y aquellas que se agregan al suelo para satisfacer esas necesidades.

→ Las cantidades de nutrientes absorbidos en condiciones ideales de crecimiento, pueden tomarse como índice de las necesidades.- Una estimación de éstas puede observarse en el cuadro 2-1 extraído de Fried y Broeshart (7).-

X CUADRO 2-1 .- Nutrientes extraídos por diferentes leguminosas hortícolas, expresados en Lbs./acre.-

Cultivo	N	P	S	B	K	Ca	Na	Mg	Ref.
P. de manteca	95	10	--	0,67	94	61	--	7.6	b
P. de chaucha	200	3	3.9	--	46	22	--	2.9	b
Arvejas	126	6	3.8	--	47	21	0.41	6	b
Habas	310	23	--	--	95	160	--	--	e
Summer beans	100	10	111	--	62	82	--	--	e

b- Hester and Shelton (1949)
e- Becker - Dollinger (1937).-

Por su parte Hester y Shelton citado por Dallyn et al. (2), reportaron el siguiente contenido de nutrientes en una tonelada de plantas de Porotos de manteca, expresados en lbs/ton:

CUADRO 2-2

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Ca O
Semilla	55	12	20	3	1
Planta	40	12	87	5	60

Los procedimientos para realizar dichas determinaciones incluyen:

- a- el cultivo hidropónico
- b- cultivos en macetas con arena.-
- c- experimentos en suelos ricos en nutrientes (sin limitantes).-

→ A través de los valores del Cuadro 2-1, se infiere que las variedades del Cuadro, presentan un alto contenido de N, con ello tiene este elemento un aspecto dominante en la relación N-P-K.-Las necesidades en fósforo son relativamente pequeñas y las de potasio intermedias.-

Como todas las leguminosas tienen altos requerimientos en Ca.-

La relación de nutrientes tomando la cantidad de N como el 100% se muestra en el Cuadro 2-3 extraído de Fried y Broeshart (7)

CUADRO 2-3.- Relación entre los nutrientes extraídos por diferentes cultivos tomando el N como 1 (tomando como base Cuadro 2-1).-

<u>Cultivo</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>
P. de manteca	1	0.11	---	0.98	0.63	0.80
P. de chaucha	1	0.02	0.02	0.23	0.11	0.02
Arvejas	1	0.05	0.03	0.35	0.15	0.04
Habas	1	0.07	---	0.31	0.50	---
Summer beans	1	0.10	---	0.64	0.84	---

2-2-2- Nitrógeno.-

→ El nitrógeno es el componente básico de las proteínas vegetales, de la clorofila y de otros compuestos importantes en el metabolismo de las plantas (enzimas, vitaminas, hormonas, etc.).-

Las necesidades de nitrógeno de las plantas de poroto son altas como puede observarse en el cuadro 2-1.-

La respuesta a los diferentes niveles de nitrógeno agregado al suelo, varía de acuerdo a las características varietales y a la ecología del lugar en que son cultivadas las diferentes especies y variedades de porotos, además de la cantidad de nitrógeno ya presente en el suelo.-

Shaw y Sherwin citado por Dallyn et al.(2), afirman que suelos con alto contenido en nitrógeno retardan la madurez, incrementando como consecuencia la cosecha de vainas secas.-

Lambeth, también citado por Dallyn et al.(2), trabajando con la variedad Fordhook afirma que la fertilización nitrogenada durante la floración, redujo el cuajado y que grandes cantidades de N aplicadas en suelos con bajo contenido en fósforo retardan la madurez.-

Halsey (9), afirma que el hábito de crecimiento de las variedades de porotos, es primariamente una característica genética, pero factores tales como las variaciones estacionales y los

niveles de fertilización pueden alterar la manifestación de esta característica.-

La influencia del aporte de nitrógeno es considerada normalmente como un factor que altera el crecimiento vegetativo, lo cual puede resultar o no en una alteración de la producción.- Este autor trabajando con tres variedades representativas de los tres hábitos de crecimiento que se dan en Vigna sinensis, llegó a la conclusión de que la respuesta de los tres tipos a los cambios en los niveles de N, no fue significativa.- Hubo una tendencia hacia altas cosechas a medida que el nivel de N fue incrementado para todos los tipos de hábito de crecimiento.- (cuadro 2-4)

CUADRO 2-4.- Influencia de la fertilización nitrogenada en el rendimiento del poroto en lbs/acre.-

Nivel de N lbs/acre	Enanas	Semi enrame	enrame	promedio
0	2271	3252	1674	2399
18	2672	3659	1750	2693
36	2793	3749	1806	2783
Promedio	2579	3553	1743	

Tiejens et al. citados por Dallyn et al.(2), reportan que la variedad Fordhook requirió un total de 160 lbs/acre de nitrógeno para satisfacer sus requerimientos, mientras que para otras variedades las dosis fueron de 32 lbs/acre.-

Para suelos livianos de California según datos de Holland et al. citado por Dallyn et. al.(2), se requieren 150 lbs/acre de nitrógeno para la misma variedad Fordhook.-

Es clara la influencia de las precipitaciones en los resultados de la aplicación de los fertilizantes nitrogenados, Rhan citado por Dallyn et al.(2), encontró que solo hubo respuesta a la aplicación de NO_2Na un solo año de cada 3, coincidiendo ese año con fuertes precipitaciones.-

Carolus citado por Dallyn et al.(2), no obtuvo respuesta al nitrógeno en la variedad Henderson cultivada bajo condiciones de sequía.-

Dallyn et al.(2), trabajando con las variedades Fordhook y Fordhook 242, observaron que esta última respondió solamente al nitrógeno, las parcelas con altos contenidos de este elemento promediaron 442 lbs. más por acre, que aquellas que tuvieron una leve aplicación.-

Estos mismos autores, determinaron que la variedad Fordhook 242, con un período de fructificación concentrado en un momento de su desarrollo, dependía más del nitrógeno aplicado que del brindado por la materia orgánica del suelo, cosa que no sucede con la variedad Fordhook, la cual posee un desarrollo más lento.-

Holland et al. citado por Dallyn et al. (2), encontraron que la variedad Fordhook mantuvo las vainas en un estado suculento por más largo tiempo, cuando se le aplicó fertilización nitrogenada junto con el agua de irrigación en el momento que el cultivo estuvo en la mitad de su ciclo.-

2-2-2-1.- Fijación simbiótica y fertilización nitrogenada.-

Como todas las leguminosas, las especies de porotos pueden, a través de la simbiosis con bacterias nitrificantes, fijar el nitrógeno directamente de la atmósfera.-

Halsey (9) afirma que el nitrógeno atmosférico obtenido por la planta a través de las bacterias fijadoras, puede no ser suficiente para las necesidades de la planta y sería necesario alguna fuente de nitrógeno rápidamente disponible, para permitirle realizar una buena reserva antes de que comience a ocurrir la fijación.-

Franco et al.(6), afirma que son varios los factores que intervienen en la simbiosis, estos son: la planta, el suelo, la bacteria, el pH y elementos minerales, verificándose que las deficiencias del Mo, Co y B en suelos ácidos, afectan la fijación de N porque restringen la formación de los nódulos y su funcionamiento.-

Según Dobereiner et al.(3), las plantas de porotos encontradas en el campo cuando estuvieron noduladas presentaron un número reducido de nódulos.-

Algunos autores citados por Dobereiner indican que la simbiosis en el caso de Phaseolus no es eficiente mientras que otros autores consiguieron obtener fijación nitrogenada.- Este mismo autor cita un trabajo realizado en San Pablo, donde se compararon diferentes estirpes de Rhizobium, obteniéndose aumentos del orden del 100% con inoculaciones en condiciones de laboratorio.-

La autora brasileña indica que la diversidad de resultados es causada por el hecho de que una eficiente simbiosis en poroto depende de factores externos tales como el suelo y la planta en mayor grado que para otra leguminosa.-

En el trabajo realizado por la citada autora se observa que la fijación de nitrógeno varía con la estirpe inoculada, notándose la influencia de la variedad cultivada en la fijación y también que el comportamiento de las variedades fue diferente para los dos tipos de suelos usados.- Se concluye que es posible obtener una fijación de nitrógeno atmosférico que en algunas variedades suple las necesidades de las plantas hasta la floración.- Fassbender (5), citado a Spector afirma que el volumen de nitrógeno aportado por la fijación simbiótica oscila entre 30 y 120 Kg./Há para poroto.-

En el cuadro 2-5 se observan los resultados del trabajo realizado por Halsey (9) mostrando que la respuesta a diferentes niveles de inoculante, tendieron a ser mayores a medida que la cantidad de nitrógeno fue incrementada y por otro lado que la respuesta a los diferentes niveles de N fue variable a medida que los niveles de inoculante fueron aumentados.-

CUADRO 2-5.- Influencia de la fertilización nitrogenada y la inoculación a diferentes niveles en el rendimiento en lbs/acre.-

	<u>Nivel de inoculación</u>			<u>Nivel de fertilización lbs/acre.</u>
	0	18	36	Promedio
nada	2458	2789	2866	2704
simple	2453	2631	2720	2602
doble	2286	2661	2762	2570
promedio	2399	2693	2783	

En este trabajo los efectos aislados de la inoculación no fueron significativos y la respuesta a la adición del inoculante fue errática dependiendo de la cantidad de fertilizante nitrogenado.- Al ser el nitrógeno agregado al suelo, hubo una tendencia a la disminución en la cosecha cuando las semillas fueron inoculadas con una cantidad considerada normal, a su vez se dió una disminución menor para una cantidad considerada el doble de la normal.- Puede o no haber fijación de nitrógeno, o ser esta muy pequeña al ser agregado nitrógeno al suelo.- Las plantas leguminosas tienden a usar el nitrógeno disponible antes que el nitrógeno fijado por las bacterias.- La competencia por nitrógeno disponible causada por la adición de cantidades normales de bacterias fijadoras, fue aparentemente compensada por la cantidad de nitrógeno fijado, pero cuando la cantidad de inoculante fue el doble de lo normal, hubo un incremento en la competencia por nitrógeno dando como resultado una disminución de la cosecha.-

Agrega Pajón de ACK

2-2-3.- Fósforo.-

Como se observa en el Cuadro 2-1, el fósforo tiene menor importancia cuantitativa que el nitrógeno.- Sin embargo, este elemento aparte del papel que cumple en la constitución de los vegetales, es de gran importancia en el metabolismo de los mismos.-

El ión fosfato tiene un efecto positivo en la floración, maduración de las vainas y crecimiento radicular.-

De acuerdo a los datos de Emmert citado por Dallyn et al. (2), se reportó un efecto beneficioso del fósforo especialmente de las aplicaciones fraccionadas de 200 lbs/acre de superfosfato (20% P₂O₅) antes de la plantación, más 200 lbs/acre adicional antes del cuajado.-

Parker citado por Dallyn et al. (2), trabajando con un suelo franco arenoso con bajo suministro natural de los tres macronutrientes (N-P-K), obtuvo respuesta al suministro de 60 lbs/acre de P₂O₅ no obteniendo respuesta cuando suministró 120 lbs/acre de P₂O₅.-

También se reportó (lo cual es lógico por el equilibrio P sólido P solución el cual requiere la presencia de agua por encima del punto de marchitez permanente), que en condiciones de seca no hubo respuesta al agregado de fósforo y en los hechos se estableció que hubo una tendencia a la disminución de las cosechas, como resultado de ser el factor agua el limitante.-

Dallyn et al. (2), observaron que cuando se aplicó solamente fertilizantes químicos, el rendimiento de una aplicación de 90 lbs/acre de P_2O_5 fue significativamente mayor (150 lbs/acre), que el logrado de la aplicación de 45 lbs/acre.- Por otro lado, indicaron que parcelas recibiendo 200 lbs/acre de P_2O_5 , promediaron rendimientos 4.3 más altos que con cantidades inferiores, además se observó que la respuesta a alto suministro de fósforo, se dió solo cuando hubo un alto suministro de potasio.-

Fassbender (5), cita que Raposo informa de aumentos en las cosechas, debido al agregado de fósforo en Porta Grossa, Paraná y Pelotas.-

Ehrler et al. (4), observaron que hay una correlación positiva entre la cantidad de fósforo absorbido y la cantidad de fósforo presente en la solución nutritiva, independientemente de la cantidad de NO_3^- y SO_4^- que haya en dicha solución; pero a pesar de ésto, la proporcionalidad entre el fósforo de la solución y el tomado por la planta no es directa, ya que tiene que aumentar 48 veces la cantidad de fósforo en la solución, para que aumente de 4 a 7 veces la cantidad tomada por la planta.- Esto indica que el problema no es suministrar altas cantidades de fósforo, sino de suministrar las adecuadas en equilibrio con los otros nutrientes, a los efectos que éstos no se hagan limitantes.-

Los datos presentados en el trabajo realizado por Meyer et al. (13), en soluciones nutritivas, indican que la aplicación de Cl resulta en una menor absorción de fósforo, que la producida cuando se aplica SO_4^- .- Aparentemente, el ion Cl^- es más competitivo con el fósforo⁴ que el SO_4^- durante el proceso de absorción, o los efectos competitivos del SO_4^- , son reducidos por el metabolismo después de su absorción⁴.

Puppín et al. (16), en un trabajo en soluciones nutritivas, indicaron que el fósforo de la raíz disminuye a medida que la planta crece. Las diferencias encontradas para el porcentaje de fósforo total en la parte aérea, son atribuidas al desarrollo de la planta, ya que todos los tratamientos tomaban el mismo porcentaje de fósforo.- Lo que llamó la atención, fue que no hubo diferencias significativas en el porcentaje de fósforo de las partes aéreas, cuando se cultivó en presencia o ausencia de exceso de aluminio.- En ésto hay discrepancia con otros autores, que indican que el aluminio produce precipitación del fósforo y reduciría su tenor en la solución y por ende la toma.- Estos resultados pueden explicarse ya que como se ha comprobado, los compuestos recién formados (fosfatos de aluminio), son asimilables para las plantas, y recién al ir "envejeciendo", pasaría a formar cristalinas más complejas y menos utilizables; a todo esto hay que agregarle el hecho de que se ha trabajado en soluciones nutritivas.-

2-2-4.- Potasio

A pesar de no ser el K un componente básico de las proteínas, carbohidratos o lípidos es imprescindible en su metabolismo, en la economía hídrica y en algunos procesos fisiológicos de las plantas. Estas observaciones han sido confirmadas por muchos autores.-

Las leguminosas en general son muy exigentes en Potasio, lo cual podemos observar en el Cuadro 2-1, por lo que se deduce que es de gran importancia en su metabolismo.-

Arruda, citado por Fassbender (5), describe aumentos en la producción de un 35,2% superior al testigo, con una dosis de 60 kgs/há, de K_2O sobre "terra roxa" en San Pablo.-

Por otro lado, Dallyn et al.(2), observaron un efecto benéfico tanto en incremento de cosecha como en calidad por parte del suministro de Potasio.- Una parte al menos de estos efectos en la mejora de la calidad, fueron debidos a la acción retardadora en el blanqueo de las semillas por parte del Potasio.-

Allí mismo se cita que comparando cantidades de 50 y 100 Kgs/Há. de K_2O sobre un suelo franco arenoso con bajo contenido de potasio, se observó que las cantidades más altas produjeron un significativo incremento en la cosecha.-

Por todos estos motivos, consideramos que no se puede descontar a priori las posibilidades de respuesta a este nutriente, sobre todo en suelos deficientes en él.-

En el trabajo realizado por Meyer et al.(13), en el cual se observó el efecto de diferentes concentraciones de sales de Potasio (variable la presión osmótica de la solución del suelo) en el crecimiento de plantas de porotos, se concluye que un incremento en la concentración de las sales de Potasio y por ende de un aumento de la presión osmótica, produce una disminución en el crecimiento, y que altos niveles de todas las sales de Potasio, incrementan la succulencia de las hojas de poroto comparados con el testigo.-

Junto con estas observaciones, se vieron síntomas externos en las hojas, como ser necrosis, sobre todo en las interiores y se notaron diferencias según el anión acompañante del potasio, siendo más evidentes para Cl^- y NO_3^- . Llegando incluso con estos aniones a morir muchas plantas, quedando las remanentes severamente dañadas.-

En el caso que el anión acompañante es el $PO_4^{=}$, se observa una reducción en crecimiento y una leve necrosis de las hojas a altas concentraciones y cuando es el $SO_4^{=}$ solo se observa una disminución en el crecimiento, pero en ningún caso las plantas murieron. -

Podemos decir que dentro de los tres macronutrientes; el potasio es sobre el que se tiene menos información. Aún considerando su posible importancia como factor calidad, no hay datos y los que hay son para otras leguminosas hortícolas (arvejas). Como para los otros nutrientes, no se cuenta con ningún dato nacional al respecto.-

2-2-5 Fertilización N-P-K.

Teniendo en cuenta la importancia de los tres macronutrientes N-P-K, se han realizado experimentos factoriales en los cuales se evaluaron las interacciones entre los nutrientes.- El Cuadro 2-6 extraído de Fassbender (5), muestra algunos resultados de experimentos realizados en Latinoamérica.- Las dosis óptimas de N, P y K son muy variables; las de N fluctúan entre 0 y 400 kgs/há, las de P entre 0 y 200 Kg/há de P_2O_5 y las de K entre 0 y 100 Kg/há de K_2O .-

Nº copia 10/10

CUADRO 2-6.- Dosis óptimas de fertilización y relaciones N-P-K de diferentes ensayos de fertilización.-

PAIS	Localidad	Dosis Kg/há			Relación		
		N	P	K	N	P	K
Méjico	Durango	60	80	00	1	1.33	00
El Salvador	San Andrés	40	00	00	1	0.00	00
	San Andrés	33	00	00	1	0.00	00
Puerto Rico	-----	24	72	24	1	3	1
	-----	160	200	100	1	1.25	1.00
Costa Rica	San Fernando	100	140	00	1	1.4	00
		100	150	00	1	1.5	00
		50-100	140	00	1	1.4	00
	Abangares	45	45	45	1	1.0	1.0
Perú	La Molina	30	60	30	1	2.0	1.0
		30	60	00	1	2.0	00
		40-60	60	60	1	1.0	1.0
Brasil	Minas Gerais	400	100	00	1	0.25	00
		400	100	100	1	0.25	0.25
	Vicosa	0	120	35	1	4.0	2.34
	Inhapin	15	60	35			
USA	Warbick	150	60	240	1	0.25	1.60
	Florida	80	60	90	1	0.66	1.10
	Kentucky	50	200	100	1	4.0	2.0
	South Carolina--	---	---	---	1	2.0	00
	Ithaca, N.Y.	50	200	100	1	4.0	1.0

Dallyn et al.(2), indican que en EE.UU. la fertilización varía ampliamente entre 1200 y 1800 Kg/há. de 5-10-5, que es la mezcla más común para la variedad Fordhook.-

Lachman et al., citados por Dallyn et al.(2), indican que fertilizaron la misma variedad con 680kg. de 5-8-7, 10-8-7; 5-14-7 y 5-8-14 y no encontraron diferencias en la cosecha.-

Dallyn et al.(2), indicaron que los mejores rendimientos fueron con 100-200-100 y 50-200-100 Kg/Há. sin encontrar diferencias entre ambas.- Se encontró una interacción NP significativa.-

Lunin et al.(11), realizó un ensayo de invernáculo, utilizando un suelo con un bajo nivel de fertilidad (bajo contenido de NPK)

10/10

Se observó que aumentando el nivel de NPK se aumentó el rendimiento de tallos y vainas.- La curva de respuesta para el caso de este ensayo indica que los niveles de NPK no llegaron a ser óptimos para la producción.-

2-2-6 Aplicación de fertilizantes.

2-2-6-1 Fertilización en el suelo.

Se ha comprobado que algunos fertilizantes aplicados en contacto directo con la semilla de poroto tienen efecto fitotóxico sobre el crecimiento y germinación de la misma.-

Hernandez, Sayre y Clark, Salter y Sumerville citados por Fassbender(5), informaron sobre la toxicidad de nitratos de amonio, sodio, calcio y potasio; sulfato de amonio; cianamida cálcica y urea; esta última con un efecto más grande pero de más corto plazo, otros materiales nitrogenados orgánicos (sangre seca, "tankage", etc.) no presentan efecto tóxico o es muy leve.-

En cuanto a los fertilizantes fosfatados (superfosfato; superamonificado), ese efecto fitotóxico desaparece entre los 2 y 9 días de contacto con la semilla como lo indica Sayre y Clark citados por Fassbender (5), teniendo luego un gran efecto como estimulante del crecimiento radicular.-

Entre las fuentes de potasio, el sulfato, cloruro y nitrato tienen gran efecto fitotóxico pero de corta duración como lo indica Sayre y Clark y Hernandez citados por Fassbender(5).-

Podemos decir que los factores que inciden y determinan la intensidad y duración del efecto fitotóxico son como lo indica Fassbender(5):

1- La velocidad de disolución del fertilizante y la concentración en la "zona del fertilizante".- Este efecto se ve incrementado cuando mayor es la velocidad de disolución del fertilizante y a mayor concentración de sales.- Esto se determina por el Índice Salino del material que como indican Fried et al.(7), es mayor para los portadores de nitrógeno y en especial para el cloruro de potasio.-

2- Translocación en el suelo ya sea horizontal o vertical, permitiendo la "dilución" del efecto fitotóxico.-

De acuerdo a las características químico-físicas de los fertilizantes se derivan medidas prácticas sobre momento y localización de la aplicación.-

Generalmente se recomienda una aplicación en bandas 2-5 cms. al lado y 4-5 cms. abajo de la semilla como indican Cook, Millar, Emmert citados por Fassbender (5), aunque se citan otros métodos por Summerville citado por Fassbender (5), (directamente debajo de la semilla), Rhan citado por Fassbender (5), (combinado voleo con banda).-

Fassbender (5), cita que Arruda, Mitchell, Prest y Rahn indicaron que la aplicación combinada, una parte al inicio y el resto en cobertura es la que da mejores resultados.-

2-2-6-2 Fertilización foliar.

Es conocida que la aplicación foliar de elementos menores pueden compensar las deficiencias de estos en las plantas.-Ozaqui citado por Fassbender (5), concluyó que las pulverizaciones

foliares suplen solamente parte del total de nutrientes requeridos de los elementos mayores (N-P-K).- También es conocido que en suelos altamente fértiles las aplicaciones foliares de N y P no produjeron aumentos en los rendimientos, como lo indica Malavolta (12).-

Sin embargo, ocasionalmente un elemento puede volverse limitante a pesar de realizar grandes aplicaciones del mismo; y hay casos que no pueden hacerse aplicaciones de fertilizantes en forma complementaria mediante el agua de riego o en cobertura por encontrarnos en períodos húmedos (no se puede efectuar riego o penetrar a realizar labores) y/o en la última etapa de crecimiento cuando el follaje cubre el suelo (la planta se "echa") y no permite el pasaje del tractor e implementos sin causar daños.-

En estos casos puede ser de importancia las aplicaciones foliares y los beneficios que de ella se pueden obtener dependen (si son necesarios y hay respuesta económica) de la posibilidad de asociarlos a tratamientos fitosanitarios).-

Entre los muchos factores que determinan la posibilidad y efectividad de la nutrición foliar del cultivo, está la movilidad de los elementos en la planta, la especie y el estado de desarrollo en el momento en que el ion es aplicado, la naturaleza de la solución aplicada y las limitaciones sobre la absorción radicular impuestas por el medio ambiente y el suelo, Malavolta (12).-

Ozaki et al. (15), trabajando con porotos indicaron que la adición de urea aldehído y pesticida será utilizado por las plantas de porotos, y se podría usar a este efecto 2 a 5 libras de urea por cada 100 galones de caldo.- En este mismo se reporta fitotoxicidad de parathion sobre las plantas de porotos deficientes en nitrógeno.- Se reportó fitotoxicidad de la urea a ciertas concentraciones, daño que es prevenido por la adición de sucrosa con la salvedad que ésta reduce el nivel de peso seco producido.-

2-3 Funciones de respuesta y diseños experimentales

2-3-1 Funciones de Respuesta

A fin de cuantificar el efecto que ciertos factores tienen o pueden tener en el rendimiento final, se hace necesario postular relaciones matemáticas, en las cuales una variable, el rendimiento u otra expresión del crecimiento vegetal, sea una función de otras variables, cuya variación genera o se asocia con variaciones en el rendimiento. A la primera se le llama variable dependiente (Y), y a las otras, variables independientes (x_1, \dots, x_n). de tal modo que $Y=f(x_1, \dots, x_n)$.- En nuestro caso, se procurará relacionar el rendimiento con el suministro de nutrientes.

2-3-1-1 Funciones de respuesta para un solo nutriente

Baun (1) señala que se han usado dos aproximaciones generales en el desarrollo de expresiones matemáticas para relacionar la cantidad de elementos nutritivos presentes y el crecimiento vegetal:

1) Intentos para definir un modelo que exprese las leyes básicas del crecimiento vegetal: y que éste ajuste los datos experimentales en forma más o menos rígida.-

2) Los datos son estudiados por métodos estadísticos y se desarrollan ecuaciones polinomiales empíricas, sin asumir que la misma deba expresar las causas subyacentes.-

La primera aproximación es más interesante desde el punto de vista lógico e intuitivo, ya que al estar basado en relaciones biológicas, tiene valor causal y por lo tanto alto grado de generalización.-

Sin embargo, los sistemas biológicos más simples son relativamente complejos y difíciles de obtener.-

En los siguientes párrafos se discutirán algunos de los modelos funcionales que tienen justificación biológica.-

Ley de Liebig o Ley del Mínimo.

"Por la deficiencia o ausencia de un constituyente necesario, estando todos los otros presentes, el suelo se vuelve estéril para todas aquellas cosas echadas en las cuales el constituyente es indispensable". De otra forma, el crecimiento no puede ser mayor que aquel determinado por el factor más escaso.-

Ley de Blackman (El óptimo y los factores limitantes)

Esta ley sugiere que cuando un proceso es condicionado en su rapidez por un número de factores limitantes, la velocidad del proceso es limitada por el factor más lento.-

Cuando se realizaron ensayos para confirmar este concepto, rara vez se encontraron curvas rectas y ángulos. Como resultado de esto, las ideas de Liebig y Blackman fueron seriamente criticadas. Esto no significa que la ley del mínimo no rija, ya que es la que siempre se da desde el momento en que el factor se hace limitante.-

Ley de los incrementos decrecientes.

Mitscherlich desarrolló una ecuación que relaciona el crecimiento de las plantas al suministro de nutrientes. Observó que cuando las plantas fueron suplementadas con cantidades de todos los nutrientes menos uno, el crecimiento era proporcional a la cantidad de ese elemento limitante que era suplementado al suelo. El crecimiento de las plantas se incrementó cuando ese factor de crecimiento fue adicionado, pero no en proporción directa a la cantidad agregada del mismo.-

La ley de Mitscherlich establece que: "El incremento en una cosecha producido por una cantidad de incremento de un factor deficiente, es proporcional al decremento de aquel factor desde el máximo".

El efecto de un factor de crecimiento fue tomado como dependiente de la diferencia entre la cantidad disponible y la cantidad necesaria para obtener la producción máxima.-

$$\frac{dy}{dx} = (A-Y) C$$

Donde:

dy= es el aumento de producción resultante de un incremento del factor x.

dx= es el incremento en el factor de crecimiento x.

A= es la producción máxima obtenible por el suplemento de todos los factores en cantidades óptimas.

Y= es la producción obtenida antes de darle alguna cantidad de ese factor x.

C= constante de proporcionalidad, la cual depende de la naturaleza del factor de crecimiento.

Por integración y asumiendo que Y=0 cuando x=0.

$$Y=A(1-e^{-cx})$$

FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

La ecuación de Mitscherlich es empírica y es objeto de mucha controversia, sobretodo acerca del factor C del crecimiento.-

1) Mitscherlich estableció que C permanece constante para cada factor de crecimiento y que no es afectado por el cultivo o por las condiciones ambientales presentes. Sin embargo pudo demostrarse que C es función del suelo y del material fertilizante.-

2) La ecuación de Mitscherlich además caracteriza una curva de respuesta que se aproxima asintóticamente a un máximo A, sin que haya posibilidad de rendimientos decrecientes gradualmente mayores luego de alcanzado el máximo.-

Estas constituyen dos limitaciones importantes y para eliminar la última objeción, Mitscherlich desarrolló su segunda aproximación. En la ecuación de diferenciales, los incrementos obtenidos son divididos por el rendimiento Y.-

Mitscherlich realizó muchos de sus trabajos en cultivos en arena y cuando x fue 0, Y también fue cero, sin embargo cuando se utilizan suelos, una producción Y₀ está asociada con X₀ (cero aplicación de fertilizantes).

Una forma de ecuación modificada, comunmente usada en suelos, se plantea como; $\log A - \log (A-Y) = c(x+b)$, en la cual b, es una medida de la cantidad efectiva del nutriente x en el suelo expresado en las unidades del nutriente x aplicado. (National Reserch Council, (14).-

Con respecto a las constantes de proporcionalidad, Rautemberg demostró, que en la ecuación modificada, pueden ser calculadas con tres valores de Y (y₀, y₁, y₂) a tres niveles de X (x₀, x₁, x₂) en la cual $(x_2) = 2(x_1)$ por medio de las siguientes ecuaciones (National Reserch Council, (14).-

$$A = \frac{Y_1^2 - Y_0 Y_2}{2Y_1 - Y_0 Y_2}$$

$$b = \frac{X_1 \log A - 2 \log (A-Y_1) + \log (A-Y_2)}{\log (A-Y_1) - \log (A-Y_2)}$$

$$c = \frac{\log A - \log (A-Y)}{x+b}$$

Baule señaló una interesante propiedad de la ecuación de Mitscherlich que permite hacer lo mismo más fácilmente por métodos no matemáticos.

Primero, expresó los rendimientos en términos relativos, expresados como porcentaje de la producción máxima, con $A = 100$.

Determinó una cantidad de x , a la cual llamó "efecto cantidad" y la designó h de tal forma que h unidades de x permiten alcanzar la mitad del rendimiento total A . El señala que h es inversamente proporcional a la constante de proporcionalidad C .

En los casos de cultivos sobre arena, $1h$ produce $0,5 A$ de rendimiento, $2h$ producen $0,75 A$, $3h$ $0,87 A$.

La función logística.-

La función logística, es comunmente usada para ajustar curvas de crecimiento en poblaciones y puede ser expresada de la siguiente forma:

$$Y_t = \frac{K}{1 + be^{-at}}$$

donde a , b y K son parámetros estimados con los datos observados e Y_t es el valor del caracter de crecimiento estudiado en un tiempo t . Para modelos de respuesta al uso de fertilizantes, debemos sustituir x por t .

Esta curva tiene una asíntota inferior para $y=0$, otra para valores de $Y=K$, y el punto de inflexión es a valores de $Y = \frac{K}{2}$, inter

medios entre las dos asíntotas. De esta forma tenemos la curva sigmoide. Este modelo es muy útil y debería ser usado para caracterizar el retardo inicial del crecimiento. Este se presenta cuando las cantidades del factor de crecimiento en el suelo son muy bajas, mostrando pequeños incrementos en un amplio rango de aplicación del factor considerado y también cuando se da competencia entre el suelo y la planta por ese factor (Ejemplo: fijación del P, inmovilización del N). En las situaciones usuales este retardo inicial no es observable.

La función de Cobb-Douglas. $Y = ax^b$

Ha sido empleada como modelo de varias investigaciones económicas. En esta ecuación, Y es el rendimiento, a y b son constantes, con x como el nivel del factor, la ecuación puede ser escrita en forma lineal como:

$$\log Y = \log a + b \cdot \log x$$

Funciones polinomiales

Los términos en una ecuación polinomial pueden variar de 1 a $n-1$, cuando n es el número de niveles del factor x .

Las ecuaciones de primer grado, describen una línea recta, mientras que las de segundo grado o cuadráticas, describen una curva monótona.

Las formas usuales son:

lineal: $Y = B_0 + B_1 x$

cuadrática: $Y = B_0 + B_1 x + B_{11} x^2$

cúbica: $Y = B_0 + B_1 x + B_{11} x^2 + B_{111} x^3$

General: $Y = B_0 + B_1 x + \dots \dots \dots B_{(n-1)} x^{(n-1)}$

Las x pueden ser transformadas en raíces cuadradas, logarítmicas, recíprocas y otras formas y ser aplicadas con los mismos procedimientos de ajuste.-

Discusión de la aplicación de Modelos exponenciales, Cobb-Douglas y polinomiales

Las funciones mencionadas son solamente algunas de las mejor conocidas de un gran número de funciones posibles. El problema es entonces elegir la mejor función decisión que no puede ser tomada a partir de una serie de reglas. Usando el procedimiento del mínimo cuadrado el valor de las constantes puede ser completado. Este procedimiento da el mejor ajuste para las formas particulares del modelo.

No se puede pretender que algunas de las funciones represente leyes biológicas fundamentales, aunque es posible racionalizar la forma de una función particular en una situación particular.-

Un procedimiento de elección de la mejor función es plantearla y seleccionar la que mejor ajuste los datos. La forma más corriente de caracterizar la adecuabilidad de un modelo de regresión a una serie de datos, es a través del coeficiente de determinación (r_2) que mide en %, la fracción de la variación en la variable dependiente, explicada por la regresión, en las variables independientes.-

Un procedimiento útil, cuando los datos son examinados en experimentos con repeticiones (más de una observación en cada tratamiento), es tener en cuenta la magnitud de la falta de ajuste que es dada por el análisis de variancia de la regresión.- Corresponde a la porción de las desviaciones de la regresión que no son debidas al error experimental.-

Johson y Heady citados por Baum (1), examinaron tres modelos de funciones para ajustar curvas y concluyeron que los modelos polinomiales cuadráticos dan generalmente los mejores ajustes.-

Heady y otros citados por Baum (1) encontraron que el ajuste fue mayor usando la transformación de raíz cuadrada para la variable x, en el modelo cuadrático.-

Las funciones de Mitscherlich y Cobb-Douglas obviamente dan un peor ajuste cuando la producción se deprime a las dosis altas de nutrientes, particularmente con nitrógeno.-

Una alternativa a seguir podría ser, descartar aquellas observaciones más allá de la producción máxima y ajustar la función exponencial o de Cobb-Douglas, usando el razonamiento de que nos interesa sólo ese trozo de la curva.- Esto puede parecer una técnica de poco valor estadístico ya que se está desechando información e introduciendo cierto grado de subjetividad dentro del análisis.-

Una ventaja particular de la función de Mitscherlich es que está da resultados razonables cuando son extrapolados valores de x .

Stevens citado por Baum (I), se manifiesta contra estas extrapolaciones y puntualiza que los errores Standard de los valores predichos se vuelven mayores a medida que los valores se aproximan a la asíntota.- Es necesario para establecer la generalización absoluta de la fórmula, sólidas justificaciones biológicas, gran número de observaciones, o ambos.-

El mismo autor puntualiza que ésto es posible en algunos modelos físicos, pero no en biología.-

Dos últimas ventajas han sido señaladas para las polinomiales.-

Primero, estas son fáciles de ajustar por procedimientos de mínimos cuadrados y es posible obtener estimaciones de los errores standar de las estimaciones.

Segundo, es la más flexible de las tres funciones en cuanto a sus posibilidades de extensión; en efecto, es posible adicionar términos en un polinomio debido a su propiedad expansiva lo cual da la posibilidad de incluir un número mayor de variables. Esto lleva la ventaja adicional de ser más aplicables a una serie de experimentos individuales conducidos en un número determinado de localidades y años.-

2-3-1-2 Funciones de respuesta para más de un nutriente.

Algunas de las funciones consideradas pueden ser generalizadas para dar una expresión matemática de la configuración geométrica de una superficie de respuesta cuando son considerados dos o más factores.-

Se han acumulado suficientes datos de experimentos factoriales con fertilizantes para dar alguna indicación de la naturaleza de la interacción entre nutrientes.- Comunmente la interacción entre N y P fue positiva, mientras fueron negativas las interacciones entre N y K.- En la práctica estas interacciones no pueden ser ignoradas.- Para especificar la dosis óptima económica y la mezcla de fertilizantes que tienen mínimo costo, es insuficiente determinar la curva de respuesta para cada nutriente individual, dejando todos los otros constantes, a un nivel uniformemente alto o bajo.- Ignorando las interacciones podríamos sobreestimar o subestimar las dosis óptimas, dependiendo del signo de la interacción.- Esto podría resultar también en especificaciones poco satisfactorias de las combinaciones de mínimos costos de los elementos.-

La función de Mitscherlich-Baule para superficie de Respuesta.-

Baule (1965) generalizó la función de Mitscherlich dejando constantes los supuestos fundamentales.- Supuso que: 1) cada uno de los factores que influyen en el crecimiento tienen efectos independientes; 2) existe un factor de eficiencia C constante y característico para cada nutriente.-

$$Y = A(1 - e^{-Cx_1})(1 - e^{-2x_2})(1 - e^{-3x_3})$$

Russel (1961) ilustró la independendencia de los factores de la siguiente forma.

Si Y y Y' representan la producción cuando x y x' son las cantidades de un factor L , cuando las cantidades de otro factor M permanecen constantes, entonces:

$$\frac{Y}{Y'} = \frac{(1-e^{-cx})}{(1-e^{-cx'})}$$

Esta relación es independiente del valor de A.
 Las estimaciones de interacción entre nutrientes en la función de Baule surgen de que las diferencias entre y e y' no permanecen constantes para las diferentes niveles de x.-

Ecuación multivariable hipérbolas. (fórmula de Resistencia de Maskell)

La idea central de esta fórmula es que el recíproco de la producción $\frac{1}{Y}$, es la suma de numerosas porciones, cada una de las cuales es función o efecto de un nutriente.-

$$\frac{1}{Y} = F(N) + F'(P) + F''(K) + \dots + C$$

Y= producción

$$F(N), F'(P), F''(K) = \frac{a_n}{n+N}, \frac{a_p}{p+P}, \frac{a_k}{k+K}$$

donde:

N,P,K= cantidades de nutrientes agregados.

n,p,k= representan las cantidades de los nutrientes disponibles en el suelo.-

a_n, a_p, y a_k= constantes que expresan la importancia de los nutrientes para la cosecha.-

Esta expresión asume que cada factor actúa independientemente de todos los otros, pero fija la diferencia de $\frac{1}{Y} - \frac{1}{xY'}$ como constante.-

Balmukand ilustró la aplicación de la función a datos provenientes de experimentos factoriales repetidos, usando procedimientos de mínimos cuadrados para estimar las constantes, y obtuvo estimaciones de las constantes. Además alcanzó satisfactorio ajuste de la superficie de respuesta, usando como criterio la magnitud de la falta de ajuste del cuadrado medio.- Sin embargo, es una función muy difícil de trabajar comparada con otras, razón por la cual ha sido poco usada.-

La función de Cobb-Douglas generalizada.-

$$Y = aX_1^b, X_2^c \dots \dots \dots X_n^n$$

n= número de factores considerados.

Puede ser escrita bajo forma logarítmica.

$$\log Y = \log a + b \log X_1 + c \log X_2 + \dots \dots \dots + n \log X_{n-1}$$

Se resuelve por el método de mínimos cuadrados.-

La función polinomial.

La función polinomial puede tomar una gran variedad de formas para un número dado de factores, dependiendo del grado de la

función y la escala en que las variables son expresadas.-

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_{11} x_1^2 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_3 x_3 \dots + b_n x_{n-1}^2 + b_{n2} x_n x_1 + \dots + x_{np} x_n x_p$$

x_1, x_2, \dots, x_n = son los nutrientes.

b_1 = son los coeficientes lineales.

b_{11} = son los coeficientes cuadráticos.

Una ecuación que contenga todos los términos de primer orden define un plano, una conténido los términos de primer y segundo grado definen una superficie cuadrática.-

Cuando la respuesta a nutrientes elementales sigue la ley de los incrementos decrecientes, el signo de los coeficientes de los términos lineales son positivos y el signo de los coeficientes cuadráticos son negativos.

La ecuación presenta un máximo, cuando los términos lineales son positivos y los términos cuadráticos son negativos.

Es una función fácilmente ajustada por procedimientos de regresión múltiple y manipulación algebraica simple. Además de la propiedad de tener un máximo, esta ecuación tiene isocuantas elípticas, isoclinas lineales, productos físicos marginales lineales.

Las isoclinas convergen a un máximo.

Transformación de raíz cuadrada de la ecuación cuadrática.

Se sustituye los x , por x_1 .

Cuando se ajustan los mismos datos de la función cuadrática, los valores de la ecuación de raíces cuadradas alcanzan valores mayores más rápidamente, mostrando un máximo más amplio y a valores más altos que la cuadrática.-

2-3-2 Diseños experimentales

El diseño experimental es solo una herramienta del método científico utilizado en una investigación, que depende del tipo de problema que se quiere estudiar, naturaleza de las conclusiones que se quieran obtener y de los medios materiales para desarrollar el trabajo.-

Estudios de Dosis y Combinaciones de fertilizantes.

Antes de discutir alternativas de diseños experimentales, parece necesario revisar someramente la evolución que ha sufrido la orientación del estudio de dosis y combinaciones de fertilizantes.-

La identificación y caracterización cuantitativa de las relaciones entre las variables independientes y dependientes es un problema fundamental de la fertilidad de suelos.-

En la mayoría de los sistemas, gran número de factores influyen en cada variable dependiente. Lo tradicional han sido experimentos, donde se modifica un factor, por vez, dejando los otros constantes a un nivel uniforme, alto o bajo.-

Desafortunadamente, a menudo no se reconoció que los resultados obtenidos dependían de esas condiciones específicas que per-

manecían constantes.

Hades et al. (8), indican que una información mucho más generalizable se obtiene cuando varios de los factores bajo estudio, varían simultáneamente, de forma tal que es posible estimar los efectos específicos de cada factor a diferentes niveles de cada uno de los otros factores incluidos en el estudio.-

En lo fundamental, durante mucho tiempo estas investigaciones tuvieron un carácter cualitativo o semicuantitativo, hoy día, sin embargo, posee un carácter esencialmente cuantitativo.-

En el primer caso el objetivo era detectar diferencias significativas entre tratamientos de fertilizantes, utilizando el análisis de variancia.-

En el segundo caso, se pretende estimar la variación del rendimiento debida a aplicaciones sucesivas de varios fertilizantes en todo el rango de respuesta.-

La relación continua entre rendimiento y nivel de fertilización se expresa por medio de un modelo matemático estimado estadísticamente por regresión múltiple.-

Asumiendo entonces la continuidad de la función rendimiento, pierde utilidad el análisis de variancia como herramienta estadística, dada su finalidad eminente cualitativa, para dar lugar al análisis de regresión múltiple. Esto último permite estimar en base a datos experimentales apropiados, los parámetros de la función aproximativa de rendimiento.-

Esta función tiene la suficiente amplitud como para incluir como variable independientes no solo los fertilizantes, sino también la disponibilidad de los mismos en el suelo y otros factores de producción manejables o no manejables. De esta manera es posible obtener en una sola investigación por lo menos cuatro tipos de resultados (Tejeda (17)). Es decir que se logra:

- a) calibrar el análisis de suelo con la respuesta al fertilizante.-
- b) estimar la naturaleza de la respuesta a varios nutrientes, incluyendo la interacción.-
- c) estimar el efecto de los factores edáficos y ambientales que modifican la respuesta del rendimiento a la fertilización.-
- d) realizar el análisis económico marginal, cuyos resultados sirvan para recomendar dosis económicamente óptimas de fertilizantes a los agricultores.-

Para un cultivo en una zona agroecológica determinada, el plan experimental consiste en términos generales, en la realización de un número de experimentos de superficie de respuesta.-

Estos experimentos se distribuyen en el área de estudio de manera tal de cubrir los principales tipos de suelo y se deben repetir durante 2 o 3 años de forma tal de cubrir el rango de condiciones climáticas que se presentan en la zona.-

Diseños de tratamientos para estimar superficies de respuesta.-

Alguna consideración de las combinaciones de tratamientos que pueden ser usadas en los experimentos de superficie de respuesta deben ser precedidas por cuidadosos estudios de la forma de la función de respuesta, pues es posible elegir combinaciones de tratamientos que permitan suministrar la máxima información por observación, Baum (1).

En ausencia de este conocimiento se pueden seguir dos alternativas:

1) una secuencia de experimentos, empezando con diseños simples y agregando posteriores observaciones en aquellos tratamientos que se consideran más importantes.-

2) En un experimento simple, una serie de combinaciones de tratamientos que permite cubrir un rango amplio de niveles con la posibilidad de ajustar modelos alternativos.-

La primera alternativa es usada frecuentemente en la experimentación industrial para la investigación de superficie de respuesta, porque el complejo ambiental puede ser controlado adecuadamente por experimentos llevados a cabo en tiempos diferentes.-

En la experimentación parcelaria, la experimentación secuencial con experimentos individuales es difícil a causa del tiempo requerido para completar una secuencia simple y porque muchas variables ambientales, particularmente las variaciones estacionales no pueden ser puestas bajo control, por lo menos económicamente.-

Factoriales completos.

Se definen como aquellos diseños en los cuales los tratamientos son formulados tomando todas las combinaciones posibles entre los niveles seleccionados de cada factor. Estos son frecuentemente usados para generar datos para estimar superficies de respuesta.-

El diseño factorial completo no especifica nada acerca de la forma en la cual las unidades experimentales deben ser organizadas. La palabra factorial se refiere solamente al arreglo de los tratamientos, de esta forma, un diseño factorial puede ser superpuesto sobre algunos de los diseños experimentales comunmente usados, como por ejemplo bloques de azar.

Los factoriales permiten un buen ajuste de las funciones de respuesta, debido a que permiten estimar las interacciones y proveen un número suficiente de observaciones.-

Breve descripción de los factoriales más comunmente usados.

Los diseños de primer orden, son los factoriales 2^n . Estos diseños son poco empleados para ensayos de superficie de respuesta.

La biología, tanto en la teoría como en la práctica, ha demostrado la naturaleza curvilínea, especialmente en la región de interés económico.

Los experimentos factoriales 2^n deben ser considerados como de gran valor en experimentos exploratorios o preliminares de fertilización.-

Estos pueden ser usados para establecer la magnitud de respuesta de un cultivo teniendo en cuenta los principales factores de crecimiento en nuevas áreas o con nuevos cultivos, junto con alguna medida de interacción.-

Esto permite la selección de los factores más importantes para una experimentación más intensa, o alternativamente permitir el descarte de las variables que no presentaron respuesta. También pueden ser utilizadas para proveer información acerca del rango de las dosis que pueden ser usadas en experimentos posteriores.-

Los factores 3^n , implican que los tratamientos se componen de

todas las posibles combinaciones de 3 niveles de n factores.-

Este permite el ajuste de una ecuación de segundo grado o una superficie de respuesta, pero es difícil elegir solamente tres niveles para un adecuado muestreo, especialmente cuando las variables incontrolables por el hombre deben ser tenidas en cuenta.-

Los factoriales 4^n y 5^n , han sido utilizados en los estudios de fertilización. El número de niveles de cada nutriente, se aproxima al número de tratamientos que el investigador desea usar, de forma tal de obtener muestras de un rango amplio de respuesta. La principal desventaja de los factoriales de alto grado es el número de combinaciones de tratamientos requeridos para los experimentos y se vuelve prácticamente prohibitivo cuando el número de factores exceden a dos. Por ejemplo un factorial 4^3 requiere 64 combinaciones de tratamientos para una repetición, mientras 125 tratamientos se requieren para un factorial completo 5^3 . Además las interacciones de orden superior, estimadas cuando se trabaja con más de dos factores, no tienen un significado agronómico claro.

Factoriales parciales.-

Numerosos investigadores se han aproximado a la solución del problema que representa el número tan alto de combinaciones de tratamientos requeridos por los factoriales completos, usando parte de los tratamientos requeridos.-

Otra posibilidad de utilizar el principio del confundido, en que el efecto de las interacciones de orden superior se confunde con el efecto block, con lo cual se puede disminuir el número total de unidades experimentales sin eliminar la estimación del error experimental.-

Según Heady y Dillon (10), desde un punto de vista estadístico el uso de los factoriales fraccionarios, para estimar superficies de respuesta, no es enteramente satisfactoria. Además si el efecto de los términos confundidos o no tomados en cuenta son importantes, podemos obtener una idea falsa del proceso productivo.-

Los parámetros estimados pueden ser sesgados por la omisión de efectos significativos de alto orden que son perdidos.

En resumen, los factoriales fraccionarios no son tan satisfactorios como los diseños más específicos para estimar superficies de respuesta, pero tienen mucho mérito.-

Diseños comuestos.-

Estos diseños han sido desarrollados por Box y Wilson para generar datos experimentales apropiados para la estimación de los parámetros de funciones de respuesta por medio de una ecuación de segundo grado de la forma:

$$Y = (B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + \dots + B_r x_r) + (B_{11}^2 x_1^2 + B_{22}^2 x_2^2 + \dots + B_{rr}^2 x_r^2) + (B_1 B_2 x_1 x_2 + B_2 B_3 x_2 x_3 + \dots + B_r B_n x_r x_n)$$

Se caracteriza por requerir un número menor de tratamientos que los factoriales fraccionados para estimar un número dado de coeficientes (b_i) y proporcionar estimaciones estadísticas tan

buenas o mejores, en relación al número de observaciones re ueridas por un factorial completo.-

El diseño compuesto, más frecuente usado, consiste de un factorial completo o parcial 2^k , suplementando con puntos adicionales o tratamientos, de forma tal, que todos los coeficientes de un polinomio de segundo grado de k factores pueden ser estimados. Si esos tratamientos extra son arreglados simétricamente alrededor del centro del factorial, resulta un diseño central compuesto.-

Para construir un diseño central compuesto, sobre la base del factorial $1^k 2^k$ se le deben agregar $2K + 1$ tratamientos suplementarios. Unos de esos tratamientos adicionales es colocado en el centro del diseño y se codifica su valor, quedando como $(0, 0, 0, \dots, 0)$. Los otros 2^k tratamientos adicionales son colocados en pares a lo largo de los ejes coordenados a distancias de:

$\pm\alpha_1, \pm\alpha_2, \dots, \pm\alpha_k$ desde el centro respectivamente.

Los valores codificados son: $(\pm\alpha_1, 0, 0, 0, \dots, 0)$ $(0, \pm\alpha_2, 0, 0, \dots, 0)$

$(0, 0, \dots, \pm\alpha_k)$ Por conveniencia es deseable que los valores de x sean iguales o lo que es lo mismo, que los $2K$ puntos experimentales no centrales sean equidistantes del centro del diseño.

De los resultados experimentales se puede calcular el error standar de Y_u para cualquier punto de la superficie ajustada y este error es una función de las coordenadas X_{iu} del punto.-

Cuando el error standar es el mismo para todos los puntos que se encuentran a igual distancia del centro, estamos frente a un diseño central compuesto rototable. En este caso el valor de x para los $2K$ puntos suplementarios es $2K/4$, Hades et al. (8).-

Como ejemplo, consideraremos el diseño central compuesto para el estudio de tres factores, X_1, X_2, X_3 , mostrados en el cuadro 2-7.-

Cuadro 2-7 Diseño central compuesto para tres factores.-

Tratamiento	X_1	X_2	X_3
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1
9	0	0	0
10	α	0	0
11	$-\alpha$	0	0
12	0	α	0
13	0	$-\alpha$	0
14	0	0	α
15	0	0	$-\alpha$

Los primeros 8 tratamientos corresponden a un factorial completo 2^3 . Los tratamientos 9 a 15 aumentan este factorial, el noveno corresponde al centro mientras los tratamientos 10 a 15 son los puntos experimentales no centrales. Una repetición simple del experimento debe dar 15 observaciones, las cuales deberían ser suficientes para estimar los 10 parámetros de una polinomial de segundo grado. Si un factorial completo 3^3 fuera usado para estimar cada polinomio, se requerirían 27 unidades experimentales y tratamientos. De esta forma el diseño compuesto demanda menos recursos que los factoriales. Como muestra el cuadro 2-8, este hecho a menudo es cierto cuando están involucrados más de dos factores. Además, se ve que con incrementos de k, aumenta la economía que resulta del uso de un diseño central compuesto.-

Cuadro 2-8 Número de puntos experimentales requeridos para la estimación de una polinomial de segundo grado de k factores usando diseños factoriales y centrales compuestos. (Heady y Dillon, 1961)

Diseño	k				
	2	3	4	5	6
3^k factorial	9	27	81	243	729
$(\sqrt{3})3^k$ factorial			27	81	243
Central compuesto	9	15	25	277	43§

§ Sobre la base de un $(\sqrt{2}) 2^k$ factoriales.

Los vértices del cubo son los 8 tratamientos correspondientes al factorial 2^3 más los 6 tratamientos estrellas 2×3 situados sobre perpendiculares a las caras del cubo que pasan por el centro más el tratamiento central. Utilizando los valores codificados (-2, -1, 0, 1, 2) de los niveles de los factores, las ordenadas de los vértices del cubo son los tratamientos $(\pm 1, \pm 1, \pm 1)$, de los puntos estrellas son $(\pm 2, 0, 0)$, $(0, \pm 2, 0)$, $(0, 0, \pm 2)$ y el punto central es $(0, 0, 0)$, pudiendo representarse el diseño mediante la figura 2-1. Este diseño no incluye el tratamiento testigo ni los máximos.-

Voss y Pesek (18) han utilizado una modificación que incluye 23 tratamientos, entre los que se encuentra el testigo y los máximos, utilizando 2 repeticiones de todo el diseño para estimar el error experimental. Los 23 tratamientos se pueden representar gráficamente como dos cubos concéntricos de vértices $(\pm 1, \pm 1, \pm 1)$ y $(\pm 2, \pm 2, \pm 2)$ respectivamente, con seis puntos estrellas $(\pm 2, 0, 0)$, $(0, \pm 2, 0)$, $(0, 0, \pm 2)$ y mas el tratamiento central $(0, 0, 0)$.

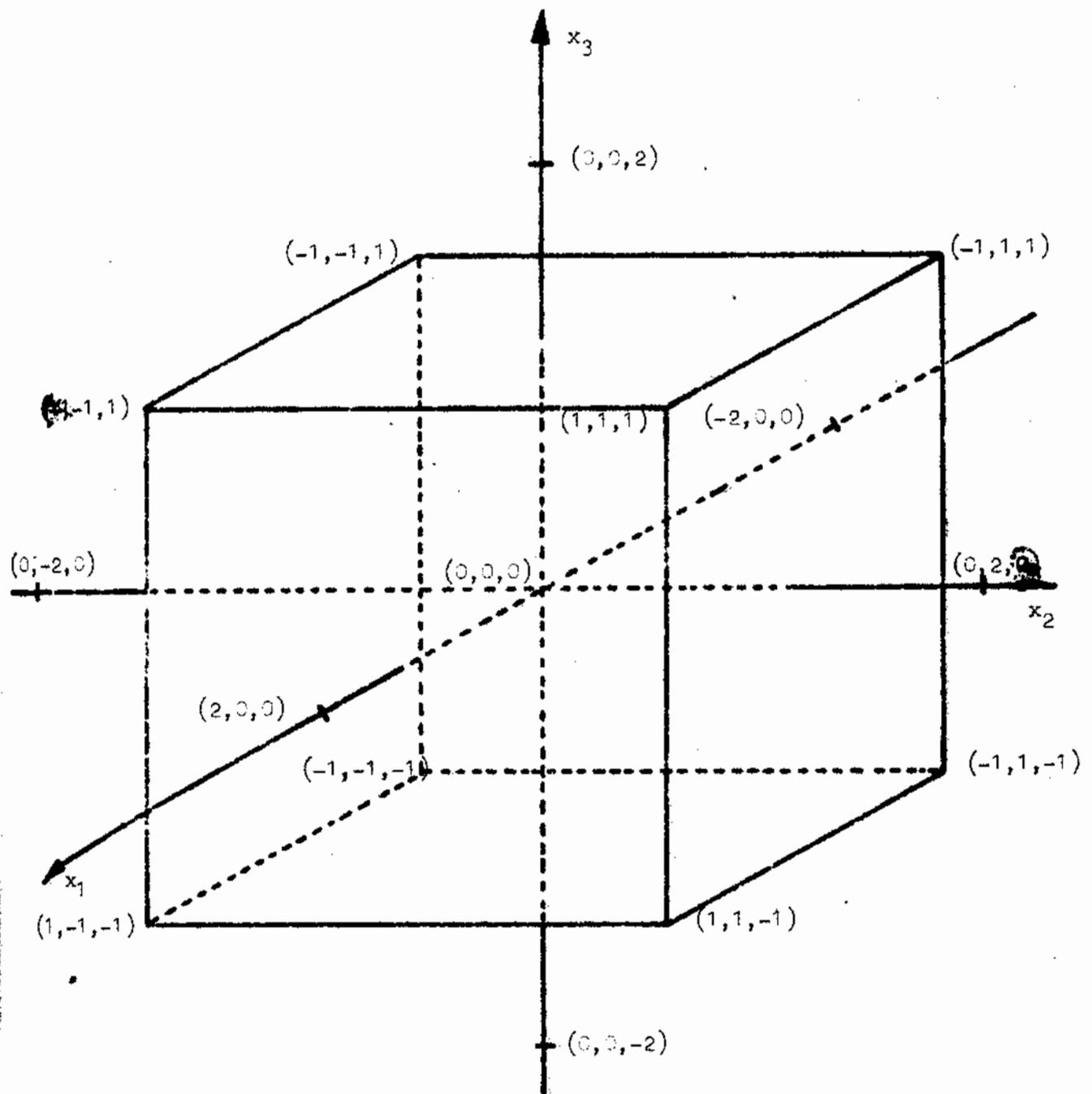


FIGURA 2-1.- Explicaciones en el texto.

(3) MATERIALES Y METODOS.-

El trabajo se llevó a cabo en una Pradera Parda Media, caracterizada en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, con los resultados ilustrados en el cuadro 3-1.-

El lugar se seleccionó en base a fertilidad natural baja.-

CUADRO 3-1.- Caracterización físico química de la parcela experimental.-

	Análisis químico				
	P ppm	K meeq/100grs.	pH		Mat.Org. %
	Bray	Iowa	Agua	KCl	
Bloque 1	7.0	0.4	6.1	4.9	3.49
Bloque 2	7.0	0.5	5.2	4.6	3.37
Bloque 3	6.5	0.4	5.8	4.4	3.89

	Análisis físico			
	Limo %	Arcilla%	Arena%	Clase textural
Bloque 1	60.7	23.5	15.8	Franco limoso
Bloque 2	60.4	24.9	14.7	Franco limoso
Bloque 3	60.1	25.4	14.5	Franco limoso

Se realizó un estudio del perfil, observándose que este no presentaba ningún horizonte con poca o nula penetración, a una profundidad conveniente para el desarrollo radicular del cultivo.-

Una descripción del perfil promedio sería la siguiente:

- 0-10 - Franco limoso; pardo grisáceo muy oscuro 10 YR 3/2, friable, bloques subangulares medios, moderados, transición gradual.
- A 11
- 10-30- Franco arcillo limoso; pardo muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro 10 YR 2,5/2, friable a firme, bloques subangulares medios, moderada, transición gradual a claro.
- A3
- 30-51 - Arcillo limoso; pardo grisáceo muy oscuro o gris muy oscuro 3/16, firme; película de arcilla media y continuas, bloques subangulares gruesas moderada, transición clara.
- B 2- t
- 51-69 - Arcillo limoso pesado, gris muy oscuro 10 YR 3/1 firme; películas de arcilla medias y continuas; bloques subangulares gruesos moderada transición clara.
- B 2-2 t
- 69-82 - Arcillo limoso; pardo oscuro 7,5 YR 4/2 y pardo 7,5 YR 5/4; firme; bloques subangulares medios moderada, películas
- B 3

de arcilla delgadas y discontinuas, transición gradual.

82-105+-Arcillo limoso; pardo 7,5 YR 5/4, firme; bloques angulares moderada.

Cada parcela consistió de 4 surcos de 4 metros de largo, separados por una distancia de 75 centímetros.-

El suelo permaneció inculco los dos años anteriores al ensayo. Previo al mismo, en los meses de junio y agosto se realizaron dos aradas y posterior disqueada previa a la siembra.-

La aplicación de fertilizantes y la siembra se realizaron abriendo surcos con un carpidor, en los cuales se depositó el fertilizante, se procedió luego a tapar ese surco con la tierra de un solo borde, para luego depositar la semilla a una distancia de 8 centímetros cada una entre sí, manera que la semilla quedó separada de la banda fertilizante, por una capa de tierra de 5 centímetros de espesor. La semilla se cubrió con la tierra del otro borde del surco. Antes de cubrirla, se le aplicó una mezcla de Furadan y Captan.-

Tanto la fertilización como la siembra se realizaron a mano.-

Se realizaron dos carpidas y una cura contra insectos.-

Se procedió a la cosecha, cuando se estimó que un 50% de las vainas estaban secas. La cosecha se realizó a mano, utilizándose a los efectos de la evaluación los dos surcos centrales de cada parcela, desechándose las plantas de los primeros 20 centímetros de los extremos de cada uno. Por lo tanto el área útil cosechada, fue de 4.68 metros cuadrados.-

En el campo se contabilizaron el número de plantas en el área cosechada y el número de vainas por planta. La trilla se realizó a mano y los porotos fueron secados al aire por un lapso de tres semanas. Luego se contabilizó el número de porotos totales, peso de los mismos, peso de 100 porotos y número de porotos por chaucha.-

La siembra se realizó el 26 de octubre de 1974 y la cosecha el 2 de febrero de 1975.-

Se consideró que las semillas contaban con la suficiente humedad suministrada por el suelo, como para asegurar una buena nascencia de las mismas.-

La pendiente del lugar seleccionado, era del orden del 1%, quedando los bordes del ensayo y de los bloques empastados.-

Se usaron semillas de procedencia norteamericana de la variedad "Bountiful", a las cuales se les realizó una prueba de germinación, que arrojó un porcentaje del 95%.-

Como fuente de Nitrógeno se usó urea comercial con un 46% de N; la fuente fosfatada fue superfosfato comercial con 20% de P_2O_5 y la fuente de potasio, cloruro de potasio comercial con 60% de K_2O .-

Se utilizó como diseño experimental, el Central Compuesto modificado para tres variables (NPK), del cual se realizaron tres repeticiones. Cada repetición constaba de 23 tratamientos. Las dosis utilizadas para cada nutriente, así como los valores codificados se muestran en el cuadro 3-2. El diseño de campo fue de bloques con parcelas al azar.-

CUADRO 3-2.- Tratamiento del central compuesto modificado en valores codificados.-

3	3	3	2	2	2	1	1	1
3	3	1	2	2	4	1	1	5
3	1	3	2	4	4	1	5	5
1	3	3	4	4	4	5	5	5
3	3	5	4	4	2	5	5	1
3	5	3	2	4	5	5	1	1
5	3	3	4	2	4	5	1	5
			4	2	2	1	5	1

Descodificación: 1-0 unidades N, P ó K
 2-150 unidades N, P ó K
 3-100 unidades N, P ó K
 4-150 unidades N, P ó K
 5-200 unidades N, P ó K.

Posteriormente a la siembra y durante el resto del mes de octubre, el total de lluvia caída fue de 106.6 milímetros; durante el mes de noviembre, de 7.3 mm; en diciembre 16.0; en enero 125.1 mm. De fin de enero a la cosecha, no se registraron lluvias y las más abundantes de enero, se dieron en el momento en que la planta había completado su desarrollo y los frutos comenzaron a secarse. De acuerdo a estos datos, proporcionados por la estación meteorológica más cercana al ensayo (Cátedra de Agroclimatología de la Facultad de Agronomía com. personal) y a la comparación de los mismos con los promedios suministrados por el Observatorio Meteorológico del Prado para un periodo de 60 años, surge que la estación de crecimiento efectivo de las plantas, se vió afectado por condiciones de extrema sequía.-

Con los datos obtenidos se procedió a realizar los siguientes análisis estadísticos:

A- Análisis de Varianza de los siguientes datos: -Rendimiento de porotos (Kg.)

-Rendimiento de porotos (kg.) corregido por número de plantas.

-Peso de 100 porotos en gramos.

-Número de chauchas totales

-Número porotos por chaucha.

se determinó diferencia mínima significativa (L.S.D.) para los que dió significativo el análisis de varianza.-

B- Ajuste de una ecuación polinomial de respuesta al agregado de nutrientes del siguiente modelo:

$$Y = a + bN + cP + dK + eN^2 + fP^2 + gK^2 + hNP + iNK + jPK$$

Tomando como Y las siguientes variables: -Rendimiento de porotos (Kg.)

- Rendimiento de porotos (kg.) corregido por número de plantas
- Peso de 100 porotos en gramos.
- Número de chauchas totales.
- Número de porotos por chaucha.

El ajuste de la ecuación se procesó en una computadora IBM 350 modelo 44 del Departamento de Computación de la Universidad de la República, utilizándose un programa Step Wise IBM.-

Este programa además de estimar los coeficientes del ajuste de las diferentes variables, calcula el coeficiente de determinación (r^2), valor de F. de la significación global de la regresión y valores de t. para la significación de cada variable ajustada.-

C- Cálculo de la dosis óptima económica a partir de la derivada para N de la ecuación ajustada para rendimiento de porotos (Kg.) corregido por número de plantas.-

(4) RESULTADOS

4-1 .- Rendimientos .-

4-1-1.- Rendimientos sin corregir por número de plantas.-

En el cuadro 4-1, se presentan los rendimientos obtenidos para cada uno de los tratamientos, en kilogramos de porotos por hectárea, sin corregir por número de plantas.-

El análisis de varianza realizado, dió los resultados expresados en el cuadro 4-2.-

A partir del cuadrado medio del error, se calculó el L.S.D., el cual se utilizó para confeccionar el cuadro 4-3.-

Del análisis de varianza, se desprende que existió un efecto significativo de los tratamientos en su conjunto.-

El efecto bloque fué altamente significativo y explicó una buena parte de la variación total observada.-

Del estudio del cuadro 4-3, no aparecen claramente tendencias en las diferencias entre los tratamientos, por lo cual no se puede inferir un efecto claro de ninguno de los nutrientes.-

La ecuación ajustada, para caracterizar la respuesta al agregado de N P y K, así como los parámetros estadísticos estimados de la misma, son los siguientes:

$$Y = 496,11 + 5,42N - 80,85 P - 114,77 K - 27,99 N^2 + 11,57 P^2 + 10,44 K^2 + 4,77 NP + 18,55 NK + 2,82 PK$$

Y = rendimiento de porotos en Kg./Há., sin corregir por número de plantas.-

N, P y K, son las dosis de N, P₂O₅ y K₂O en valores codificados.-

coeficientes de determinación (r^2) = 0,76

Valor de F para la significación de la regresión = 7,149⁺⁺

Valor de "t" para testar la significación de las diferentes variables:

N = 1,23	N ² = 2,35 ⁺	NP = 0,71
P = 1,04	P ² = 0,97	NK = 2,77
K = 1,42	K ² = 0,88	PK = 0,42

Significación: + al 0,05
++ al 0,01

Globalmente, el modelo explicó un 76% de la variación observada, siendo esta explicación significativa al 0,01%.-

De las variables consideradas en la ecuación, los términos más importantes, son los que consideran al N.-

Los términos de P y K no explican significativamente parte de la variación.-

Se debe observar que los signos con que quedaron ajustadas las variables P y K, no son los que deberían esperarse de acuerdo a las características de la respuesta vegetal al agregado de nutrientes.-

Se puede notar que se dió una interacción positiva entre N y K, altamente significativa, lo que significa que la respuesta al N es mayor a mayores niveles de K.-

Las gráficas 4-1, 4-2 y 4-3, obtenidas a partir de la ecuación ajustada, muestran algunos casos de respuesta al agregado de un nutriente, manteniendo constante los otros dos. Se grafican mayor número de casos de respuesta al N, ya que es el único nutriente para el cual existió significación. Las gráficas correspondientes a la respuesta a P y K se dan a modo de ilustración.-

De las gráficas surge, que las dosis óptimas de N dependen en parte del nivel de los otros nutrientes, dada la existencia de términos de interacción, oscilando esas dosis entre 100 y 150 unidades de N por hectárea.-

CUADRO 4-1.- Rendimientos obtenidos para las diferentes dosis de N, P y K sin corregir por número de plantas en kilogramos por hectárea.-

Dosis de N, P y K	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Suma
0-0-200	16,40	190,70	597,20	804,30
0-100-100	16,00	420,00	442,00	878,00
50-50-50	75,50	533,60	534,40	1143,50
0-0-0	265,30	499,80	434,80	1199,90
50-150-150	163,90	342,00	539,30	1045,20
0-200-200	285,10	294,50	367,30	946,90
0-200-0	228,20	410,90	538,00	1177,10
100-100-100	194,00	510,90	191,00	895,90
100-100-0	517,40	190,90	521,80	1230,10
50-50-150	304,00	475,00	486,10	1265,10
100-200-100	330,00	409,20	549,90	1289,10
50-150-50	272,10	532,20	588,70	1393,00
200-100-100	69,40	69,10	464,00	602,50
200-200-0	32,40	223,10	707,80	963,30
150-50-50	110,20	85,90	459,80	655,90
150-150-150	373,80	783,90	630,60	1788,30
150-50-150	404,30	409,10	631,30	1444,70
150-150-50	164,80	330,70	287,40	782,90
100-0-100	238,30	415,90	586,70	1240,90
200-0-0	96,20	266,20	445,80	808,20
100-100-200	133,80	394,00	645,00	1172,80
200-200-200	202,30	610,90	625,20	1438,40
200-0-200	205,10	248,80	642,00	1095,90
Suma	4698,50	8647,30	11916,10	25261,90

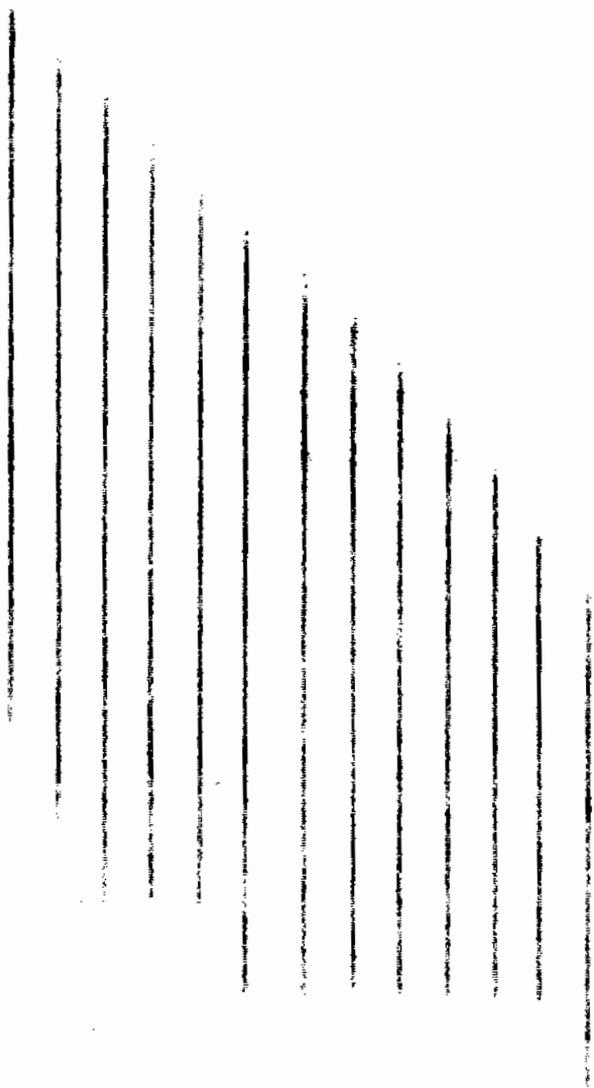
CUADRO 4-2.- Análisis de varianza para los rendimientos sin corregir por número de plantas.-

Causas	g.l.	SC	CM	F
Bloques	2	589914,65	26814,30	33,60 ++
Tratamientos	22	1135823,55	567911,77	1,70 +
Error	44	743633,55	16900,76	
Total	68	2469371,75		

Significación: + al 0,05
++ al 0,01

CUADRO 4-3.- Mínima diferencia significativa (L.S.D.) al 0,05.-

200-100-100 ---	201
150-150-50 ----	218
150-150-0 ----	261
0-0-200 -----	268
200-0-0 -----	269
0-100-100 -----	293
100-100-100-----	299
0-200-200 -----	316
100-200-0 -----	321
50-150-150 ----	348
200-0-200 ----	365
50-50-50 -----	381
100-100-100-----	392
0-200-0 -----	392
0-0-0 -----	400
100-100-100 ---	410
100-0-100 ----	414
50-50-150 ----	422
100-200-100-----	429
50-150-50 ----	464
200-200-200 ---	479
150-50-150 ----	482
150-150-150 ---	569



Las cifras a la derecha de los tratamientos, expresan el promedio de los rendimientos para las tres repeticiones.-

M.D.S. (L.S.D.) al 0,05 = 208,05 Kg.

Las líneas unen los tratamientos que no difieren significativamente al nivel indicado.-

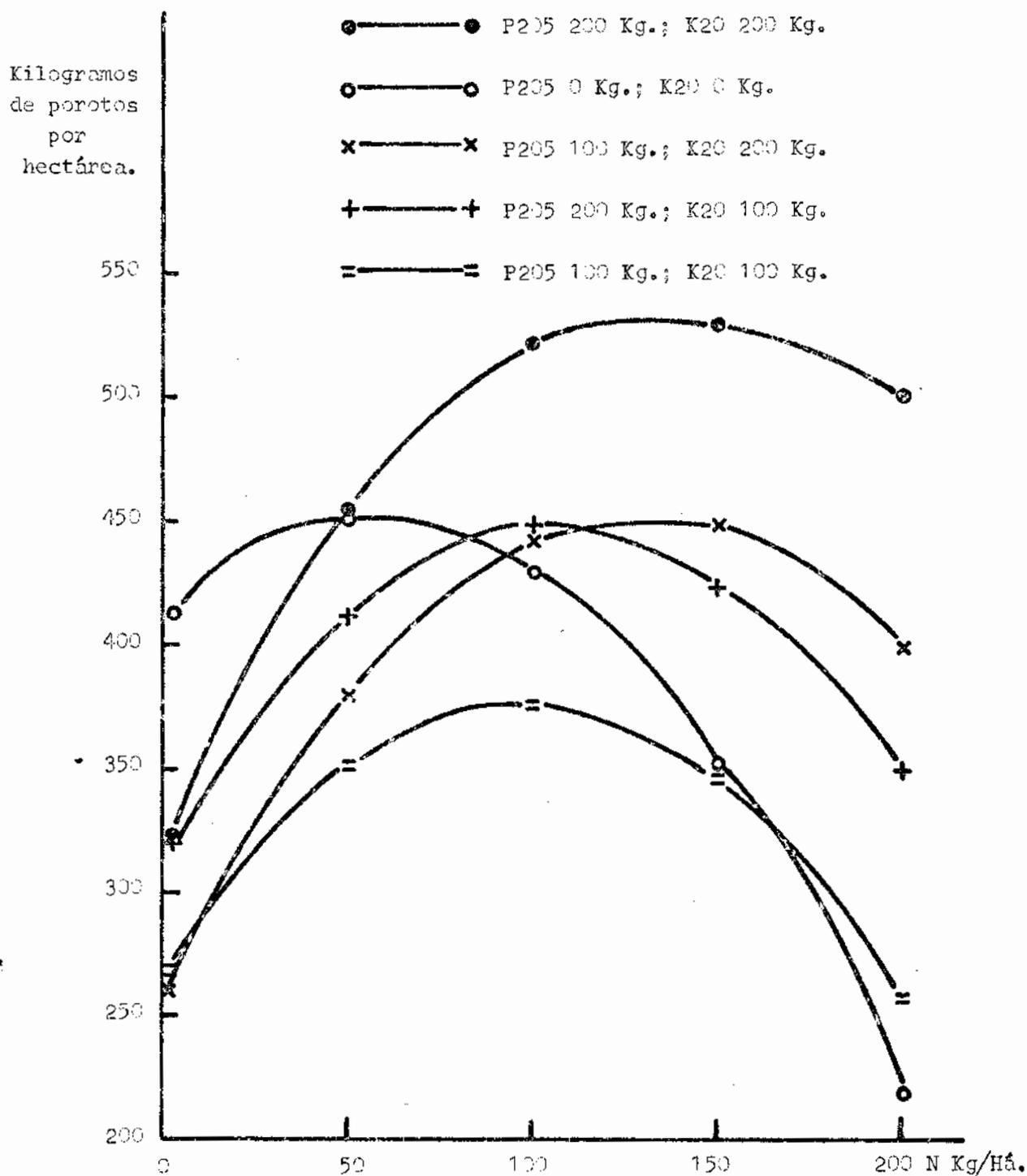


FIGURA 4-1.- Respuesta en kilogramos de porotos por hectárea (sin corregir por número de plantas). al agregado de N, para diferentes niveles de P205 y K2O.

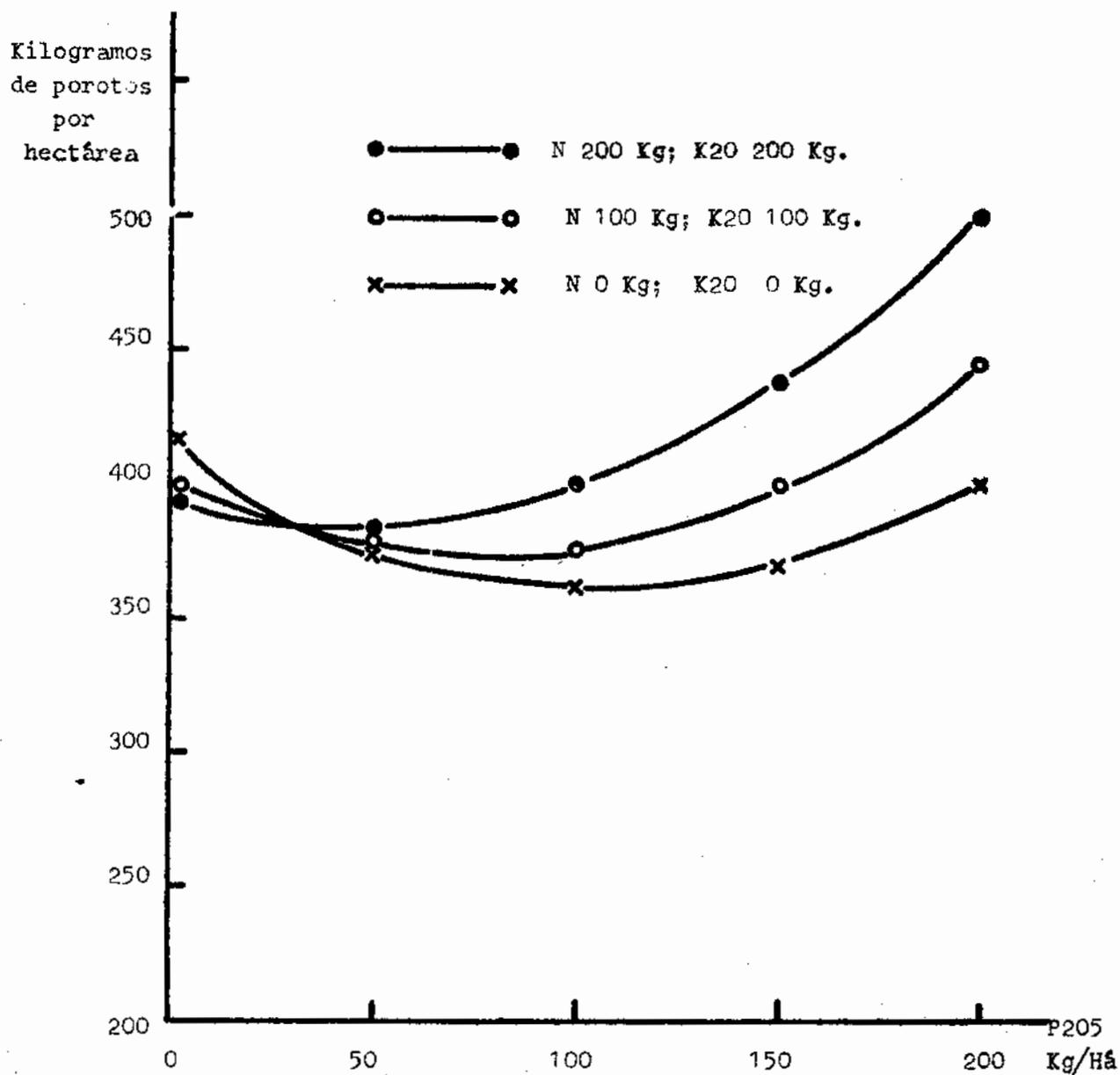


FIGURA 4-2.- Respuesta en kilogramos por hectárea de porotos (sin corregir por número de plantas), al agregado de P205, para diferentes niveles de N y K2O.-

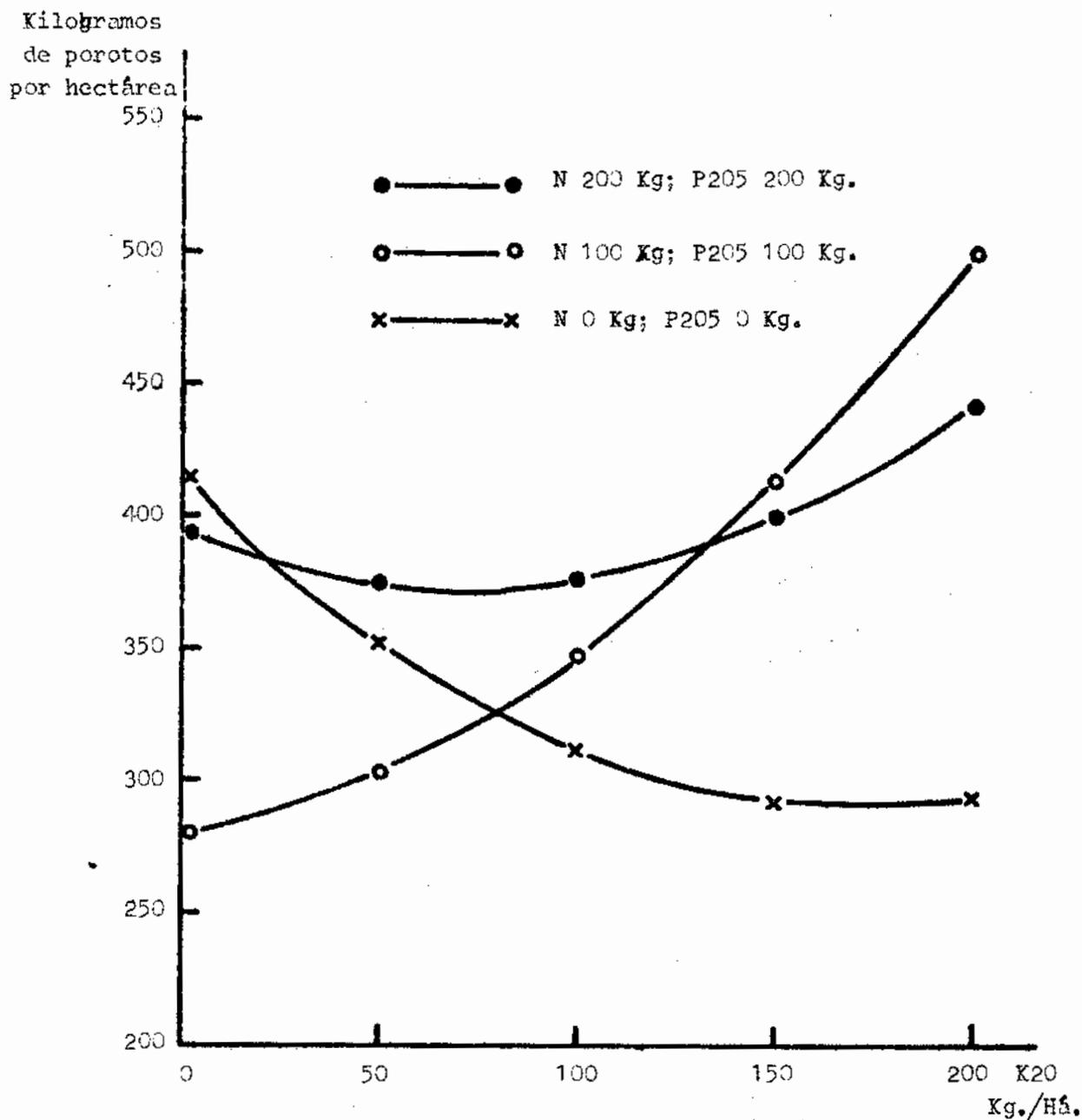


FIGURA 4-3.- Respuesta en kilogramos de porotos por hectárea (sin corregir por número de plantas), al agregado de K₂O, para diferentes niveles de P₂O₅ y N.

4-1-2.- Rendimientos corregidos por número de plantas.-

En el cuadro 4-4, se observan los rendimientos corregidos, en kilogramos por hectárea de porotos, calculados a partir de una dotación teórica de 102 plantas por fracción de parcela evaluada. La dotación teórica de plantas se determinó teniendo en cuenta la cantidad de semillas sembradas.-

El análisis de varianza realizado, dió los resultados expresados en el cuadro 4-5.-

El L.S.D. calculado a partir del cuadrado medio del error, fue utilizado para confeccionar el cuadro 4-6.-

Del análisis de varianza, se desprende que existió un efecto altamente significativo de los tratamientos en su conjunto.-

El efecto bloque, a diferencia de los rendimientos sin corregir por número de plantas, no explica una parte significativa de la variación total observada. Esto se debe a que el efecto importante de bloque, que existió en los rendimientos sin corregir, era consecuencia del diferente número de plantas en cada uno de los bloques, efecto que desaparece al corregir por número de plantas.-

Del estudio del cuadro 4-6, surge que en términos generales difieren significativamente del resto, por sus mayores rendimientos, aquellos tratamientos con dosis de N más altas y por sus menores rendimientos, aquellos con las más bajas.-

En cuanto al P y al K, no se detectan tendencias claras.-

La ecuación ajustada para caracterizar la respuesta al agregado de N, P y K, así como los parámetros estadísticos estimados de la misma, son los siguientes:

$$Y = 385,45 + 484,95 N - 95,61 P - 172,57 K - 51,88 N^2 + 28,97 P^2 + 27,27 K^2 - 24,70 NP + 18,86 NK - 4,82 PK$$

Y = rendimiento de porotos en Kg./Há., corregido por número de plantas.-

N, P y K son las dosis de N, P₂O₅ y K₂O en valores codificados.-

Coefficiente de determinación (r²) = 0,70

Valor de F para la significación de la regresión = 4,76 ++

Valores de "t" para testar la significación de las diferentes variables:

N = 2,81 ⁺⁺	N ² = 1,96 ⁻⁻	NP = 1,66 ⁻
P = 0,55	P ² = 1,09	NK = 1,27
K = 1,00	K ² = 1,03	PK = 0,32

Significación: - al 0,2
 -- al 0,1
 ++ al 0,01

Globalmente, el modelo explicó un 70% de la variación total observada, siendo esta explicación, significativa al 0,01%.-

De las variables consideradas en la ecuación, los más importantes son los que consideran al N.-

Los signos con que quedaron ajustadas las variables P y K, no son los que deberían esperarse de acuerdo a las características de la respuesta vegetal al agregado de nutrientes.-

Los términos de P y K, no explican significativamente parte de la variación.-

En las gráficas 4-4, 4-5 y 4-6, elaboradas a partir de la ecuación ajustada, se muestran algunos casos de respuesta al agregado de un nutriente, manteniendo los otros dos a los niveles que se indican. Por la misma causa expresada en rendimientos sin corregir, el mayor número de casos corresponden al N.-

De la observación de estas gráficas, surge que las dosis óptimas de N dependen del nivel de los otros nutrientes, dada la existencia de términos de interacción. Las dosis óptimas oscilan entre 100 y 200 Kg./Há. de N.-

CUADRO 4-4 .- Rendimientos obtenidos para las diferentes dosis de N, P y K, corregidos por número de plantas, en kilogramos por hectáreas.-

Dosis de N,P y K	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Suma
0-0-200	88,04	607,86	870,20	1566,10
0-100-100	85,89	738,62	764,13	1588,64
50-50-50	296,20	777,53	801,60	1875,33
0-0-0	563,76	708,05	642,75	1914,56
50-150-150	341,18	850,83	1018,68	2210,69
0-200-200	530,20	1155,35	567,65	2253,20
0-200-0	439,18	1022,24	844,72	2306,14
100-100-100	860,35	1085,66	671,79	2617,80
100-100-0	685,39	885,08	1108,82	2679,29
50-50-150	861,33	1153,57	751,25	2766,15
100-200-100	841,50	1159,40	849,84	2850,74
50-150-50	660,81	1428,54	1000,79	3090,14
200-100-100	1415,76	783,13	910,15	3109,04
200-200-0	826,20	1137,81	1336,95	3300,96
150-50-50	1724,04	796,53	868,51	3389,08
150-150-150	1089,36	1142,25	1236,95	3468,56
150-50-150	1288,71	1264,49	961,08	3514,28
150-150-50	1400,80	1249,31	916,09	3566,20
100-0-100	1620,44	1010,04	1150,83	3781,31
200-0-0	1090,27	969,73	1748,91	3808,91
100-100-200	1240,69	1674,50	996,82	3912,01
200-200-200	1875,87	1093,19	951,80	3920,86
200-0-200	1307,51	1952,12	1455,20	4714,83
Suma	21133,48	24645,83	22425,51	68204,82

CUADRO 4-5 .- Análisis de varianza para los rendimientos corregidos por número de plantas.-

Causas	g.l.	SC	CM	F
Bloques	2	274431,38	137215,69	1,37
Tratamientos	22	513464,45	233384,75	2,33 ++
Error	44	4413465,98	100306,05	
Total	68	9822361,81		

Significación: ++ al 0,01

CUADRO 4-6 -- Mínima diferencia significativa (L.S.D.) al 0,05 (derecha) y al 0,01 (izquierda).--

0-0-200	-----	522
0-100-100	---	529
50-50-50	----	625
0-0-0	-----	638
50-150-150	▼▼	737
0-200-200	---	751
0-200-0	-----	769
100-100-100	▼	873
100-100-0	---	893
50-50-150	---	922
100-200-100	-	950
50-150-50	---	1030
200-100-100	--	1036
200-200-0	---	1100
150-50-50	---	1130
150-150-150	--	1156
150-50-150	---	1171
150-150-50	---	1189
100-0-100	---	1260
200-0-0	-----	1270
100-100-200	--	1304
200-200-200	--	1307
200-0-200	---	1572

Las cifras a la derecha de los tratamientos, expresan el promedio de los rendimientos para las tres repeticiones.--

M.D.S. (L.S.D.) al 0,05 = 520,80 Kg.
M.D.S. (L.S.D.) al 0,01 = 695,61 Kg.

Las líneas unen los tratamientos que no difieren significativamente al nivel indicado.--

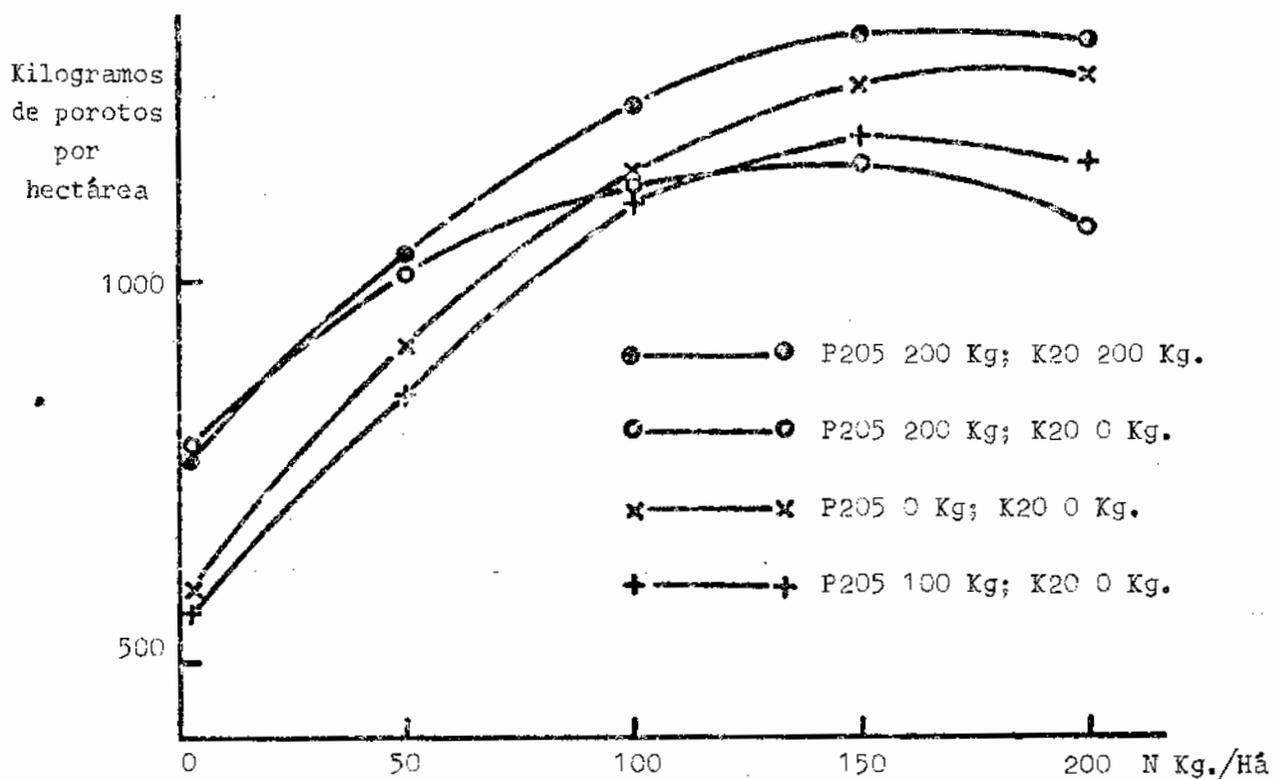
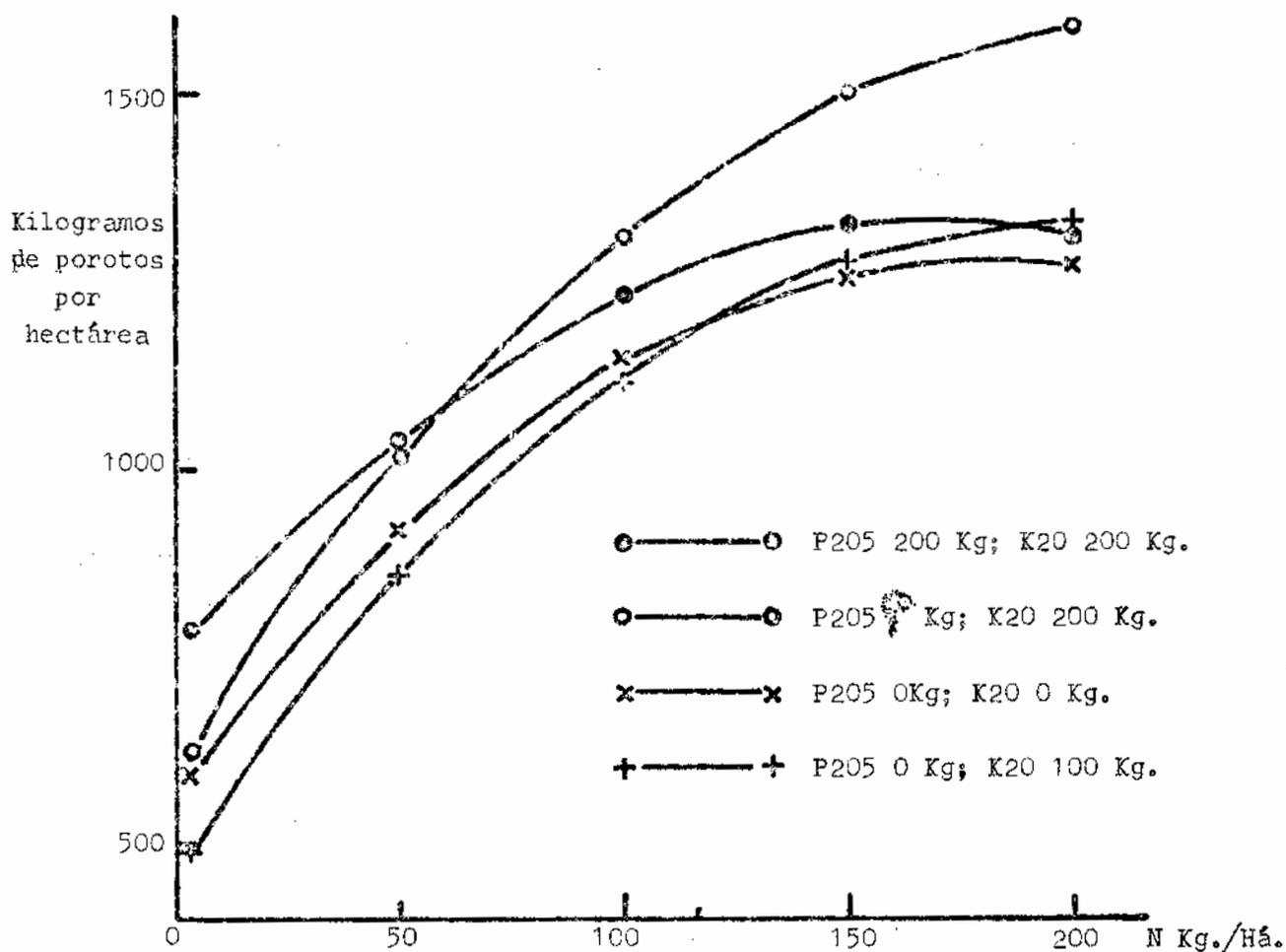


FIGURA 4-4.- Respuesta en kilogramos de porotos por hectárea (corregido por número de plantas), al agregado de N, para diferentes niveles de P205 y K20.

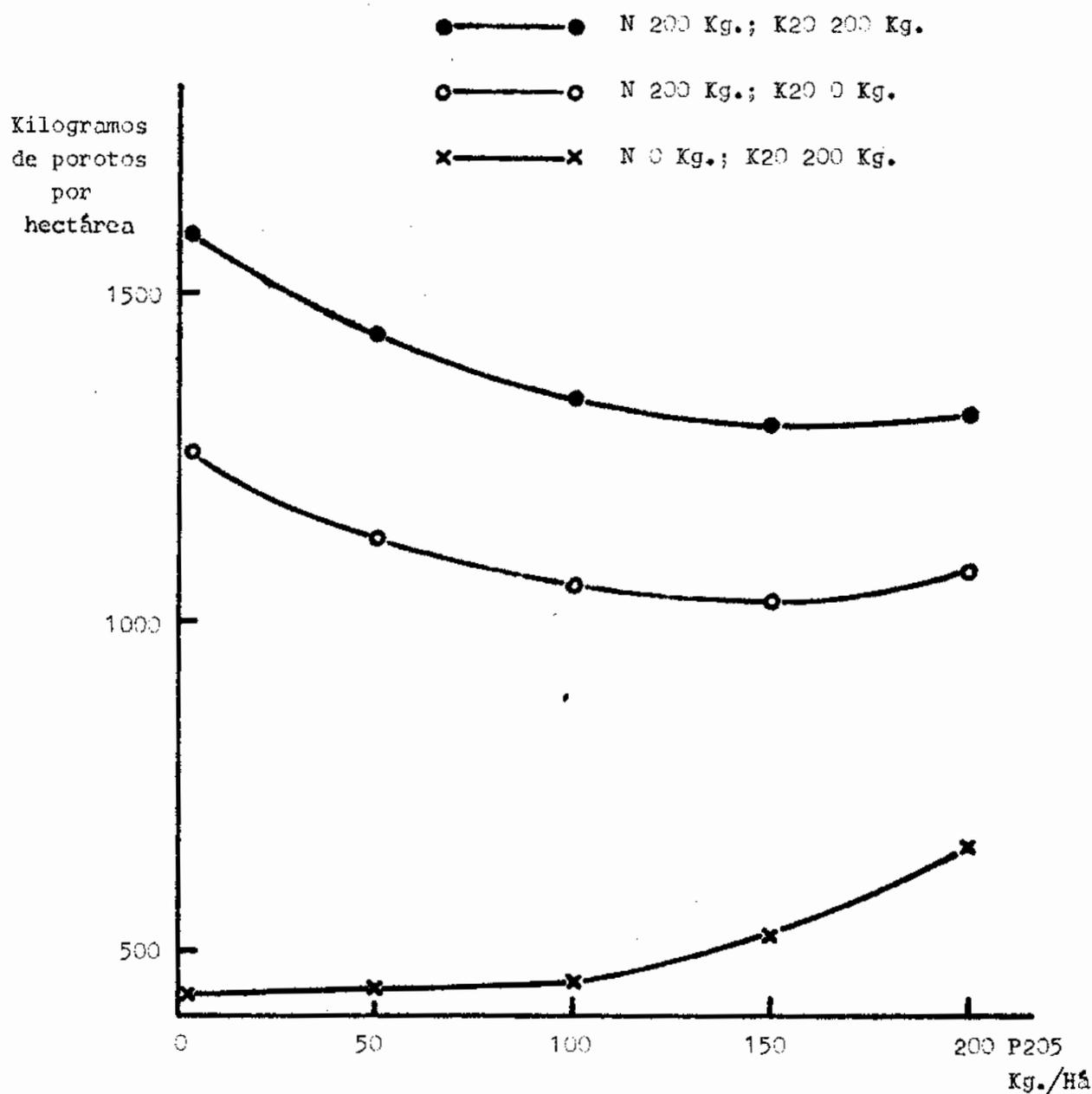


FIGURA 4-5.- Respuesta en kilogramos de porotos por hectárea, corregido por número de plantas al agregado de P205, para diferentes niveles de N y K20.

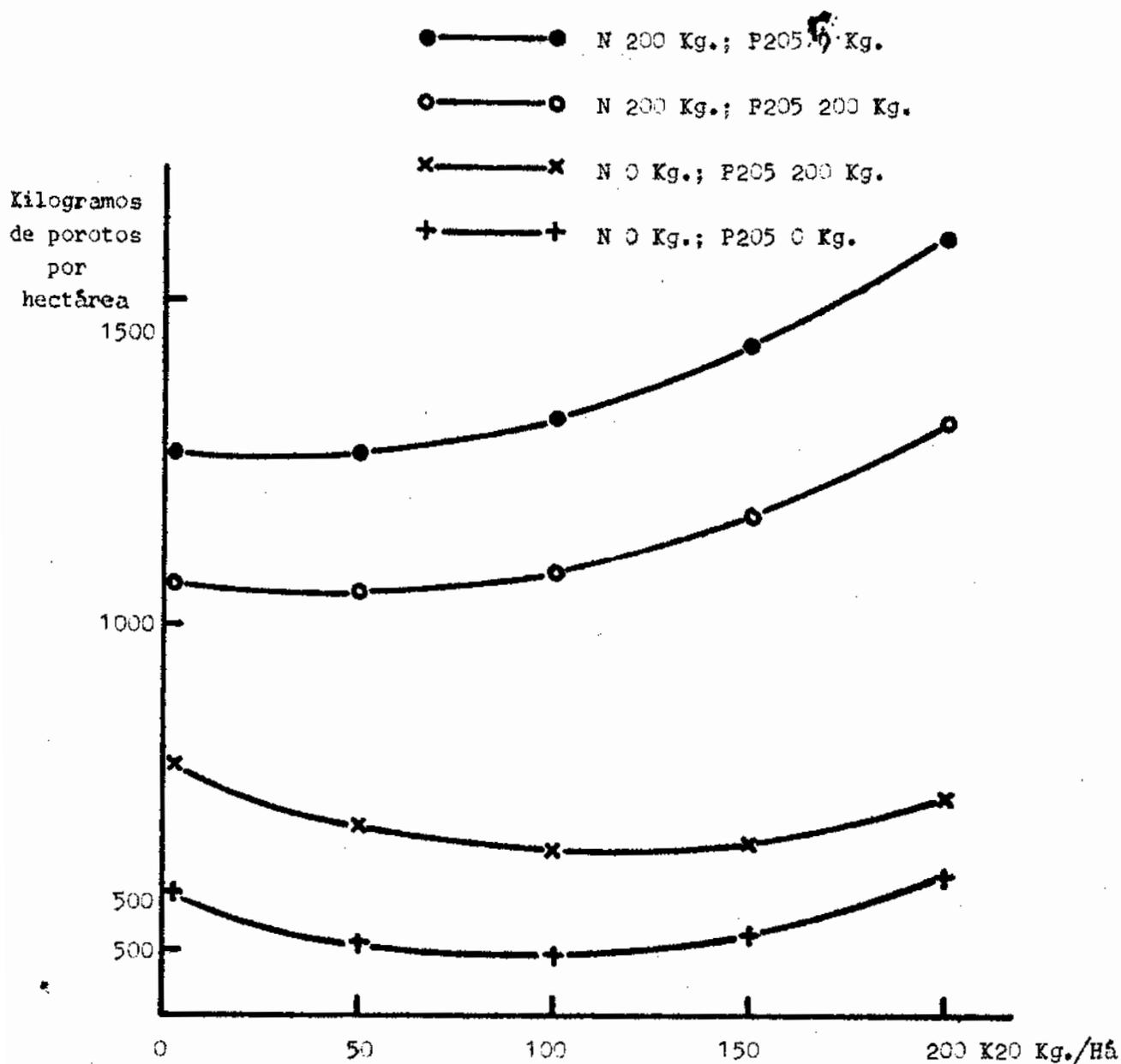


FIGURA 4-6.- Respuesta en kilogramos de porotos por hectárea, corregido por número de plantas, al agregado de K20 para diferentes niveles de N y P205.

4-2.- Análisis de los componentes del rendimiento

4-2-1.- Peso de 100 porotos.-

En el cuadro 4-7, se presentan los pesos de 100 porotos en gramos, obtenidos para cada uno de los tratamientos.-

El análisis de varianza realizado, dió los resultados expresados en el cuadro 4-8.-

A partir del cuadrado medio del error, se calculó el L.S.D. que se utilizó para confeccionar el cuadro 4-9.-

Del análisis de varianza, se desprende que existió un efecto altamente significativo de los tratamientos en su conjunto. Indicando que este componente del rendimiento, fue uno de los que más afectó los rendimientos totales.-

El efecto bloque, no tuvo significación estadística, ya que por lo anotado anteriormente, incide fundamentalmente en el número de plantas, el cual no influye en el peso de 100 porotos.-

Del estudio del cuadro 4-9, surge que en términos generales, difieren significativamente por su mayor peso, aquellos tratamientos con mayores dosis de N y por su menor peso, los de dosis más bajas. En cambio para el P y el K, no hay tendencias claras, aunque parecería existir cierto efecto positivo del P.-

La ecuación ajustada así como los parámetros estadísticos son los siguientes:

$$Y = 25,31 + 4,64 N + 0,07 P - 2,53 K - 0,53 N^2 + 0,14 P^2 + 0,28K^2 - 0,13 NP + 0,23 NK + 0,01 PK$$

Y = peso en gramos de 100 porotos.-

N, P y K son las dosis de N, P₂O₅ y K₂O en valores codificados.-

Coefficiente de determinación (r²) = 0,67

Valor de F para la significación de la regresión = 4,10⁺⁺

Valores de "t" para testar la significación de las diferentes variables:

N = 2,25 ⁺	N ² = 1,68 ⁻⁻	NP = 0,74
P = 0,03	P ² = 0,44	NK = 1,28
K = 1,23	K ² = 0,90	PK = 0,07

Significación: -- al 0,1
+ al 0,05

Globalmente el modelo explicó el 67% de la variación total observada, siendo esa explicación significativa al 0,01%.-

De las variables consideradas en la ecuación los términos más importantes son los que consideran al N. Los términos de P y K no explican significativamente la variación.-

Es de hacer notar, que los signos con que quedaron ajustadas las variables P y K no son los que deberían esperarse de acuerdo a las características de la respuesta vegetal al suministro de nutrientes.-

En la gráfica 4-7, se muestra la respuesta en el peso de 100 porotos en gramos a diferentes dosis de un nutriente manteniendo los otros dos constantes, para los tres nutrientes.-

Nuevamente el nutriente que muestra mayor efecto es el N.- Las dosis óptimas de N varían para los diferentes niveles de P y K, por existir interacciones. Estas dosis oscilan de 150 a 200 Kg./Há.-

CUADRO 4-7.- Pesos de 100 porotos en gramos, obtenidos para las diferentes dosis de N, P y K.-

Dosis de N, P y K	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Suma
0-0-200	16,73	27,40	30,59	74,72
0-100-100	18,18	28,77	26,88	73,83
50-50-50	25,86	30,15	30,06	86,07
0-0-0	27,75	28,07	27,20	83,02
50-150-150	28,96	30,11	29,34	88,41
0-200-200	28,17	31,00	27,82	86,99
0-200-0	26,35	32,87	34,91	94,13
100-100-100	32,99	32,33	28,59	93,91
100-100-0	34,77	32,58	31,70	99,05
50-50-150	31,93	31,92	30,08	93,93
100-200-100	28,60	31,48	31,46	91,54
50-150-50	30,99	34,11	33,33	98,43
200-100-100	38,13	31,70	32,58	102,41
200-200-0	34,47	36,57	31,88	102,92
150-50-50	26,00	31,99	31,93	89,92
150-150-150	46,95	42,97	31,66	121,58
150-50-150	32,09	30,90	30,18	93,17
150-150-50	41,20	31,55	32,66	105,41
100-0-100	35,25	32,39	33,18	100,82
200-0-0	33,17	34,66	35,38	103,21
100-100-200	33,12	33,05	30,63	96,80
200-200-200	39,67	37,71	28,94	106,32
200-0-200	31,85	38,87	33,09	103,81
Suma	723,18	735,15	714,07	2190,40

CUADRO 4-8.- Análisis de varianza para los pesos de 100 porotos.-

Causas	g.l.	SC	CM	F
Bloques	2	34,49	17,24	1,31
Tratamientos	22	828,01	37,64	2,87 ++
Error	44	576,65	13,10	
Total	68	1439,15		

Significación: ++ al 0,01

CUADRO 4-9.- Mínima diferencia significativa (L.S.D.) al 0,05 (derecha) y al 0,01 (izquierda).-

0-100-100	-----	25
0-0-200	-----	25
0-0-0	-----	28
50-50-50	-----	29
0-200-200	-----	29
50-150-150	-----	29
150-50-50	-----	30
100-200-100	-----	31
150-50-150	-----	31
100-100-100	-----	31
50-50-150	-----	31
0-200-0	-----	31
100-100-200	-----	32
50-150-50	-----	33
100-100-0	-----	33
100-0-100	-----	34
200-100-100	-----	34
200-200-0	-----	34
200-0-0	-----	34
200-0-200	-----	35
150-150-50	-----	35
200-200-200	-----	35
150-150-150	-----	41

Las cifras a la derecha de los tratamientos, expresan el promedio de los rendimientos para las tres repeticiones.-

M.D.S. (L.S.D.) al 0,05 = 5,79 grs.
M.D.S. (L.S.D.) al 0,01 = 7,61 grs.

Las líneas unen los tratamientos que no difieren significativamente al nivel indicado.-

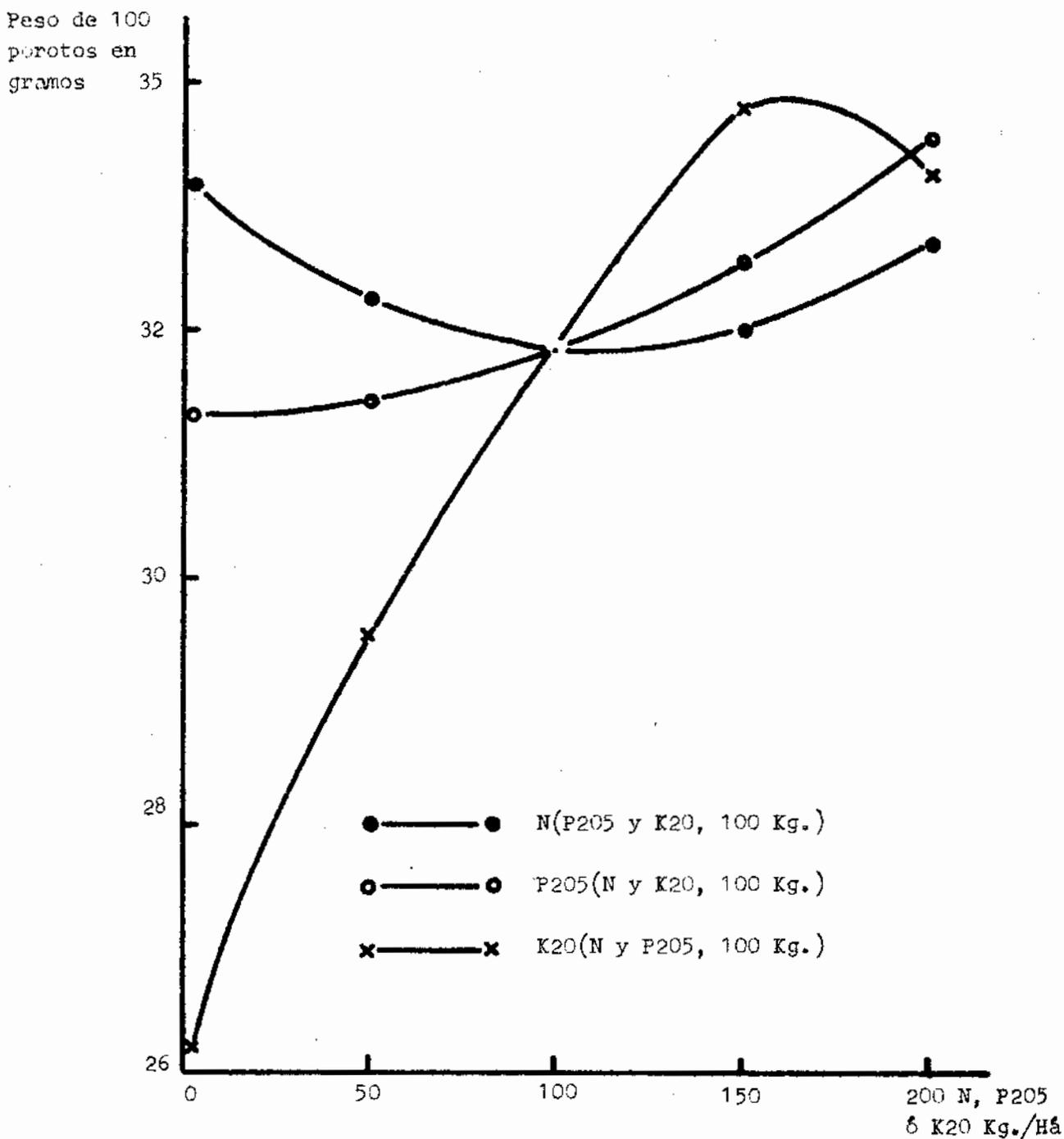


FIGURA 4-7.- Respuesta en el peso de 100 porotos en gramos, al agregado de N, P205 y K20, para un nivel de 100 Kg. de cada uno de los restantes nutrientes.

4-2-2.- Número de porotos por chaucha.-

En el cuadro 4-10 se presenta el número de porotos por chaucha, obtenido para cada uno de los diferentes tratamientos.-

El análisis de varianza realizado, dio los resultados expresados en el cuadro 4-11.-

Del análisis de varianza, se desprende que no existió efecto significativo de los tratamientos en su conjunto.-

El efecto bloque es altamente significativo.-

La ecuación ajustada, así como los parámetros estadísticos de la misma son los siguientes:

$$Y = 3,95 - 0,03 N - 0,52 P + 0,15 K - 0,01 N^2 + 0,07 P^2 + 0,03 K + 0,01 NP - 0,001 NK + 0,01 PK$$

Y = número de porotos por chaucha.-

N, P y K, son las dosis de N, P₂O₅ y K₂O en valores codificados.

Coefficiente de determinación (r²) = 0,43

Valor de F para la significación de la regresión = 1,13

Valores de "t" para testar la significación de las diferentes variables:

N = 0,12	N ² = 0,21	NP = 0,66
P = 2,23+	p ² = 1,89--	NK = 0,25
K = 0,63	K ² = 0,75	PK = 0,72

Significación: -- al 0,1
+ al 0,05

Globalmente el modelo explicó un 43% de la variación total observada, no siendo significativa esta explicación. Por dicho resultado se puede afirmar que este componente de rendimiento no influyó significativamente en la variación de los rendimientos observados.-

A pesar de este motivo se puede afirmar que de las variables consideradas en la ecuación los términos más importantes son los que consideran al P.-

Los términos de N y K no explican significativamente parte de la variación.-

La gráfica 4-8, ilustra algunas de las respuestas para los tres nutrientes.-

CUADRO 4-10.- Número de porotos por chaucha, obtenidos para las diferentes dosis de N, P y K.-

Dosis de N, P y K	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Suma
0-0-200	2,72	3,59	3,98	10,29
0-100-100	4,00	3,52	4,00	11,52
50-50-50	2,56	3,12	4,35	10,03
0-0-0	3,54	3,73	3,50	10,77
50-150-150	2,69	3,30	3,19	9,18
0-200-200	3,22	3,34	3,62	10,41
0-200-0	3,35	3,15	3,09	9,59
100-100-100	2,91	3,22	2,83	8,96
100-100-0	2,94	3,11	3,62	9,67
50-50-150	3,37	3,07	3,81	10,25
100-200-100	3,84	3,28	2,83	9,95
50-150-50	3,40	3,15	3,23	9,78
200-100-100	2,93	2,37	2,76	8,06
200-200-0	3,91	3,11	3,09	10,11
150-50-50	3,37	2,34	4,11	9,82
150-150-150	3,79	3,74	3,35	10,88
150-50-150	3,79	3,76	3,40	10,95
150-150-50	3,12	2,99	3,03	9,14
100-0-100	3,88	3,55	3,74	11,17
200-0-0	3,53	3,09	3,53	10,15
100-100-200	3,20	2,82	3,43	9,45
200-200-200	3,75	2,98	3,22	9,95
200-0-200	3,66	2,69	3,19	9,54
Suma	77,47	73,03	79,13	229,67

CUADRO 4-11.- Análisis de varianza para el número de porotos por chaucha.

Causas	g.l.	SC	CM	F
Bloques	2	0,86	0,54	2,87++
Tratamientos	22	4,47	0,20	1,33
Error	44	7,02	0,15	
Total	68	12,35		

Significación: ++ al 0,01

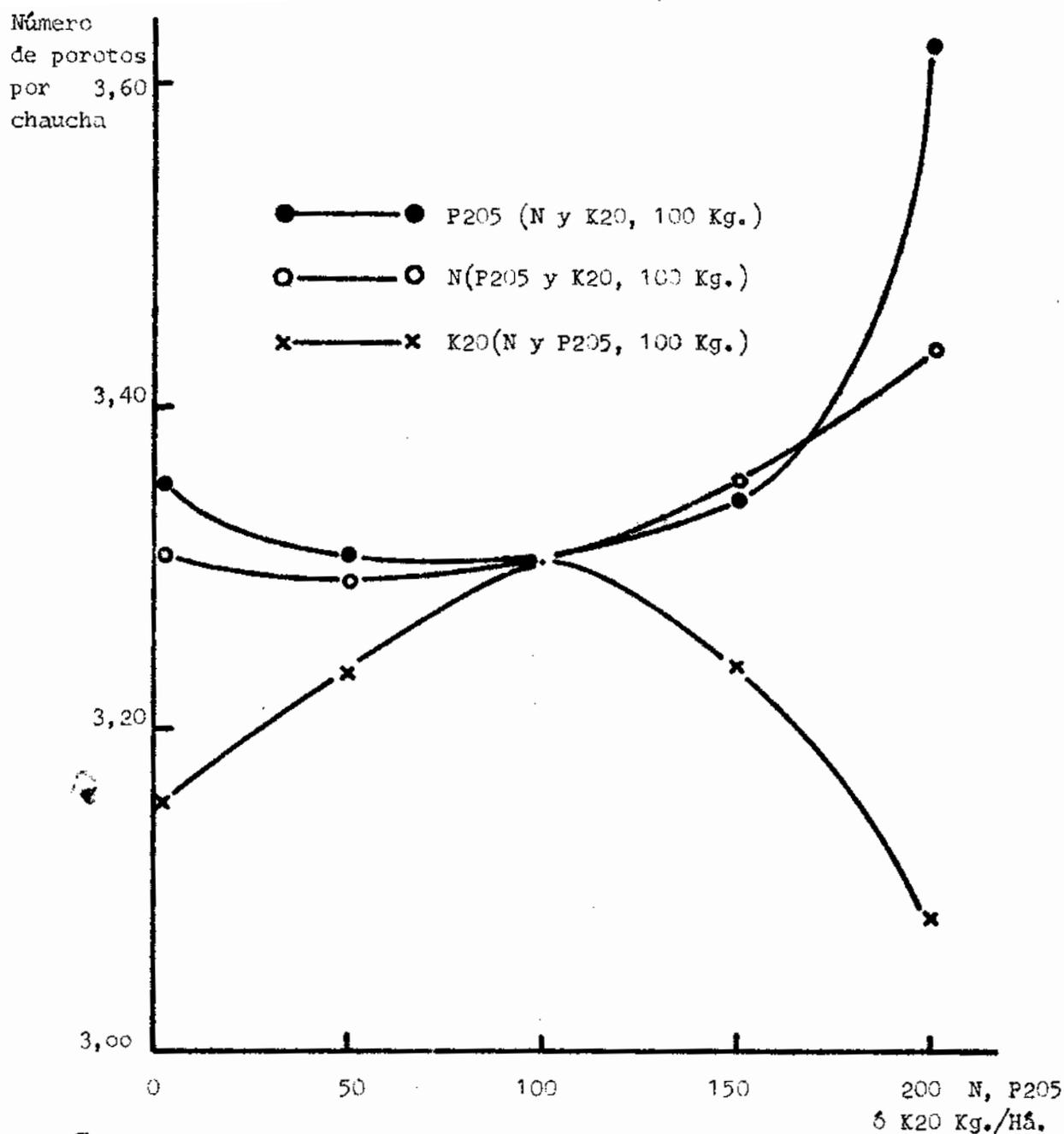


FIGURA 4-83: Respuesta en el número de porotos por chaucha, al agregado de N, P205 y K20, para un nivel de 100 Kg. de cada uno de los restantes nutrientes.

4-2-3.- Número de chauchas totales por parcela.-

En el cuadro 4-12, se presenta el número de chauchas totales por parcela.-

El análisis de varianza realizado, dió los resultados expresados en el cuadro 4-13.-

Del análisis de varianza se desprende que no existió efecto significativo de los tratamientos en su conjunto.-

El efecto bloque fue altamente significativo.-

La actuación ajustada así como los parámetros estadísticos estimados de la misma son los siguientes:

$$Y = 242,96 + 31,20 N - 27,40 P - 55,84 K + 11,52 N^2 + 4,19 P^2 + 5,02 K^2 + 2,25 NP + 8,89 NK + 1,17 PK$$

Y = número de chauchas totales en la parcela.-

N, P y K, son las dosis de N, P_2O_5 y K_2O en valores codificados.-

Coefficiente de determinación (r^2) = 0,79

Valor de F para la significación de la regresión = 8,30⁺

Valores de "t" para testar la significación de las diferentes variables:

N = 0,91	$N^2 = 2,18^+$	NP = 0,76
P = 0,80	$P^2 = 0,79$	NK = 2,99 ⁺⁺
K = 1,62	$K^2 = 0,95$	PK = 0,38

Significación: + al 0,05
++ al 0,01

Globalmente el modelo explica un 79% de la variación total observada, siendo esta explicación significativa al 0,01%.-

De las variables consideradas en la ecuación los términos más importantes son los que consideran al N.-

Los términos de P y K no explican significativamente parte de la variación.-

Es de hacer notar que los signos con que fierno ajustadas las variables P y K, no son los que deberían esperarse de acuerdo a las características de la respuesta vegetal al agregado de nutrientes.-

La gráfica 4-9 ilustra la respuesta en el número de chauchas totales por parcela al agregado de un nutriente manteniendo los otros dos constantes para los tres nutrientes considerados.-

La variable número de chauchas por parcela engloba el efecto de dos variables, número de chauchas por planta y número de plantas por parcela. Para separar el efecto de estas dos variables se realizaron los análisis de varianza correspondientes. Los resultados obtenidos así como los análisis de varianza se presentan en los cuadros 4-14, 4-15, 4-16 y 4-17.-

En el análisis de varianza de número de plantas por parcela, el efecto tratamiento no fue significativo, o sea que las fuentes que hacen variar este componente son solo derivadas del efecto de bloque y del error.-

Al analizar la variación en el número de chauchas por planta se observa :

- a- el efecto de bloque disminuyó notoriamente respecto a la variable número de chauchas totales por parcela, lo cual era de esperar de acuerdo a lo anotado anteriormente de que el efecto principal del bloque era a través del número de plantas.-
- b- Para esta variable el efecto de tratamiento es significativo. Puede parecer extraño que siendo éste uno de los dos componentes de número de chauchas totales por parcela (que no dio significativo), este lo sea. La explicación es que al agregar a la variable chauchas por planta la variable número de plantas por parcela aumenta más el error experimental de lo que lo hace la variación debida a tratamientos.-

CUADRO 4-12 .- Número de chauchas totales por parcela obtenidas para las diferentes dosis de N, P y K.-

Dosis de N, P y K	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Suma
0-0-200	18	97	245	360
0-100-100	11	207	205	423
50-50-50	57	284	204	545
0-0-0	135	238	228	601
50-150-150	105	177	288	565
0-200-200	157	142	171	470
0-200-0	129	198	249	576
100-100-100	101	245	118	474
100-100-0	253	94	227	574
50-50-150	141	242	212	595
100-200-100	150	198	283	631
50-150-50	129	247	273	649
200-100-100	51	46	258	335
200-200-0	12	98	359	469
150-50-50	40	44	175	259
150-150-150	105	244	297	646
150-50-150	166	176	307	649
150-150-50	64	175	145	384
100-0-100	87	181	236	504
200-0-0	41	124	178	343
100-100-200	63	211	307	581
200-200-200	68	272	335	675
200-0-200	88	119	304	511
Suma	2151	4054	5604	11809

CUADRO 4-13 .- Análisis de varianza para el número de chauchas totales obtenidas por parcela.-

Causas	g.l.	SC	CM	F
Bloques	2	260103,16	130051,58	34,05 ⁺⁺
Tratamientos	22	101625,22 ^c	4619,33	1,21
Error	44	168074,17	3819,87	
Total	68	539802,55		

Significación: ++ al 0,01

CUADRO 4-14.- Número de chauchas por planta, obtenidos para las diferentes dosis de N, P y K.-

Dosis de N, P y K	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Suma
0-0-200	0,95	3,03	3,50	7,48
0-100-100	0,58	3,57	3,47	7,62
50-50-50	2,19	4,06	3,00	9,25
0-0-0	2,81	3,31	3,30	9,42
50-150-150	2,14	4,19	5,33	11,66
0-200-200	3,08	5,46	2,59	11,13
0-200-0	2,43	4,83	3,83	11,09
100-100-100	4,39	5,10	4,07	13,56
100-100-0	3,28	4,27	4,73	12,28
50-50-150	3,92	5,76	3,21	12,89
100-200-100	3,75	5,50	4,29	13,54
50-150-50	3,07	6,50	4,55	14,12
200-100-100	6,20	5,11	4,96	16,27
200-200-0	3,00	4,90	6,65	14,55
150-50-50	4,00	4,00	3,24	11,24
150-150-150	3,00	3,48	5,71	12,19
150-50-150	5,19	5,33	4,58	15,10
150-150-50	5,33	6,48	4,53	16,34
100-0-100	5,80	4,31	4,54	14,65
200-0-0	4,55	4,43	6,85	15,83
100-100-200	5,73	8,79	4,65	19,17
200-200-200	6,18	4,77	5,00	15,95
200-0-200	5,50	9,15	6,75	21,40
Suma	87,04	116,33	103,33	306,70

CUADRO 4-15.- Análisis de varianza para el número de chauchas por planta.-

Causas	g.l.	SC	CM	F
Bloques	2	18,73	9,36	4,95
Tratamientos	22	85,43	3,88	2,05+
Error	44	83,19	1,89	
Total	68	187,35		

Significación: + al 0,05

381 98
1948.65

CUADRO 4-16.- Número de plantas por parcela, obtenidas para las diferentes dosis de N, P y K.-

Dosis de N, P y K	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Suma
0-0-200	19	32	70	121
0-100-100	19	58	59	136
50-50-50	26	70	68	164
0-0-0	48	72	69	189
50-150-150	49	41	54	144
0-200-200	51	26	66	143
0-200-0	53	41	65	159
100-100-100	23	48	29	100
100-100-0	77	22	48	147
50-50-150	36	42	66	144
100-200-100	40	36	66	142
50-150-50	42	38	60	140
200-100-100	5	9	52	66
200-200-0	4	20	54	78
150-50-50	10	11	54	75
150-150-150	35	70	52	157
150-50-150	32	33	67	132
150-150-50	12	27	32	71
100-0-100	15	42	52	109
200-0-0	9	28	26	63
100-100-200	11	24	66	101
200-200-200	11	57	67	135
200-0-200	16	13	45	74
Suma	643	860	1287	2790

CUADRO 4-17.- Análisis de varianza para el número de plantas por parcela.-

Causas	g.l.	SC	CM	F
Bloque	2	9335,57	4667,79	20,06 ++
Trafamientos	22	8985,29	408,42	1,74
Error	44	10222,10	232,72	
Total	68	28542,96		

Significación: ++ al 0,01

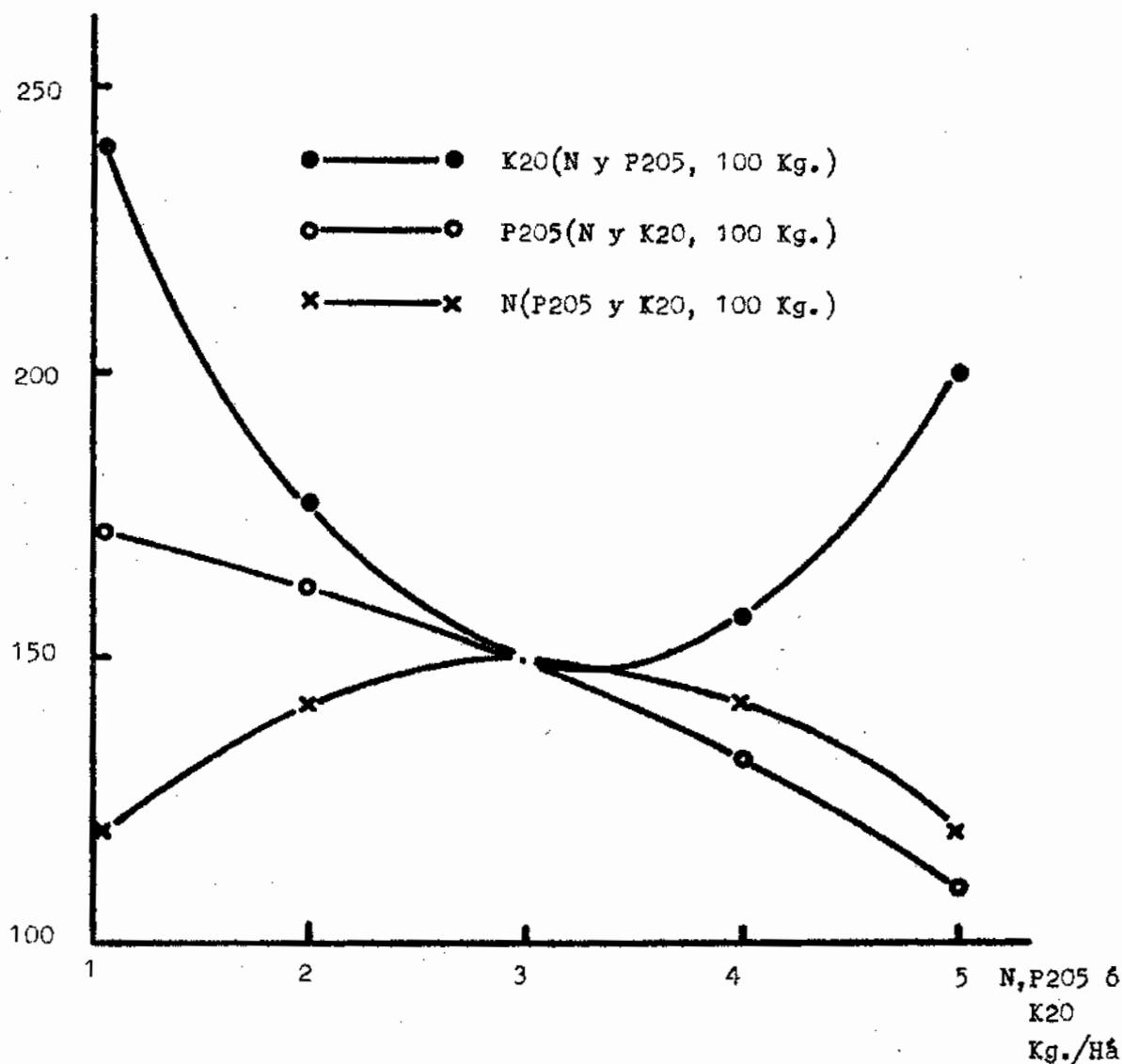


FIGURA 4-9.- Respuesta en el número de chauchas totales por parcela, al agregado de N, P2O5 y K2O, para un nivel de 100 Kg. de cada uno de los restantes nutrientes.

4-3.- Dosis óptimas físicas y económicas.-

A pesar de que los resultados obtenidos, lo son de un solo año y un solo sitio, a título ilustrativo se calcularon las dosis óptimas a utilizar de acuerdo a la ecuación obtenida para respuesta en rendimiento de porotos en kilogramos por hectárea, corregida por número de plantas. Dicho cálculo se realizó solamente para el N, teniendo en cuenta que fue el único nutriente para el cual existió respuesta significativa. De la ecuación correspondiente, se consideran entonces solo los términos que incluyen el citado nutriente.-

La ecuación utilizada fue entonces la siguiente:

$$Y = 385,45 + 484,95 N - 51,88 N^2$$

Y = Rendimiento de porotos en Kg./Há., corregido por número de plantas para el N.-

N es la dosis de N utilizada en valores codificados.-

Para obtener los puntos de optimización de la función de respuesta, se calculó la derivada primera de la ecuación precedente, siendo esta:

$$Y' = \frac{dY}{dN} = 484,95 - 103,76 N$$

El máximo rendimiento físico obtenible, se logra en el punto en el cual la derivada primera se hace 0, siendo este, valor codificado, igual a 4,67. Ese valor codificado equivale a una dosis de 183,5 kilogramos de N por hectárea.-

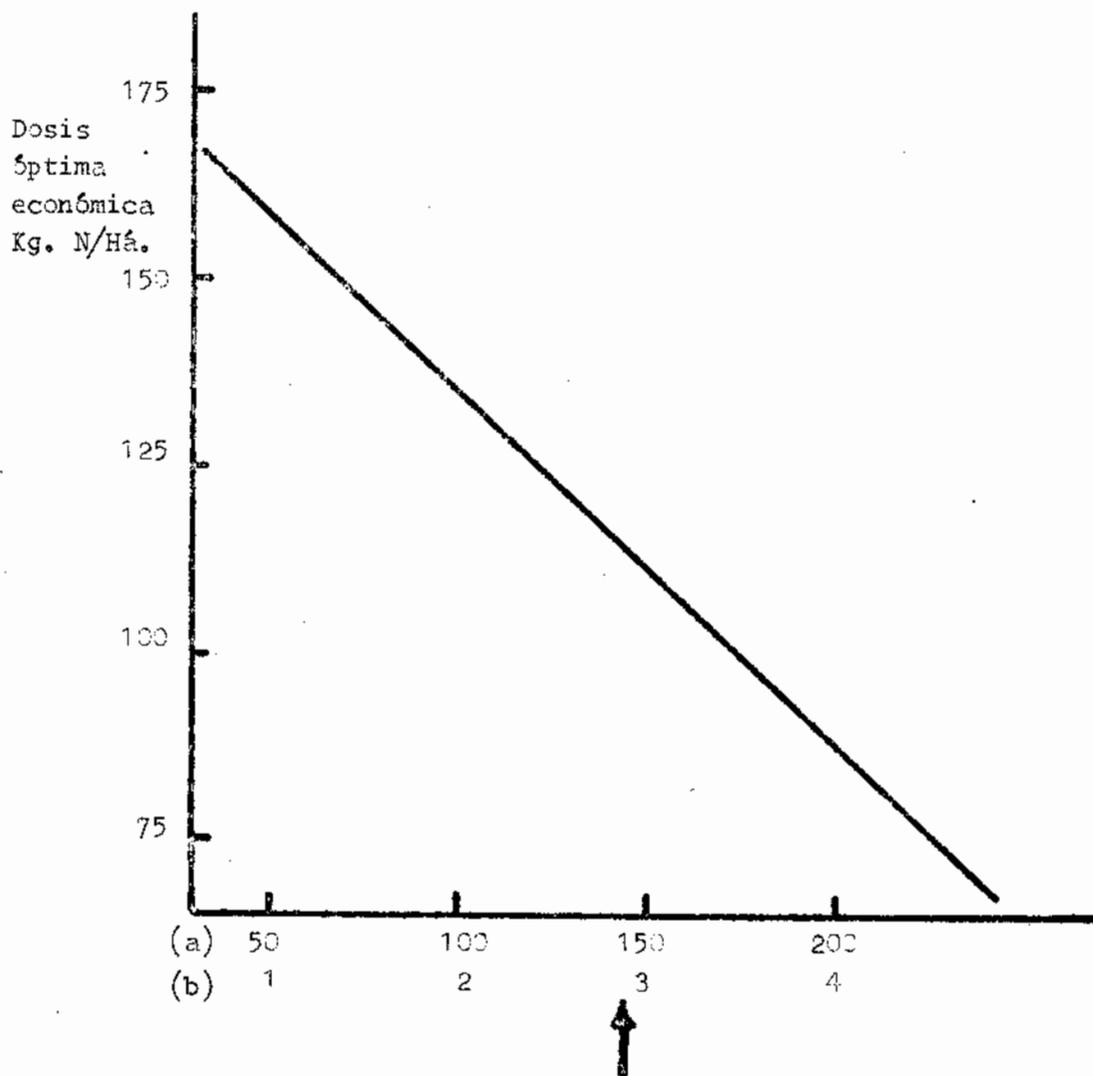
La dosis óptima económica, es aquella en la cual el costo de un incremento infinitesimal de N agregado, es mayor a el ingreso marginal obtenido por esa fertilización. Esto se da cuando el valor de la derivada primera, se iguala a la relación:

Precio del insumo expresado en las unidades en la que está la función.

Precio del producto en las unidades en la cual está ajustada la función.

Dada que esta relación de precios es variable através del tiempo, se calcularon las dosis óptimas económicas que se grafican en la figura 4-10.-

Es de hacer notar que la relación de precios actuales, tomando precio de la urea el de N\$ 1,50 el kilogramo y el de porotos el de N\$ 1,10 el kilogramo, daría una relación entre unidad de N y kilogramo de porotos de 2,91 (codificado 145), lo cual determinaría como dosis óptima de N, la de 114 kilogramos por hectárea.-



(a) Relación de precios codificada.-

(b) Relación de precios descodificada.-

La flecha indica la relación actual de precios.-

$$(a) = \frac{50 \text{ Kg. de N}}{1 \text{ Kg. de poroto}}$$

$$(b) = \frac{1 \text{ Kg. de N}}{1 \text{ Kg. de poroto}}$$

FIGURA 4-10.- Dosis óptima económica de fertilización nitrogenada, para diferentes relaciones de precios entre fertilizante nitrogenado y porotos.

(5) CONCLUSIONES

El rendimiento general del ensayo, no llegó a altos niveles de producción debido seguramente a las condiciones de extrema sequía que caracterizó al clima durante el ciclo del cultivo.-

Los demás factores que podían haber afectado la producción (manejo del suelo, sanidad, malezas, etc.) no aparecieron como limitantes.

Estas condiciones de sequía además de influir directamente en el rendimiento, seguramente afectaron la capacidad de respuesta al agregado de fertilizantes del cultivo.

Tal como se vio anteriormente, el único nutriente al cual existió respuesta clara fue al nitrógeno.

Los factores que pueden haber influido para que se diera este hecho pueden ser:

- 1 - A pesar de ser el poroto una leguminosa; de acuerdo a la bibliografía existen evidencias de la necesidad de la fertilización nitrogenada para lograr buenos rendimientos. Esto se cumple inclusive en los casos en que se inocule la semilla, cosa que no se hizo en este ensayo.
- 2 - El suelo en el cual se instaló el ensayo no debía tener una capacidad de suministro de nitrógeno muy alta por haber sido cultivado durante un largo período de tiempo sin incluirse leguminosas como cultivo de rotación.-
- 3 - Por ser el nitrógeno el nutriente más móvil es de suponer que con las pequeñas lluvias que recibió durante el principio del ciclo logró movilizarse algunos cms. hacia la zona húmeda de actividad radicular, no permaneciendo en los primeros cms. que luego se secaron.-

En el ensayo no apareció una respuesta clara al agregado de fósforo, es de hacer notar que el suelo presentaba un nivel de acuerdo al análisis químico, que permitiría suponer la respuesta para casi todos los cultivos.-

Esta falta de respuesta podemos explicarla por dos razones:

- 1 - Si consideramos lo planteado por la ley del mínimo pudo existir un factor más limitante (disponibilidad de agua en el cultivo), que no permitió hacer aparecer al fósforo como factor limitante.-
- 2 - Dada las características de poca movilidad del fósforo en el suelo, el fertilizante agregado debió permanecer durante el ciclo en los primeros cms. del suelo, que no contenían humedad suficiente para permitir la actividad radicular, por lo cual el fertilizante no fue aprovechado. Este hecho pudo agravarse más teniendo en cuenta que las mayores necesidades de fósforo se dan al principio del cultivo.-

Para el caso del potasio la falta de respuesta puede explicarse además que por las causas citadas para el fósforo, al hecho de que tanto el dato de análisis de suelo como la experiencia en fertilización de otros cultivos en el país, indican que el aporte de potasio por parte de los suelos es suficiente para la necesidad del cultivo.-

El análisis de como fueron afectados los diferentes componentes del rendimiento indica que las variables que influyeron en el rendimiento, fueron el número de chauchas por planta y el peso de 100 porotos, no encontrándose variación significativa en el número de porotos por chaucha. El componente número de porotos por chaucha aparentemente está más afectado por causas genéticas que ambientales.-

En aquellos componentes en los cuales se encontró diferencias significativas, esta estaba dada exclusivamente por el efecto del nitrógeno.-

El análisis económico de la respuesta al agregado de nitrógeno indica que la dosis óptima de nitrógeno a la relación de precios actuales, entre precios de nitrógeno y precio de los porotos es de 114 kg de N por Há.- Considerando oscilaciones de la relación de precios de $\pm 50\%$ las dosis óptimas oscilarían entre 65 y 150 kg de N por Há.-

El presente trabajo constituye una primera contribución al estudio de la fertilización en poroto. Como en todo estudio de fertilización el objetivo final de determinar dosis de fertilización para diferentes situaciones de tipo de suelo y manejo anterior se logrará cuando se posea información de un amplio número de ensayos. En este sentido es de desear que se continúe el presente trabajo en diferentes años y en suelos con diferente situación de aporte de nutrientes por parte del suelo.-

Los resultados de ensayos de este tipo servirán además para procederse a la calibración de los métodos de análisis de suelos para el cultivo de porotos.-

(6) BIBLIOGRAFIA

- 1- BAUM, E.L.- Economics Analisis of Fertilizes USA dats.- The Iowa State College Press - Ames, Iowa. Cap 5 y 6, pp 76-96, 101-112.-
- 2- DALLYN, S.L. and SAWYER, R.L. .- The nutritional requeriments of Fordhook Lima Beans.- Proceedings of the American Society for Horticultural Science. Vol. 73:355.-
- 3- DOBEREYNER, J et al.- Fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico em feijão, (Phaseolus vulgaris). Influencia do solo e variedade.- Instituto de ecologia e experimentação agrícola. Com. Tec. Nº 10.-
- 4- EHRLER, W.L. and LANGE, A.H.- The effect of nutrient balance on the uptake-transport of calcium and phosphorus by beans plants.- Proceedings of the America Society for Horticultural Science. Vol. 72:365.-
- 5- FASSBENDER, H.W.- La fertilización del frijol (Phaseolus sp).• Turrialba. Vol 17 (1).-
- 6- FRANCO, A.A. y DOBEREYNER, J.- Interferencia do Calcio e Nitrogenio na fixação simbiótica do Nitrogenio por duas variedades de Phaseolus vulgaris L. .- Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Vol 3, pp 223-227.-
- 7- FRIED, M. and BROESHART, H. :- The soil plant system (in relation to inorganic nutrition).- Academic Press, N. York and London. 1967.-
- 8- HADES, R.J.; HOSWARD, M.E.; MASON, D.D. and MOORE, D.P.- An investigation of some of the relationships between copper, iron and molibdenum in the growth and nutrition of lettuce. I. Experimental desingn and statical methods for characterizing the respnse surface.- Soil Science Society of America. Proc. Vol. 21 (1).-
- 9- HALSEY, L.M.- Influence of nitrogen fertilization and seed inoculation levels on yield of Southern peas.- Proceedings of the American Society for Horticultural Science. Vol. 75:517.-
- 10- HEADY, E. and DILLON, J.L.- Agricultural productions funtions.- Iowa State University Press. pp 73-194.-
- 11- LUNIN, A.H.; GALLATYS, M.H. and BATCHELDER, A.R.- Interactive effects of soil fertility and salinity on the growth and composition of beans.- Proceedings of the American Society for Horticultural Science. Vol 85:350.-
- 12- MALAVOLTA, E.- Manual de química agrícola. Adubos e adubação.- Año 1967.-
- 13- MEYER, R.E.; WARREN, G.F. and LANGSTON, R.- Effect of various anions on the growth and nutrient uptake of beans and tomato.-

Proceedings of the American Society for Horticultural Science.
Vol. 70:334.-

- 14- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1961.- Statur and methods of Reserch in economics and agronomics aspects of fertilizers response and use.- National Research Council.-
- 15- OZAKI, H. and CAREW, J..- Foliar application of urea to toma-
toes and beans.- Proceedings of the American Society for Hor-
ticultural Science. Vol. 64:307.-
- 16- PUPPIN, A.; ALVAHYDO, R. y BARBOSA, J..- Influencia do excesso
de aluminio no feijao (Phaseolus vulgaris L.) cultivado em
solucao nutritiva.- Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol. 3
Año 1968, pp 229-233.-
- 17- TEJEDA, G..- La investigación de fertilidad de suelos para
la producción agrícola en la zona templada.- IICA Zona Sur
1969 pp 171-182.-
- 18- VOSS, R.C. and PESEK, J.T..- Agron. J. 59:567-572.-

(7) AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Agr. José Pedro Zamalvide por la invalorable colaboración en la realización de este trabajo; y al Sr. Daniel Lobuonora encargado del Departamento de Computación de la Universidad de la República por la colaboración prestada en el procesamiento de los datos.-