

INTERACCION FOSFORO-ZINC EN EL CULTIVO DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LA ZONA DE PACAYAS¹ *

Bernardo A. Chaverri** y E. Bornemisza***

ABSTRACT

Phosphorous-zinc interactions in potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Pacayas area. A study on the phosphorous-zinc interaction in the potato crop was performed in Typic Distrandept soils on the slopes of Irazú Volcano, Province of Cartago, Costa Rica. Four levels of phosphorous (zero, 480, 720 and 960 kg P₂O₅/ha) and three of zinc (zero and 43.5 kg/ha into the soil; 3 kg/ha as a foliar application) were tested in a randomized block design with four replications. A common base of nitrogen (200 kg/ha) and potassium (180 kg/ha) was used. Soil samples were taken before and after planting, as well as foliar samples at the time of maximum nutrient uptake and utilization by the plants.

There was no significant yield response to zinc applications, probably due to the high content of this element in the soil; however, it is felt that the application of zinc is a practice that would avoid any appreciable reduction of this element by successive crops. A significant yield increase was obtained when 480 kg P₂O₅/ha were applied, but no further significant increases were obtained at higher rates. The optimum economic level of phosphorous (480 kg/ha in this test) is lower than that routinely used in the area (720 kg/ha); this suggests the possibility of a reduction to almost one half of present application rates.

INTRODUCCION

La principal zona papera de Costa Rica se encuentra en las faldas del Volcán Irazú, al norte de la Provincia de Cartago. Ahí, las localidades de Cot, Tierra Blanca, Pacayas y San Rafael de Oreamuno han producido, por muchos años, cerca del 90% de la papa que se consume en el país.

Los estudios sobre el abonamiento racional de la papa, realizados en esa zona, empezaron cerca de 1945. Entre otros, el Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola (STICA) realizó una serie de ensayos, en los que se encontró que sólo el fósforo y el nitrógeno producían aumentos en la cosecha (5). Por otra parte, la Sección de Papa del Ministerio de Agricultura e Industria (MAI) encontró al inicio de sus investigaciones, cerca de 1950, que la papa respondía económicamente a dosis de fósforo del orden de 333 y 400 kg/ha de P₂O₅, junto a cantidades no mayores de 246 y 83 kg/ha de nitrógeno y potasio, respectivamente (5,6). Miranda (21) probó cuatro dosis de fósforo y tres métodos de aplicación, y obtuvo los mejores rendimientos y utilidad económica con el nivel de 412 kg/ha de P₂O₅.

¹ Recibido para su publicación el 31 de enero de 1977

* Parte de la tesis de grado de Ingeniero Agrónomo, presentada por el primer autor en la Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

** Sección de Tasaciones, Banco Nacional de Costa Rica.

*** Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.

Años después, en 1969, el mismo Ministerio recomendó para la zona papera niveles entre 666 y 1343 kg/ha de fósforo, y entre 166 y 246 kg/ha de nitrógeno, con un nivel fijo de potasio de 83 kg/ha. Esta recomendación fue motivada por las altas cosechas obtenidas al aplicar altas cantidades de fósforo al suelo (8).

El actual Ministerio de Agricultura y Ganadería realizó en 1974 dos ensayos, en los cuales probó diferentes dosis de N-P-K. En el primero, realizado en Pacayas, se encontró que 130 kg/ha de N y 300 kg/ha de P_2O_5 eran las cantidades óptimas a las cuales respondió la papa en forma económica. En el segundo ensayo, en Tierra Blanca, el potasio en dosis de 750 kg/ha fue el único elemento al que respondió el cultivo (4). En estudios posteriores, sin embargo, no se encontró respuesta al potasio (1, 24).

Se han realizado varios trabajos sobre la interacción fósforo-zinc en el cultivo de la papa, todos en regiones templadas. Boawn y Leggett (3) probaron dosis de cero, 1, 2, 4, 9 y 18 kg/ha de zinc y cero, 22, 90, 180 y 360 kg/ha de fósforo. Obtuvieron evidencia de una interacción antagónica entre el fósforo y el zinc, relacionada con su absorción y acumulación en la planta, y sugirieron que hace falta un mejor conocimiento de aquellas partes de la planta donde el zinc es metabólicamente activo.

En nuestro país, si bien no se ha estudiado la relación fósforo-zinc utilizando la papa como planta indicadora, se han realizado dos trabajos en que se involucra dicha interacción. En el primero, realizado en 1970 por Marinho (20), se utilizaron tres suelos deficientes de zinc, en los que se probaron dos niveles de fósforo, 400 y 600 kg/ha de P_2O_5 , y tres niveles de zinc, cero, 7.5 y 15 kg/ha, empleando maíz como planta indicadora; se encontró que la concentración de zinc en los tejidos decreció al aumentar el fósforo aplicado; se señaló también que la deficiencia de zinc puede ocurrir en suelos con altos valores de sesquióxido, bajos valores de zinc disponible y altas dosis de fósforo aplicado, los cuales provocan un desequilibrio nutricional.

Posteriormente, Grisolia y Bornemisza (13) estudiaron las interacciones fósforo-zinc-manganeso en varios suelos cañeros del país. Utilizaron dosis de cero, 500, 1000, y 1500 kg/ha de P_2O_5 ; cero, 10, 20 y 30 ppm de zinc-Fermix y cero, 20, 40 y

60 ppm de manganeso, con una base común de 100 kg/ha de nitrógeno y 75 kg/ha de potasio, y con tomate como planta indicadora. La respuesta al zinc se observó en los tratamientos en que se aplicaron altas dosis de fósforo. Solamente el fósforo aumentó la producción en todos los casos, ya que la aplicación de zinc aumentó la producción sólo en suelos deficientes en este elemento.

Debido a que la intensificación de la agricultura en la Zona Norte de Cartago es cada día mayor, y que el abonamiento con fósforo es una práctica establecida desde hace muchos años, se investigó la interacción fósforo-zinc en el cultivo de la papa. Con el conocimiento que se tiene de dicha interacción en general, parecía necesario contar con una mayor información sobre su efecto en la producción de la papa, sobre todo en los suelos de cenizas volcánicas recientes de esa zona, que hacen difícil la extrapolación de datos de otras regiones.

MATERIALES Y METODOS

Localización. El ensayo se plantó en la finca Sociedad Coto-Monge ubicada en Plantón, cerca de Pacayas, Provincia de Cartago, a una altura de 1825 m.s.n.m., con una precipitación media de 2600 mm por año y una temperatura media de 16.5°C durante los meses que duró el ensayo. Tosi (26) clasifica la zona como bosque muy húmedo montano bajo, rodeado de zonas de bosque muy húmedo premontano y bosque húmedo montano bajo.

Suelo. El suelo donde se plantó el ensayo es de buen drenaje, de textura franca y desarrollado a partir de depósitos profundos de cenizas volcánicas relativamente recientes. Se clasifica como Typic Dystrandeps (18). El resultado del análisis químico se muestra en el Cuadro 1.

Prácticas agrícolas. La siembra se efectuó el 14 de mayo de 1975. Se utilizó la variedad Atzimba, que es la de mayor uso en la región. Se siguieron las mismas prácticas utilizadas por los agricultores de la zona, tanto en la preparación del terreno como en las labores de cultivo.

Tratamientos. Los tratamientos consistieron en cuatro dosis de fósforo (cero, 480, 720 y 960 kg/ha de P_2O_5) y tres de zinc (cero, 3 y 43.4 kg/ha, la

Cuadro 1. Análisis químico del suelo donde se efectuó el ensayo

Muestra	pH		Materia orgánica %	K	Ca	Mg	Al	Zn	P	Fraccionamiento del Fósforo*					
	H ₂ O	KCl								P-Ca	P-Ca + P-Fe	P-Ca	ΣP-Ca	P-Al	P-Fe
	KCl														
				meq/100 g				ppm		ppm					
1	4.7	4.4	19.2	0.9	2.8	1.3	1.1	29	30	275	412	250	937	600	125
2	4.9	4.5	17.1	0.6	2.4	1.2	1.3	29	35	412	825	75	1312	600	100
3	5.1	4.7	17.2	2.3	3.9	1.5	0.6	32	37	412	650	250	1312	575	150
4	5.1	4.5	17.6	0.9	3.5	1.2	0.9	26	32	412	675	575	1662	625	162
5	5.0	4.5	17.6	1.5	2.9	1.1	1.1	21	35	150	562	787	1499	600	190
6	5.0	4.7	17.0	0.7	3.1	1.0	0.8	35	36	287	550	250	1087	625	237
7	4.9	4.6	19.6	2.2	4.3	1.4	0.7	35	30	387	825	337	1549	587	487
8	4.9	4.6	18.3	0.6	2.1	0.8	1.1	26	36	425	925	200	1550	700	209

segunda en forma de aplicación foliar). Se aplicó una base común de 220 kg/ha de nitrógeno y 180 kg/ha de K₂O. Se usaron triple superfosfato, Nu-Z, sulfato de zinc, nitrato de amonio y sulfato de potasio como fuentes de fósforo, zinc foliar, zinc al suelo, nitrógeno y potasio, respectivamente.

Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes: 1) fósforo y zinc a la siembra, ambos colocados en el fondo del surco; 2) fósforo en banda al suelo y zinc en aplicación foliar, ambos al momento de la aporca.

Durante el transcurso del ensayo se efectuaron aplicaciones de Maneb (bisditiocarbamato de etileno de manganeso, 80%) en dosis de 0.9 kg por 189 l. de agua, a intervalos de cinco días, para prevenir ataques de *Phytophthora infestans*. Se usó también Folidol, para combatir al áfido *Mysus persicae*, y Tamarón para eliminar al adulto de la polilla guatemalteca (*Scrobipalopsis solanivora*).

La cosecha del experimento se realizó en forma manual el 2 de octubre de 1975, cuatro meses y medio después de la siembra.

Análisis de las muestras foliares y de suelo. Las muestras foliares se tomaron de la tercera y cuarta hoja a partir del ápice de la planta; se lavaron con agua destilada, se secaron en una estufa de 70°C por dos días, se molieron y se sometieron a una digestión nítrico-perclórica con una relación 5:1; luego se siguió el método de análisis químico descrito por López y González (19). El fósforo se determinó por el método del colorímetro, mientras que el zinc se determinó con un espectrofotómetro de absorción atómica.

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad de 0-25 cm. Una vez secas al aire, cribadas y homogeneizadas, se sometieron a los análisis químicos. El pH se determinó según el método propuesto por Jackson (16). La materia orgánica se analizó por el método descrito por Walkley y Black (28). El potasio, el calcio y el magnesio se obtuvieron por el método de acetato de amonio 1 N, pH 7, descrito por Peech *et al* (23). El aluminio se determinó según el método propuesto por Kamprath (17). El fósforo se determinó por dos métodos: 1) el utilizado por Ginzburg y Lebedeva (12) que consiste en una adaptación al fraccionamiento propuesto por

Chang y Jackson; 2) también se realizó una extracción utilizando bicarbonato de sodio (22). En el caso de zinc, se usó el método de HCl 0.1 N propuesto por Trierweiler y Lindsay (27).

Diseño experimental. Se utilizó un arreglo factorial 4 x 3 con cuatro repeticiones, ordenado en un diseño de bloques al azar, dando un total de 48 parcelas, cuyo tamaño fue de 5 m de largo por 4 m de ancho. Se eliminó como borde el primer y último surco de cada parcela y la primer y última planta de cada surco, quedando una superficie de 11 m² como parcela útil, con 75 plantas en promedio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de suelo

El suelo donde se plantó este ensayo es característico para la zona papera de Cartago; presentó un considerable contenido de zinc extraído con HCl 0.1 N (Cuadro 1). Las cantidades de fósforo extraídas con NaHCO₃ 0.5M también fueron altas, lo que se puede esperar debido a que la aplicación de este elemento es práctica común en la región. En cuanto al fraccionamiento del fósforo por el método de Ginsburg y Levedeba (12), se aprecia que las fracciones de P-Ca y P-Al son las que presentan los más altos valores, ya que el fósforo se aplica como sal cálcica y el aluminio es el elemento que fija al fósforo en mayor cantidad en este tipo de suelo (11).

En lo que respecta al alto contenido de zinc, es de hacer notar que las prácticas agrícolas corrientes (aplicación de fungicidas que contienen zinc, en este caso), suplen una cantidad adecuada de este elemento, lo que contribuye a su presencia.

Rendimiento

El análisis estadístico de los resultados obtenidos indicó que el fósforo tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento, al afectar en forma considerable la producción total de tubérculos, la de tubérculos comerciales y la de tubérculos de tamaño pequeño, o "arreflís" (Figuras 1 y 2).

En lo que respecta a la aplicación de zinc y su interacción con el fósforo, no hubo diferencias esta-

dísticas significativas. Este resultado estuvo condicionado al alto contenido de zinc en el suelo, que probablemente no se precipitó debido al alto grado de insolubilidad de los fosfatos presentes en el suelo, cuya apreciable fijación de fósforo se conoce. Sin embargo, la aplicación de sulfato de zinc al suelo incrementó la producción de papas aproximadamente en un 8% (Figuras 1 y 2), resultado mayor al obtenido por Grunes (14), en que el aumento ocasionado fue del 5%. La fertilización foliar de zinc no indujo a un aumento significativo en la producción.

Los resultados, en lo que respecta al fósforo, concuerdan con anteriores ensayos realizados en nuestro país, en los que sólo el fósforo produjo aumentos considerables en la cosecha (1, 4, 24, 25). Además, reafirman lo anotado por Guerrero (15), el cual indicó que la papa responde altamente a la fertilización fosfórica.

Colaboró con la alta respuesta encontrada al fósforo el efecto residual de este elemento, como consecuencia de fertilizaciones anteriores. Este factor probablemente contribuyó a que el fósforo aplicado en este ensayo no fuera fijado totalmente por los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, ya que a base de las aplicaciones previas hubo bastante fijación y así, es probable que una parte de la capacidad fijadora del suelo estuviera saturada. Esto explica en parte los resultados obtenidos en el fraccionamiento del fósforo (Cuadro 1), en que se aprecian los altos valores de este elemento fijados por el aluminio y el hierro, asumiéndose que para el momento de plantado el ensayo la alta capacidad de fijación de estos dos elementos había disminuido.

Estos datos son similares a los encontrados por Fassbender (11), difiriendo únicamente en la cantidad de P-Ca hallada en este ensayo, ya que este autor determinó que las formas de fósforo unidas al calcio se presentan en menor grado que las unidas al hierro y al aluminio. Esto posiblemente se debe a que los suelos del presente experimento son apreciablemente más abonados con fósforo que los que usó Fassbender.

En la Figura 1 se nota que la producción, en el renglón de papa total, se incrementó notablemente con el nivel de 480 kg/ha de fósforo cuando este se aplicó en forma aislada, es decir sin zinc; al aumentar las dosis de fósforo, aumentó la producción, pero en menor grado que en el caso anterior. Al nivel de 480 kg/ha la aplicación de zinc, tanto foliar co-

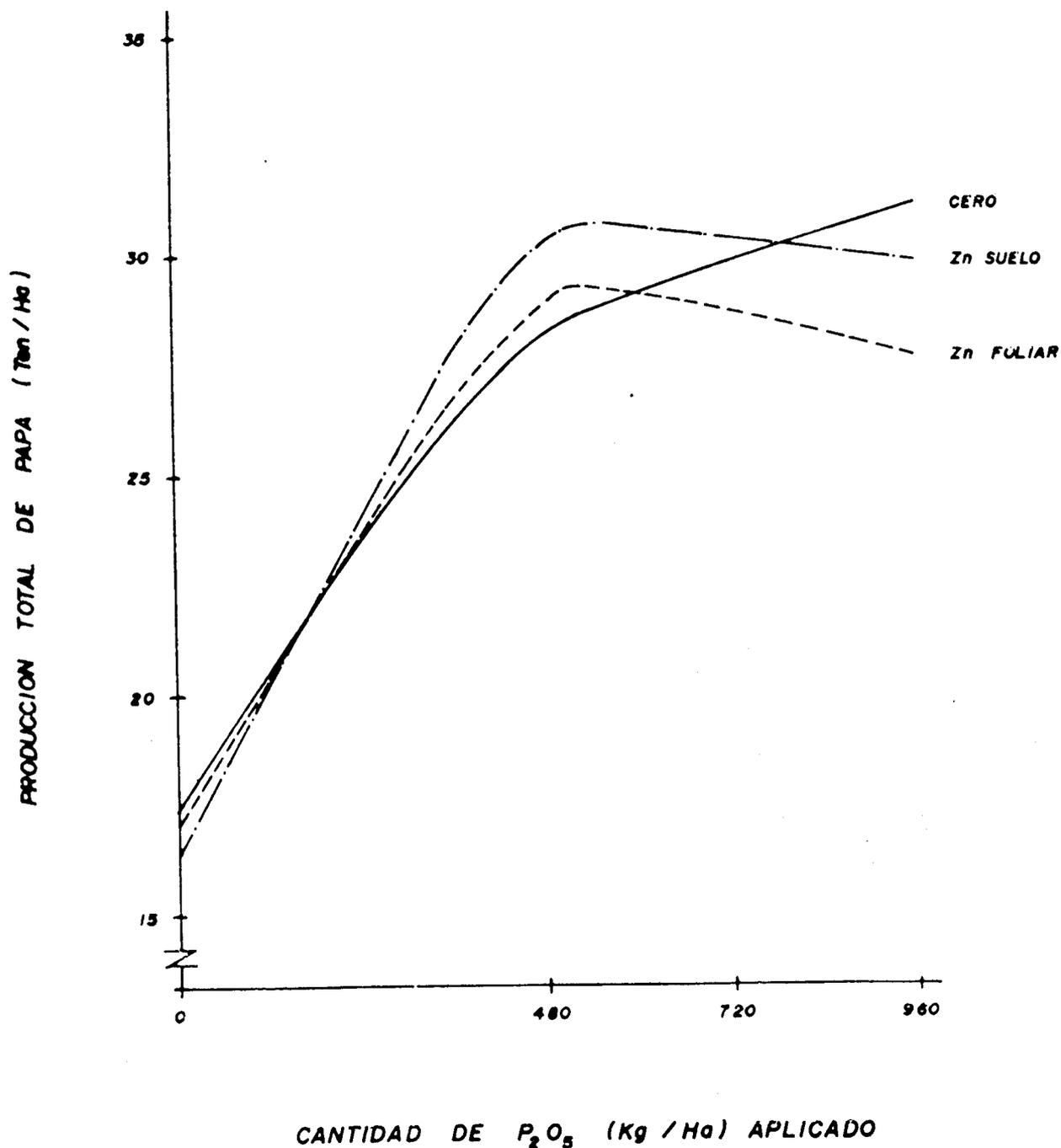


Fig. 1. Efecto de la fertilización con fósforo y zinc en el rendimiento de papa total.

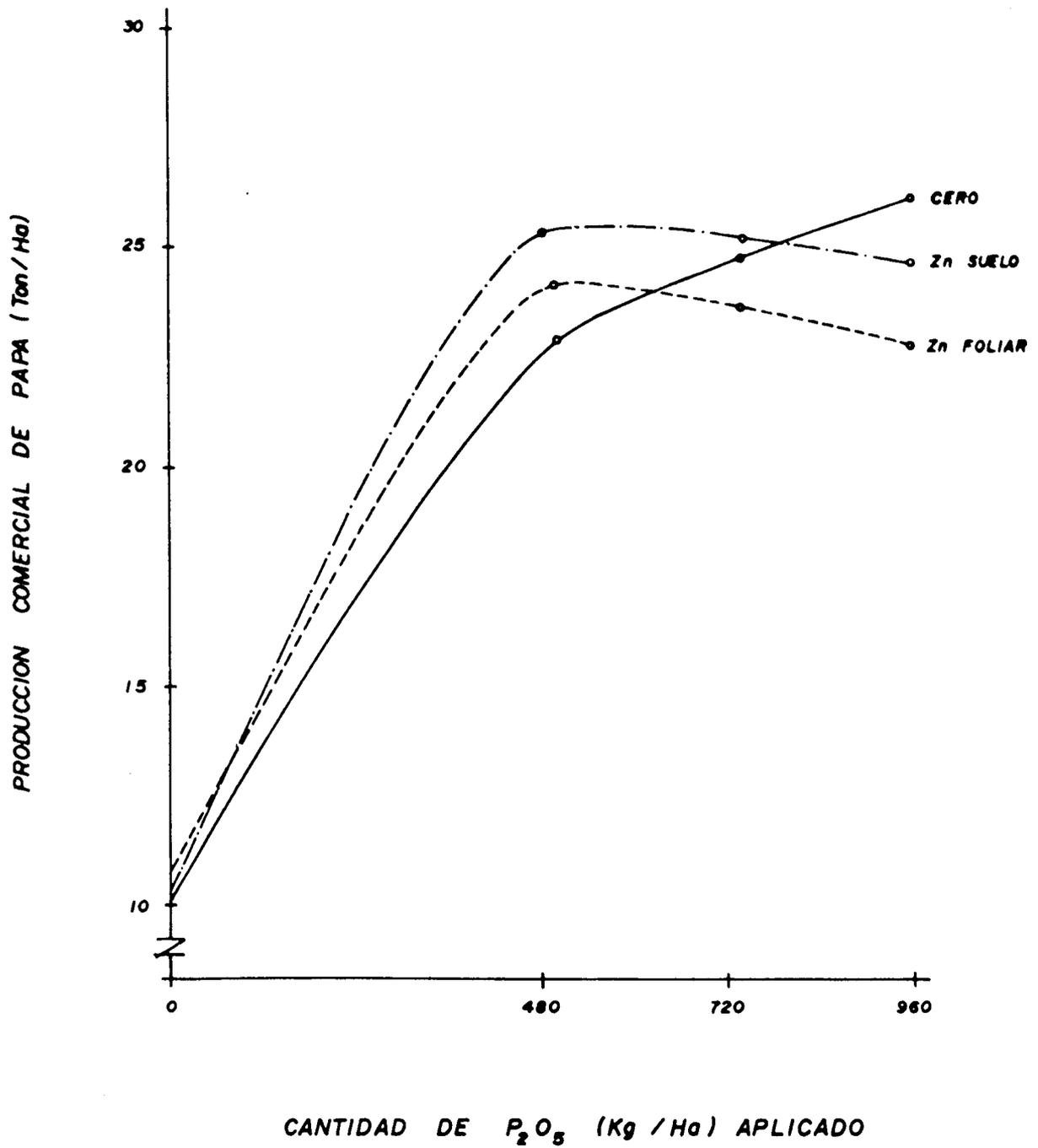


Fig. 2. Efecto de la fertilización con fósforo y zinc en el rendimiento del tubérculo comercial.

mo al suelo, tuvo un ligero efecto sobre la cosecha, si bien no logró alcanzar significancia estadística. A niveles superiores de fósforo se perdió el efecto del zinc.

El nivel óptimo económico de fósforo encontrado en este ensayo (480 kg/ha) es bastante menor que el empleado rutinariamente en la zona papera (720 kg/ha); esto sugiere que se puede hacer una reducción casi a la mitad del nivel de aplicación actual, lo que representaría para el agricultor un ahorro de cerca de $\$$ 1300 por hectárea por cosecha, a nivel de los precios actuales.

Otro dato interesante se obtiene al comparar el promedio de zinc en el suelo antes de la siembra, 29 ppm (Cuadro 1), con los datos después de esta (Cuadro 2). Se observa que si no se aplica este elemento, la concentración disminuye a la mitad del dato original (a 14.5 ppm), mientras que si se aplica zinc al suelo, se reduce esta disminución a aproximadamente un 25% (a 21 ppm). Se observa que la aplicación

foliar resulta en un valor intermedio de reducción (a 17 ppm). Es probable que esta extracción por las cosechas sea en la práctica comercial neutralizado por el uso frecuente de fungicidas que contienen zinc (como zineb y mancozeb) en el control fitosanitario del cultivo.

Análisis foliar

En el Cuadro 3, se observa el resultado del análisis foliar que se practicó, al mes y medio y a los tres meses y medio de la siembra, con la finalidad de determinar la variación del fósforo y el zinc, en época de máxima absorción y de máximo consumo del fósforo. También se presenta el resultado de un muestreo al azar del resto de la plantación, donde se aplicó zineb; este muestreo se realizó con el objeto de determinar el contenido de zinc en las plantas sometidas a aplicaciones periódicas de dicho fungicida.

Cuadro 2. Resultado del análisis químico del suelo después de la cosecha (muestras compuestas de los 12 tratamientos).

Tratamiento		Fraccionamiento del Fósforo						Zn	Al
P ₂ O ₅	Zn	P-Ca	P-Ca + P-Fe	P-Ca	Σ P-Ca	P-Al	P-Fe	HCl	KCl
(kg/ha)		ppm						ppm	meq/100g
0	0	562	537	362	1461	625	237	17	0.9
0	3	525	762	200	1487	887	135	18	0.9
0	43.5	275	587	212	1074	812	170	20	0.9
480	0	430	650	350	1430	600	250	13	0.9
480	3	562	562	200	1324	637	175	18	1.3
480	43.5	825	561	225	1612	737	162	20	1.1
720	0	515	437	200	1152	500	200	18	1.1
720	3	575	937	212	1724	750	187	12	1.0
720	43.5	912	1087	150	2149	762	175	23	1.0
960	0	800	1037	575	2412	737	175	10	1.2
960	3	1050	1037	625	2712	762	175	19	1.2
960	43.5	925	1087	550	2562	625	150	22	1.0

Cuadro 3. Muestreo foliar en época de máxima absorción y utilización de nutrientes por la papa.

Tratamiento		Primer muestreo		Segundo muestreo	
P kg/ha	Zn kg/ha	P %	Zn ppm	P %	Zn ppm
0	0	0.23	53	0.22	143
0	3	0.23	43	0.23	136
0	43.5	0.23	40	0.21	125
480	0	0.35	50	0.22	144
480	3	0.39	60	0.22	116
480	43.5	0.38	70	0.21	131
720	0	0.41	56	0.25	163
720	3	0.38	54	0.26	128
720	43.5	0.38	60	0.28	120
960	0	0.30	50	0.27	147
960	3	0.39	53	0.28	128
960	43.5	0.36	72	0.25	129
Muestreo al azar del resto de la plantación				0.28	200
				0.24	150
				0.24	140
				0.24	140

En el primer muestreo se encontró el mayor contenido de fósforo, disminuyendo para el segundo muestreo; esto es de esperar, por cuanto el fósforo es trasladado de la parte aérea a la radical, zona de máxima multiplicación de células. En cuanto al zinc, se sucede un aumento para el segundo muestreo, época en que este elemento es requerido por la planta para cumplir funciones metabólicas.

En lo referente al muestreo del resto de la plantación, se aprecia un alto contenido de zinc, lo que indica que el fungicida usado suple una cantidad considerable de este elemento, dato que coincide con lo obtenido por Emge y Linn (10), quienes probaron el efecto de diferentes fungicidas a base de zinc sobre el crecimiento y contenido de este nutriente en plantas de tomate; estos investigadores encontraron que el fungicida zineb suple zinc a la

planta en un ámbito comparable a aspersiones con $ZnSO_4$.

Grunes et al (14) encontraron que valores cerca de 30 ppm de zinc en tejidos foliares de papa no indican deficiencias de este elemento y que sólo concentraciones por debajo de 15 ppm se consideran generalmente como deficientes.

Se ha encontrado que los tratamientos con zinc foliar son menos efectivos en el aumento de la producción de papa (9, 10), que los hechos al suelo. En las Figuras 1 y 2 se observa que, bajo las condiciones en que se realizó este ensayo, los datos obtenidos como resultado de la aplicación foliar de zinc concuerdan con lo anotado anteriormente y que las concentraciones han sido suficientemente altas para asegurar las necesidades del cultivo.

RESUMEN

Se realizó un estudio sobre la interacción fósforo-zinc en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) y su efecto en la producción, en suelos Typic Dystrandeps de las faldas del Volcán Irazú. Se probaron cuatro niveles de fósforo, cero, 480, 720 y 960 kg/ha de P₂O₅ y tres niveles de zinc, cero y 43.5 kg/ha al suelo y una aplicación foliar de 3 kg/ha, ordenados en un bloque al azar con cuatro repeticiones; se usó una base común de nitrógeno (220 kg/ha) y de potasio (180 kg/ha). Se tomaron muestras de suelo antes y después de la siembra así como dos muestras foliares en la época de máxima absorción y utilización de nutrientes por la planta.

No hubo respuesta significativa en rendimiento a las aplicaciones de zinc, debido probablemente al alto contenido de este elemento en el suelo. Sin embargo, se estima que la aplicación de zinc es una práctica que evita la apreciable reducción del elemento por las cosechas.

Se encontró también que el nivel óptimo económico de fósforo (480 kg/ha en este ensayo) es inferior al empleado rutinariamente (720 kg/ha), lo que sugiere una reducción casi de la mitad del nivel de aplicación.

LITERATURA CITADA

1. BIANCHINI G., R. Ensayos de fertilización química en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica., Facultad de Agronomía. 1973. 61 p.
2. _____ y RAMIREZ, C. Curso de papa. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección de Investigaciones Agrícolas. Departamento de Agronomía. 1972
3. BOAWN, L. C y LEGGETT, G. E. Phosphorous and zinc concentrations in Rossett potato tissues in relation to development of zinc deficiency symptoms. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:229-232. 1964.
4. COSTA RICA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Dirección General de Investigaciones Agrícolas. Informe Anual de Labores. 1974, pp 68-72.
5. _____ MINISTERIO DE AGRICULTURA E INDUSTRIAS. Memoria Anual. Sección de Papas. 1950. pp 175-178.
6. _____ Memoria Anual. Sección de Papas. 1956. pp 24-25.
7. _____ Memoria Anual. Sección de Papas. 1958. pp 31-35.
8. _____ Memoria Anual. Sección de Papas. 1960. pp 17-18.
9. CHISHOLM, D. y MACEACHERN, C.R. Zinc for potatoes in Nova Scotia. Canad. J. Agric. Sci. 23:598-600. 1954.
10. EMGE, R.G. y LINN, M.B. Effect of spraying with zineb on the growth and zinc content of the tomato plant. Phytopathology 42:132-136. 1952.
11. FASSBENDER, H.W. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, C.R., 1969. pp B41-B50.
12. GINSBURG, K.E. y LEBEDEVA, L.S. The methods for phosphorous mineral forms determinations. Agrochemistry 1:125-135. 1971.
13. GRISOLIA, F. y BORNEMISZA, E. Interacciones fósforo, zinc y manganeso en ocho suelos de Costa Rica. V Congreso Latinoamericano de suelos, Medellín, Colombia, 1975 (en prensa).
14. GRUNES, D.L., BOAWN, L.C., CARLSON, C.W. y VIETS, F.G. Zinc deficiency of corn and potatoes as related to soil and plant analyses. Agronomy Journal 53:68-71. 1961.
15. GUERRERO, R. La fertilización fosfórica en cultivos de clima frío. In El fósforo en zonas tropicales. Tercer coloquio sobre suelos. Suelos Ecuatoriales 6: 179-223. 1974.
16. JACKSON, M. Soil chemical analysis. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1958. pp 38-39.
17. MAMPRATH, E. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. International Soil Testing. Boletín Técnico No. 4. North Carolina State University. 1967. 22 p.
18. KNOX, E. y MALDONADO, F. Suelos derivados de cenizas volcánicas. Excursión al volcán Irazú. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba C.R., 1969. pp A81-A87.
19. LOPEZ, C.A. y GONZALEZ, M. Métodos de análisis

- químicos para suelos y plantas. Laboratorio de Investigaciones Agronómicas. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. 1970. 46 p. (mimeo).
20. MARINHO, L. Influencia do fósforo e sesquióxidos livres na absorcao de Zn por milho em solos tropicais. Tesis, Mg Sci. Turrialba, IICA, 1970. 80 p.
 21. MIRANDA, H. Influencia del fósforo sobre el rendimiento de la papa en Costa Rica. IICA, Tesis, Mg. Sci. Turrialba, IICA, 1956, 89 p.
 22. OLSEN, S. *et al.* Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agriculture. Circular 939 1954.
 23. PEECH, M. y ALEXANDER, L. Methods of soil analisis for soil fertility investigations. U.S. Department of Agriculture, Circular 757. 1947.
 24. PEREZ B., C.M. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la fertilización con N-P-K. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 1974. 51 p.
 25. SALA, J. Ensayos de fertilización en el cultivo de la papa. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 1962. 53 p.
 26. TOSI, J. Mapa Ecológico de Costa Rica. Centro Científico Tropical, San José, C.R. 1969.
 27. TRIERWEILER, J. y LINDSAY, W. EDTA-Ammonium carbonate soil test for zinc. Soil Sci. Sco. Amer. Proc. 33: 49-54. 1969.
 28. WALKLEY, H. y BLACK, C.A. An examination of the Degtajareff's method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38 1939.