

RESPUESTA DE LA PAPA A LA FERTILIZACION CON NITROGENO Y FOSFORO EN LA ZONA DE FRAIJANES, ALAJUELA ¹ / *

Viviana Palmieri **
 Alvaro Cordero ***
 Marco A. Moreira ****

ABSTRACT

Response of potato to nitrogen and phosphorus fertilization in Fraijanes area, Alajuela. The effects of N, P and their interaction on potato yield were studied in Hydric Dystrandept soils on the slopes of Poas Volcano, Costa Rica (1750 masl, 15 C average annual temperature, 3300 mm rainfall, 93% of P fixation). Factorial combination of five levels of P (0, 250, 500, 750 and 1000 kg P₂O₅/ha) and four of nitrogen (0, 150, 300 and 450 kg N/ha) were tested in a randomized blocks design. The maximum commercial yields (34.5 t/ha) were obtained with 971 kg P₂O₅/ha and 381 kg N/ha, according to the quadratic and cubic response curves, respectively. The sensibility of the economical optima was analyzed according to the variation of market prices. The best technical and economical levels determined by the linear response model with fixed maximum, were 640 kg P₂O₅/ha and 321 kg N/ha. The statistical adjustment of this model was more reliable for N but resulted limited with P. For this reason, in practical sense, in the case of P it will be best to consider the sensibility analysis over the technical optima in order to establish commercial recommendations.

INTRODUCCION

Durante muchos años, el 90% de la papa que se consume en el país ha sido producida en las faldas del Volcán Irazú, al norte de la provincia de Cartago. En esta zona se han realizado casi todos los ensayos de fertilización en papa del país. A

través del tiempo las investigaciones reflejan una disminución de la dosis técnicamente óptima de fósforo. Miranda (1956), obtuvo respuesta hasta la máxima dosis probada. En 1962 Sala obtuvo óptimos por encima de 2000 kg P₂O₅/ha. En la década de 1970, los óptimos técnicos fueron de 819 (Pérez, 1974), 461 (Bianchini, 1973) y 480 kg P₂O₅/ha (Chaverri y Bornemisza, 1977). Para nitrógeno, los valores oscilaron entre 47,7 (Pérez, 1974) y 280 (Sala, 1962) kg N/ha.

La zona de Fraijanes, ha sido tradicionalmente dedicada a la ganadería extensiva, aunque cuenta con las condiciones adecuadas para el cultivo de hortalizas de altura.

El presente ensayo constituyó un primer paso para permitir estudios posteriores en el cultivo de la papa en la zona de Fraijanes, Alajuela. La alta fijación de fosfato (Bertsch, 1982; Egawa, 1978; Fassbender, 1969) y la lenta mineralización de la materia orgánica debida a problemas climáticos (Luzuriaga, 1970; Muñoz y Wieczorek, 1978),

1/ Recibido para publicación el 10 de agosto de 1984.

* Parte de la tesis de Ingeniero Agrónomo, presentada por la primera autora en la Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

** Programa de Estudios de Posgrado UCR-CATIE, Turrialba, Costa Rica.

*** Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

**** Programa de Investigación de Hortalizas, Estación Experimental Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica.

Cuadro 1. Características químicas del suelo en que se efectuó el ensayo. Análisis realizados según la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978).

pH	K	Ca	Mg	Al	P	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B	
H ₂ O	KCl	cmol (+)/L				mg/L						
5,2	4,6	0,12	1,9	0,4	0,6	5	114	9	9	4	30	0,6

químicos, (Bertsch, 1982; Pineda, 1969) y físicos (Egawa, 1978; Fassbender, 1969), que afectan la microbiología de suelos derivados de cenizas volcánicas, confieren especial importancia a la determinación de la dosis óptima de fertilización nitrogenada y fosfórica.

El objetivo principal del trabajo consistió en estimar los efectos de diferentes dosis de nitrógeno y fósforo y de sus interacciones en el rendimiento de la papa en la zona de Fraijanes de Alajuela.

MATERIALES Y METODOS

Localización

El ensayo se llevó a cabo en la Subestación Experimental Agrícola de Fraijanes, perteneciente a la Universidad de Costa Rica, situada en Poasito, provincia de Alajuela, aproximadamente 10°10' de latitud norte, 84°11'30" de longitud oeste y 1750 msnm de altitud. La temperatura media anual es de 15°C, la precipitación es de 3300 mm anuales y los meses en que menos llueve son febrero y marzo. Estos valores son aproximados ya que los registros son muy recientes. Durante las 15 semanas que duró el ensayo, la temperatura media fue de 13,3 C, la precipitación total fue de 1828 mm y el brillo solar promedio fue de 3,5 horas diarias.

Suelo

El suelo se clasifica como Hydric Dystrandept, medial, isotérmico (A. Vásquez, comunicación personal, 1982). Según la curva de sorción de fosfatos realizada, el porcentaje de fijación fue de 93%. Las características químicas se detallan en el Cuadro 1.

Prácticas agrícolas

La siembra se realizó el 17 de junio de 1981, en surcos distanciados 0,8 m entre sí con 0,3 m entre plantas. Se utilizó la variedad 'Atzimba'. Antes de la preparación mecánica del terreno, se aplicó paraquat para quemar las gramíneas que cubrían el suelo, principalmente kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). No fue necesario aplicar ningún otro herbicida ya que la aporca controló las escasas malezas que surgieron. Al momento de la siembra se asperjaron las papas con P.C.N.B. (19 kg Terrazan/ha) y se colocó carbofurán (35 kg Furadan/ha) con el fertilizante. Durante el transcurso del ensayo semanalmente se hicieron aplicaciones preventivas de fungicidas e insecticidas. El 22 de setiembre se cosechó la parte área de submuestras de cuatro plantas; el 25 del mismo mes se aplicó paraquat (Gramoxone) para destruir el follaje, y la cosecha de tubérculos se realizó los días 7 y 8 de octubre (112 días después de la siembra) en forma manual.

Tratamientos

Los tratamientos fueron 20, producto de la combinación factorial de cuatro dosis de nitrógeno (0, 150, 300 y 450 kg N/ha) y cinco de fósforo (0, 250, 500, 750 y 1000 kg P₂O₅/ha). Se adicionó una base común de 150 kg K₂O/ha, 81,4 kg S/ha y 1250 kg de CaCO₃/ha. Las fuentes usadas fueron nitrato de amonio, superfosfato triple, sulfato de potasio y sulfato de magnesio. La cal se incorporó 20 días antes de la siembra. Los demás fertilizantes se colocaron al fondo del surco durante la siembra, con excepción de la mitad del nitrógeno que se aplicó 37 días después, al realizarse la aporca.

El diseño fue un bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de las unidades experimentales fue de 10,08 m². Al eliminar dos surcos y las dos plantas terminales de cada surco borde, quedó una parcela útil de 4,8 m² con cuatro surcos de cinco plantas cada uno.

Variabes aleatorias

Se evaluó el número y peso de tubérculos por parcela a la cosecha, en las categorías extra (mayor de 55 mm de diámetro), primera (35 a 55 mm), segunda (28 a 35 mm), tercera (menor de 28 mm), total y comercial (mayor de 28 mm). Estas variables se analizaron por covarianza debido a la desuniformidad en la población que resultó de defectos en la germinación. Se dio mayor importancia a las variables peso comercial y peso total. Su análisis incluyó la descodificación de los polinomios ortogonales obtenidos, la aplicación de un modelo de respuesta lineal con máximo estable (Waugh, Cate y Nelson, 1973), el ajuste de curvas para la interacción N x P y la obtención de óptimos económicos mediante la maximización de las curvas de beneficios (Z), definidas como $Z = y(x) pq - x pi$ donde, $y(x)$ es la función de producción, pq es el precio de la papa, x es la cantidad de insumo y pi es el precio del insumo. Cuando $dZ/dx = 0$ y $d^2Z/dx^2 < 0$, x fue igual al óptimo económico. En el caso de peso comercial, se realizó también un análisis de sensibilidad a las variaciones en el precio de los insumos y del producto.

RESULTADOS

Rendimiento

Peso de tubérculos

Fósforo: El fósforo produjo un efecto altamente significativo sobre el rendimiento comercial y total. Se obtuvo un efecto cuadrático de este elemento en ambas variables (Figura 1), con máximos de producción a 971 kg P_2O_5 /ha para el peso comercial y a 1000 kg P_2O_5 /ha para el peso total. El modelo lineal discontinuo que tuvo mejor ajuste fue el que indicó el máximo a los 640 kg P_2O_5 /ha para el peso comercial y a los 645 kg P_2O_5 /ha para el peso total (Figura 1).

El porcentaje de recuperación del fósforo aplicado se estimó en 6,36% en base a las cantidades de materia seca producidas en este ensayo y los valores indicados por McCollum (1978b) para el contenido de fósforo en las diferentes partes de la planta.

Con los precios de Q9,37 el kg de papa y Q738 los 50 kg de superfosfato triple, los óptimos económicos fueron de 858 kg P_2O_5 /ha para el rendimiento comercial y 899 kg P_2O_5 /ha para el rendimiento total. En el Cuadro 2 se detallan los ópti-

mos económicos para el rendimiento comercial a diferentes precios de papa y de fertilizante (prueba de sensibilidad).

Nitrógeno: El efecto del nitrógeno sobre estas variables también fue altamente significativo. Fue cúbico (Figura 2) con un máximo de rendimiento comercial y total a los 381 kg N/ha. El modelo lineal discontinuo con mejor ajuste fue el que ubicó los óptimos en 322 kg N/ha para el rendimiento comercial y 321 kg N/ha para el rendimiento total (Figura 2).

Según el contenido del nitrógeno en las plantas y tubérculos mencionado en la literatura (Eppendorfer, 1978; Mackay, *et al.*, 1966) y la materia seca producida en este ensayo, se estimó el porcentaje de recuperación de nitrógeno en 33,5%.

Con el precio de Q382 por cada 50 kg de NH_4NO_3 , los óptimos económicos fueron de 375 kg N/ha y 374 kg N/ha para los rendimientos comercial y total, respectivamente. Los óptimos económicos para el rendimiento comercial a diferentes precios de papa y de fertilizante se detallan en el Cuadro 3.

Interacción: La interacción entre el nitrógeno y el fósforo produjo un efecto significativo al 5% sobre el rendimiento comercial y sólo significativo al 6,5% sobre el rendimiento total. En el análisis de los 12 efectos que componen la interacción, sólo fueron significativos: $N_{lineal} \times P_{lineal}$ y $N_{cuadrado} \times P_{cuadrado}$ en ambas variables. La similitud de la respuesta en los rendimientos comercial y total (Figuras 3 y 4) permite su descripción simultánea. Las cuatro curvas correspondientes a diferentes dosis de nitrógeno parten, aproximadamente, del mismo valor de rendimiento lo que indica que al no aplicar fósforo, no hubo respuesta al nitrógeno. Esto evidencia al fósforo como el elemento limitante en las condiciones del ensayo. Al no aplicar nitrógeno, hubo respuesta al fósforo hasta los 500 kg P_2O_5 /ha en que la falta de nitrógeno no permitió incrementos en la producción. Con 150 kg N/ha, el efecto del fósforo fue lineal (Figuras 3 y 4). La fertilización con 300 kg N/ha produjo un efecto cuadrado del fósforo, el nitrógeno ya no fue limitante y se obtuvieron los rendimientos más altos de todo el ensayo al aplicar 750 y 1000 kg P_2O_5 /ha. Con 450 kg N/ha, el efecto del fósforo fue también cuadrado, con producciones muy similares a las obtenidas con la dosis anterior. Se puede hablar, en este caso, de "consumo de lujo" de nitrógeno.

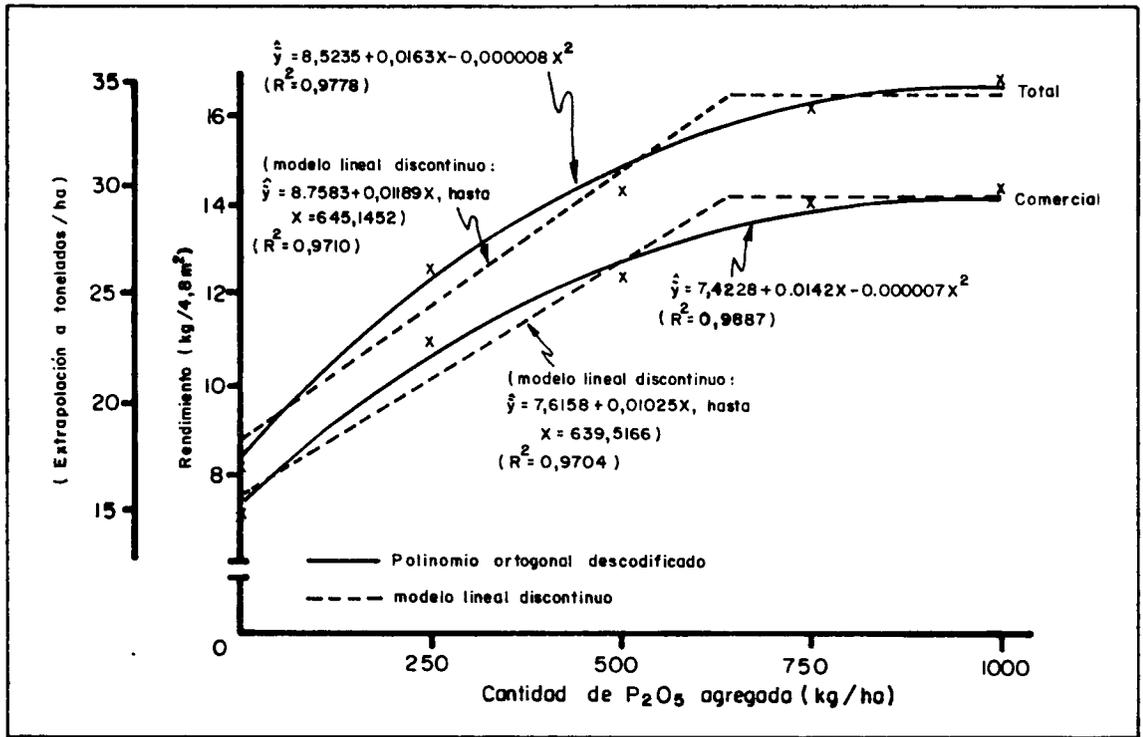


Fig. 1. Efecto de la fertilización fosfórica sobre el rendimiento comercial y total de papa en Fraijanes.

Cuadro 2. Sensibilidad del óptimo económico de fósforo a los diferentes precios del insumo (Triple Superfosfato) y del producto (papa), con base en el rendimiento comercial.

Precio del fertilizante (Q/50 Kg T.S.P)	Precio de la papa (colones/kg)					
	6	8	10	12	14	16
	Óptimo económico de fósforo (kg P ₂ O ₅ /ha)					
700	804,3	846,0	871,0	887,7	899,6	908,2
750	792,4	837,1	863,8	881,7	894,5	904,1
800	780,5	828,1	856,7	875,7	889,4	899,1
850	768,6	819,2	849,6	869,8	884,3	895,1

En resumen, según la interacción (Figuras 3 y 4), el óptimo técnico, tanto para rendimiento comercial como total, se ubicó por encima de 300 kg N/ha con 750 a 1000 kg P₂O₅/ha. Esto coincidió con los valores obtenidos para los elementos por separado.

Número de tubérculos

El fósforo y el nitrógeno produjeron efectos altamente significativos sobre el número de tubérculos totales y comerciales, pero no su interacción (Figuras 5 y 6). Hubo una correlación alt:

mente significativa entre el número y el peso de tubérculos en las diferentes dosis de fósforo tanto en la categoría comercial ($r = 0,995$) como total ($r = 0,996$). En las diferentes dosis de nitrógeno ocurrió lo mismo, con coeficientes de correlación

de 0,997 entre las categorías comercial y total.

La comparación entre los efectos del fósforo (Figura 5) y del nitrógeno (Figura 6) sobre el número de tubérculos muestra un efecto mucho más marcado del fósforo.

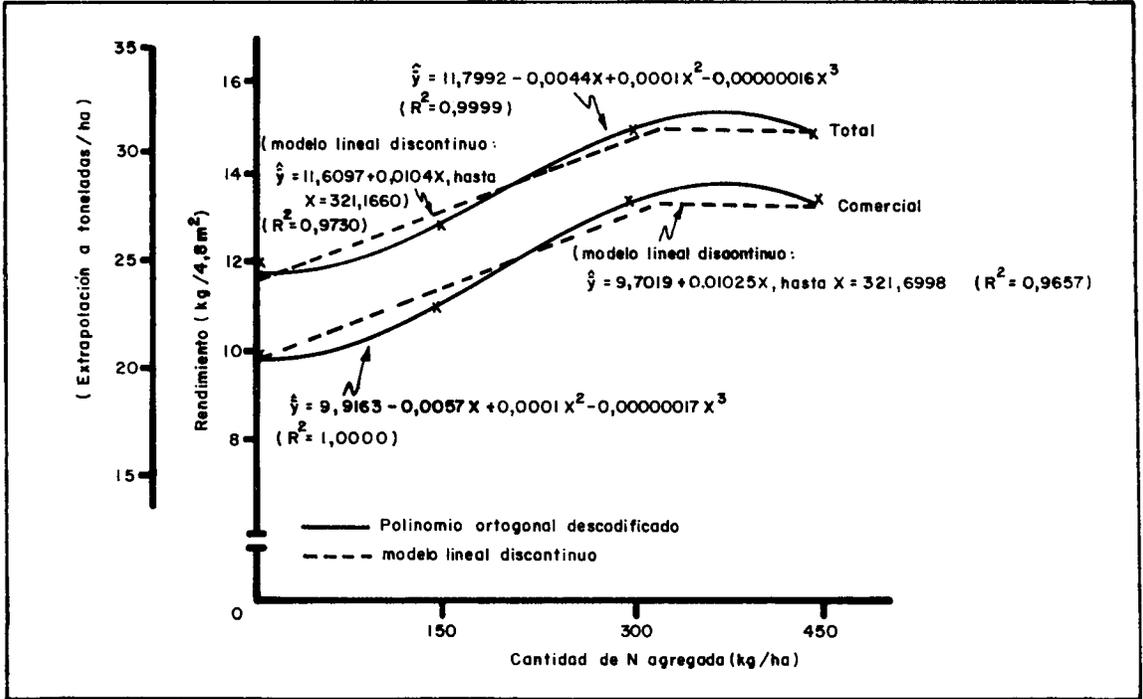


Fig. 2. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento comercial y total de papa en Fraijanes.

Cuadro 3. Sensibilidad del óptimo económico de nitrógeno a los diferentes precios del insumo (Nitrato de Amonio) y del producto (papa), con base en el rendimiento comercial.

Precio del fertilizante (¢/50 kg Nutrán)	Precio de la papa (colones/kg)					
	6	8	10	12	14	16
	Óptimo económico de nitrógeno (kg N/ha)					
350	372,0	374,4	375,8	376,8	377,4	377,9
400	370,7	373,4	375,0	376,1	376,9	377,4
450	369,3	372,4	374,2	375,4	376,3	375,9
500	367,9	371,4	373,4	374,8	375,7	375,4

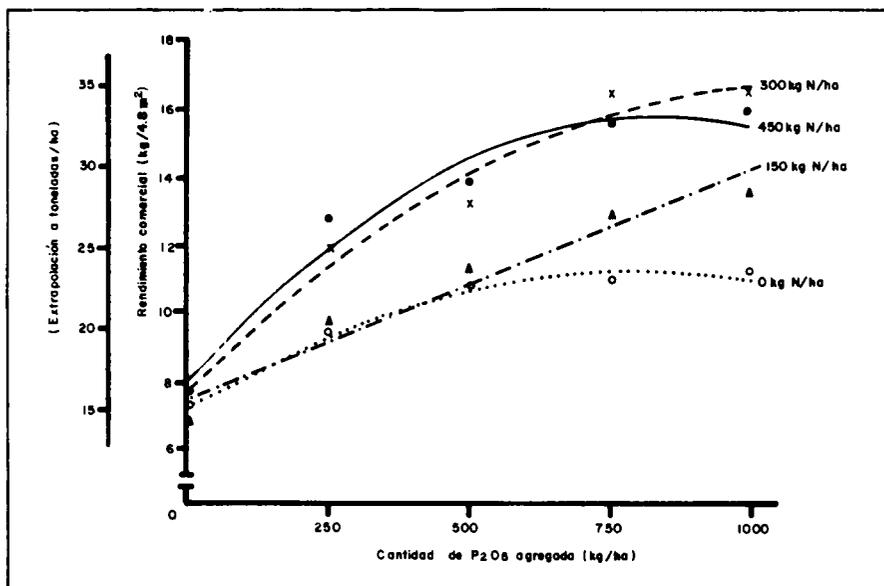


Fig. 3. Efecto de la interacción NxP sobre el rendimiento comercial de papa en Fraijanes. Las curvas de regresión por polinomios ortogonales son:

$$0 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 9,92 + 0,98 x - 0,38 x^2$$

$$300 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 13,14 + 2,28 x - 0,48 x^2$$

$$150 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 10,89 + 1,67 x$$

$$450 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 13,16 + 1,95 x - 0,66 x^2$$

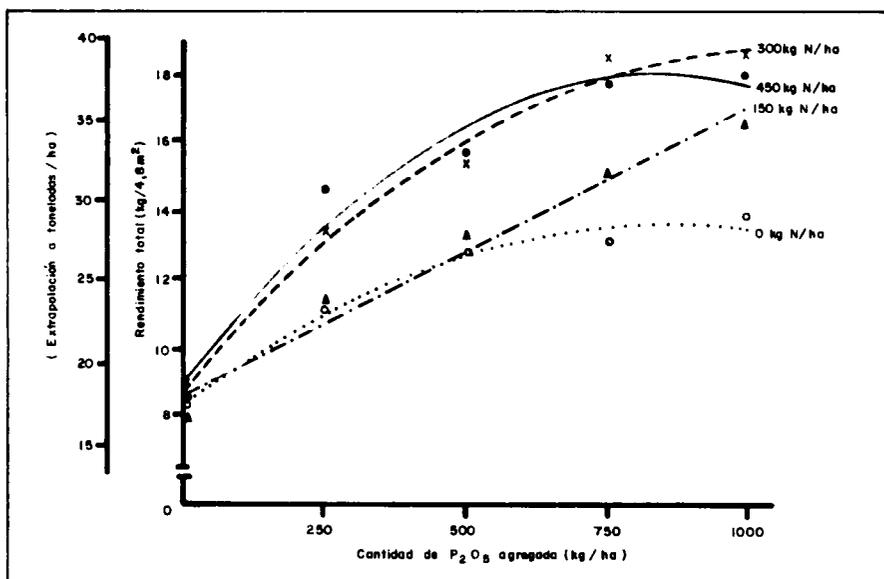


Fig. 4. Efecto de la interacción NxP sobre el rendimiento total de papa en Fraijanes. Las curvas de regresión por polinomios ortogonales son:

$$0 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 11,80 + 1,29 x - 0,41 x^2$$

$$300 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 14,92 + 2,50 x - 0,57 x^2$$

$$150 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 12,79 + 2,12 x$$

$$450 \text{ kg N/ha: } \hat{y} = 14,95 + 2,24 x - 0,78 x^2$$

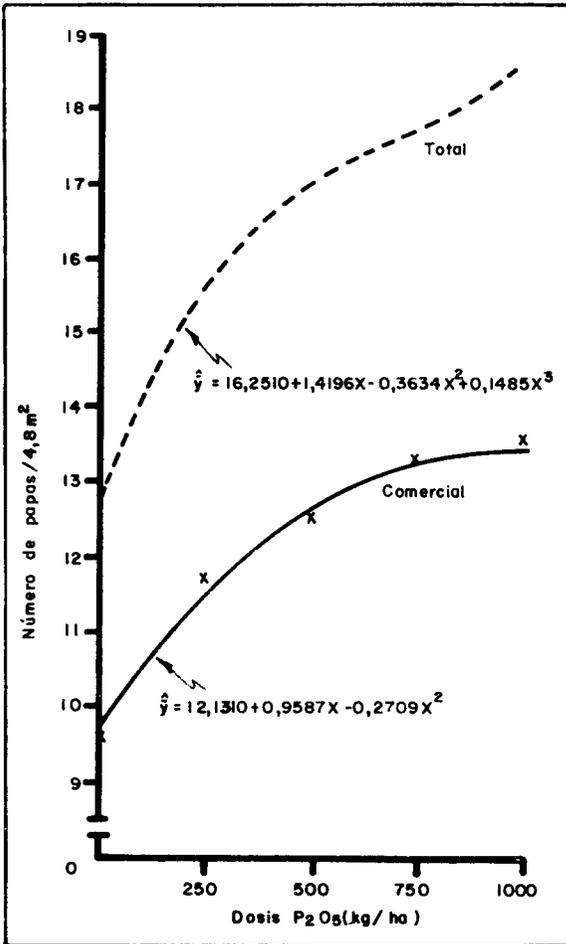


Fig. 5. Efecto de la fertilización con fósforo sobre el número de tubérculos comerciales y totales de papa. (Variables de respuesta transformadas según \sqrt{y}).

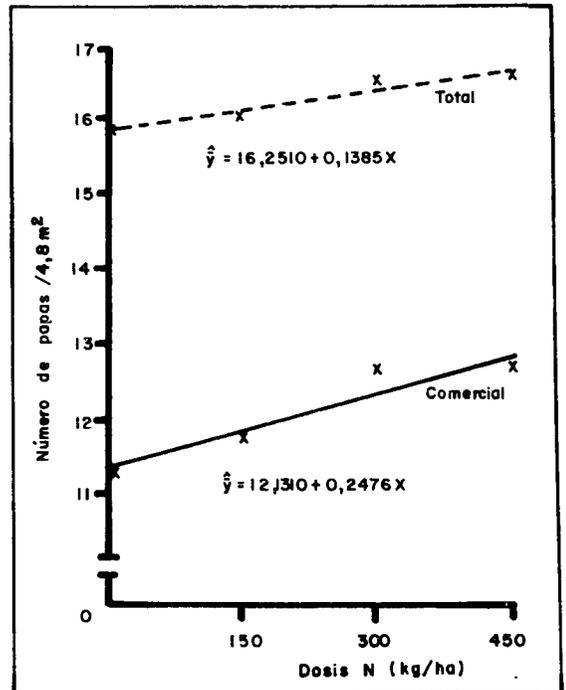


Fig. 6: Efecto de la fertilización con nitrógeno sobre el número de tubérculos comerciales y totales de papa. (Variables de respuesta transformadas según \sqrt{y}).

DISCUSION

Rendimiento

La extrapolación del rendimiento obtenido a hectáreas, reflejó una producción comercial de más de 34 t/ha, cifra muy superior al promedio nacional de 10 t/ha y a la obtenida en muchos ensayos realizados en el Irazú, principal zona papera del país (Chaverri y Bornemisza, 1977; Pérez, 1974; Sala, 1962). De acuerdo con la meta fijada por Burton (1978), de 30 t/ha de producto comercial, esta zona parece tener buenas aptitudes para el cultivo de la papa.

El efecto altamente significativo del fósforo sobre el rendimiento coincidió con investigaciones realizadas dentro (Chaverri y Bornemisza, 1977; Miranda, 1956; Sala, 1962) y fuera (Muñoz y Wiczoreck, 1978; Wiczoreck y Baird, 1959) del país. El incremento del rendimiento producido por el nitrógeno también es muy generalizado y se ha observado tanto en suelos volcánicos (Bianchini, 1973; Muñoz y Wiczoreck, 1978; Pérez, 1974; Sala, 1962) como no volcánicos (Grewal, Verma y Bist, 1979). Sin embargo, el efecto limitante del fósforo sobre la producción, que se manifestó al analizar la interacción (Figuras 3 y 4), aunque está de acuerdo con las determinaciones de Wiczoreck y Baird (1978), no lo está con las de otros autores en Costa Rica (Bianchini, 1973). La mayor respuesta al fósforo también se evidenció en la mayor sensibilidad del nivel óptimo de este elemento a las variaciones de precio. La forma en que se aumentó la producción fue diferente en ambos elementos: El incremento en el rendimiento debido al fósforo fue causado por un aumento en el número de tubérculos, lo cual concuerda con los resultados de otros ensayos (Bianchini, 1973; Pérez, 1974), mientras que el nitrógeno aumentó no solo el peso de los tubérculos, reconocido como su efecto principal (Grewal, Verma y Bist, 1979), sino también, el número de éstos, en forma lineal, lo que coincide con otros estudios (Pérez, 1974).

Las cantidades elevadas de fósforo que fueron necesarias para lograr producciones máximas, son consecuencia de la conocida fijación de fosfatos en suelos derivados de cenizas volcánicas. De hecho, el porcentaje de recuperación del fósforo (estimado en 6,36%) se complementa en forma casi exacta con el porcentaje de retención del suelo (93%). Las reacciones de fijación de P son de absorción y de precipitación (Egawa, 1980). Predo-

minan las de precipitación, tanto por aluminio y hierro amorfos como por calcio. Fassbender (1969) determinó que un 85,6% del fósforo fijado correspondió a precipitación con el aluminio; sin embargo, en un suelo del Irazú cultivado por varios años, se determinó que la mayor parte del fósforo seguía unido al calcio, al igual que en el fertilizante (Chaverri y Bornemisza, 1977). Esto indica una cierta saturación de la capacidad de fijación producida por fertilizaciones sucesivas y explica la disminución que hubo a través del tiempo, de los óptimos técnicos determinados en el Irazú. Así se evidencia la necesidad de crear estrategias de manejo de la fertilidad de suelos volcánicos, por lo menos a mediano plazo, como ya se hace, por ejemplo, en Japón (Egawa, 1980).

La alta respuesta al nitrógeno en suelos volcánicos, a pesar de su contenido elevado de materia orgánica, se debe a la limitada mineralización de ésta (Muñoz y Wiczoreck, 1978). La actividad microbiológica de los suelos volcánicos de altura es menor que en los demás suelos por su escasa permeabilidad al aire (Egawa, 1980; Luzuriaga, 1970) el efecto represivo de la alofana (Pineda, 1969) al reaccionar con los ácidos húmicos (Luzuriaga, 1970), la falta de fósforo (Bertsch, 1982) y calcio (Egawa, 1980) disponibles y el clima húmedo y frío (Muñoz y Wiczoreck, 1978). Los suelos del Poás tienen mayor cantidad de materia orgánica, menor contenido de fósforo y magnesio y mayor fijación de aniones que los del Irazú (Alvarado, 1975) y su mineralización fue la menor de todos los suelos ensayados por Pineda (1969). Si además se considera que la producción de nitratos en andosoles aumenta con el número de años bajo cultivo intensivo (Egawa, 1980), resulta clara la obtención de óptimos técnicos más altos que en otros suelos volcánicos.

El análisis económico realizado tiene algunas limitaciones. Por un lado, sólo se tomó en cuenta un insumo (N ó P) tanto en la función de producción como en la de costos, sin considerar los gastos adicionales derivados de la fertilización y de un rendimiento más elevado. Por otra parte, el costo de aplicaciones masivas de fosfatos cuando el suelo se abre al cultivo pueden contribuir a saturar la capacidad de fijación y no debe cargarse a una sola producción de un cultivo de ciclo corto, como en este caso. Para poder hacer un análisis económico más real sería necesario: a) definir políticas de manejo nutricional concretas y a largo plazo para estos suelos y b) disponer de una función de respuesta generalizada para la papa en Costa Rica, similar

a la desarrollada por Ryan y Perrin (1973) para la Sierra de Perú.

En conclusión, aunque sería arriesgado recomendar niveles de fertilización para una siembra comercial en base a los resultados de un solo ensayo, para experimentos futuros la recomendación que se desprende de este trabajo es aplicar 320 kg N/ha (óptimo técnico y económico según el modelo lineal discontinuo) y 970 kg P₂O₅/ha (óptimo técnico para el rendimiento comercial) o la cantidad de fósforo correspondiente al óptimo económico con los precios del momento (análisis de sensibilidad, Cuadro 2).

RESUMEN

Se estudió el efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y su interacción sobre el rendimiento de la papa en suelos Hydric Dystrandep de las faldas del volcán Poás, en la zona de Fraijanes (1750 msnm, 15 C de temperatura media anual, precipitación 3300 mm, 93% de fijación de fósforo). Se probaron cinco dosis de fósforo (0, 250, 500, 750 y 1000 kg P₂O₅/ha) y cuatro de nitrógeno (0, 150, 300 y 450 kg N/ha). Los rendimientos comerciales máximos (34,5 t/ha) se obtuvieron con 971 kg P₂O₅/ha y 381 kg N/ha, según las curvas cuadrática y cúbica de respuesta a ambos elementos, respectivamente. Se analizó la sensibilidad del óptimo económico a las variaciones de precios. Los óptimos técnicos y económicos determinados según un modelo lineal con máximo estable fueron 640 kg P₂O₅/ha y 321 kg N/ha. El ajuste estadístico de este modelo fue muy confiable para N, pero resultó más limitado que el de los modelos curvilíneos para P, por lo que para este último elemento, en términos prácticos, es conveniente considerar el análisis de sensibilidad sobre el óptimo técnico para establecer la recomendación económica adecuada.

LITERATURA CITADA

ALVARADO, A. 1975. Fertilidad de algunos andepts dedicados a potreros en Costa Rica. Turrialba 25(3): 265-270.

BERTSCH, F. 1982. Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandep en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 122p.

BIANCHINI, R. 1973. Ensayos de fertilización química en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía. 61 p.

BURTON, G. 1978. Factors limiting potato yields in tropical areas and the technology available for raising yields. In Planning Conference on Optimizing Potato Productivity in Developing Countries, Lima. Lima, Report, CIP.

CHAVERRI, B., BORNEMISZA, E. 1977. Interacción fósforo-zinc en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la zona de Pacayas. Agronomía Costarricense 1 (2): 83-92.

DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 61 p.

EGAWA, T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. In Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón. Ed. por Y. Ishizuka y C.A. Black. México, CIMMYT. p. 14-67.

EPPENDORFER, W.F. 1978. Effects of N-fertilization on amino acid composition and nutritive value of spinach, kale, cauliflower and potatoes. Journal of the Science of Food and Agriculture 29 (4): 305-311.

FASSBENDER, H.W. 1969. Deficiencia y fijación de fosfatos en suelos de América Central. In Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1969. Trabajos presentados. Turrialba, IICA. p. B-4, 1-10.

GREWAL, J.S.; VERMA, R.; BIST, R. 1979. Method, time and level of application of N to potato grown on acidic brown hill soils of Simla. Indian Journal of Agricultural Sciences 49 (9): 683-688.

LUZURIAGA, C. 1970. Propiedades morfológicas, físicas y químicas, y clasificación de seis andosoles de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 159 p.

MACKAY, D.C.; MACEACHERN, C.; BISHOP, R. 1966. Optimum levels in potato leaves (*Solanum tuberosum* L.). Soil Science Society of America Proceedings 30 (1): 73-76.

MCCOLLUM, R.E. 1978. Analysis of potato growth under differing P regimes. II. Time by P-status interactions for growth and leaf efficiency. Agronomy Journal 70: 58-67.

MIRANDA, H. 1956. Influencia del fósforo en el rendimiento de la papa en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 89 p.

MUÑOZ, R.; WIECZORECK, A. 1978. Fertilización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en los suelos andosoles del Departamento de Nariño, Colombia. Revista del Instituto Colombiano Agropecuario 13 (3): 473-484.

PEREZ, C.M. 1974. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la fertilización con N-P-K. Tesis

Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía. 51 p.

- PINEDA, R. 1969. Mineralización de N orgánico en algunos suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 79 p.
- RYAN, J.; PERRIN, R. 1973. The estimation and use of a generalized response function for potatoes in the Sierra of Peru. North Caroline Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin no. 214. 40 p.
- SALA, J. 1962. Ensayos de fertilización en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, 107 p.
- WAUGH, D.L.; CATE, R.R.; NELSON, L.A. 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. North Caroline State University. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. Boletín Técnico. 106 p.
- WIECZORECK, A., BAIRD, G. 1959. Fertilización de la papa en Nariño, Colombia. Ministerio de Agricultura, Departamento de Investigación Agropecuaria. Boletín de divulgación no. 7. s.p.