

Respuesta agroeconómica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo diferentes fuentes de fósforo, en Villapinzón, Cundinamarca

Agroeconomic Response of the Potato Crop (*Solanum tuberosum* L.) Under Different Phosphorus Sources in Villapinzón, Cundinamarca

Helber Manuel Hernández¹, Fabio Emilio Forero²,
Diego Otálora Antolines³ y Pablo A. Serrano Cely⁴

Resumen

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es una de las actividades agrícolas más importantes de las zonas de clima frío de Colombia; pero, en su mayoría, estas zonas presentan suelos derivados de ceniza volcánica, que fijan el fósforo y causan deficiencia de este elemento en las plantas; por tanto, se evaluó la respuesta agroeconómica de diferentes fuentes de fósforo sobre la variedad Parda Pastusa en un suelo alofánico de Villapinzón, Cundinamarca. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, donde se distribuyeron cinco tratamientos: tres de ellos correspondientes a diferentes fuentes de fósforo (roca fosfórica, fertilizante complejo granulado grado 13-26-6, y

Abstract

The potato crop is one of the most important agricultural activities in cold climate areas of the country. However, these areas have mostly soils derived of volcanic ash fixing phosphorus and cause deficiency of this element in potato plants. Therefore, it was evaluated the agro and economic response of different sources of phosphorus on the variety Parda Pastusa in allophanic soils of Villapinzón, Cundinamarca. It was used a randomized complete block, which distributed 5 treatments: three of them corresponding to different sources of phosphorus (phosphoric rock, granular fertilizer grade 13-26-6; mixture of 50% of DAP (diammonium phosphate 46%

¹ Ingeniero agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. deahell@yahoo.es

² Profesor asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. guatoquero@gmail.com

³ Ingeniero agrónomo, representante legal de ventas Monómeros Colombo-Venezolanos Zona centro. dotalora@monomeros.com.

⁴ Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. pserranocely@gmail.com

mezcla de 50% de DAP {fosfato diamónico 46% de P_2O_5 } + 50 % de roca fosfórica), en dosis de 400 de P_2O_5 ; los otros dos: un testigo comercial y un testigo absoluto; se midió el rendimiento por calidades comerciales y se hizo un análisis económico. El mayor rendimiento de papa, en las categorías primera, pareja y total, se encontró con la aplicación de 13-26-6; la mayor rentabilidad y uno de los ingresos netos más altos se logró con la roca fosfórica; el testigo absoluto presentó el menor rendimiento y menor ingreso neto; mientras que la menor rentabilidad y relación ingreso/costo fueron obtenidas con la mezcla de roca fosfórica + DAP.

Palabras clave: Cultivo de papa, Roca fosfórica, Fertilizante 13-26-6.

P_2O_5) + 50% of phosphoric rock) in doses of 400 $kg \cdot ha^{-1}$ of P_2O_5 , the other two: a commercial control and an absolute control; it was measured the potato yield for commercial grades, and it was made an economic analysis. The highest yield of potato, in the first category, dyad and total under the application of 13-26-6 fertilizer, the highest rentability and one of the higher net income was obtained with phosphate rock; the absolute control had the lowest yield and net income, while the lower rentability and income/cost ratio were obtained with the mixture of phosphoric rock + DAP.

Key Words: Potato Crop, Phosphate Rock, 13-26-6 Fertilizer.

Introducción

Una de las principales actividades agrícolas de la zona andina colombiana es el cultivo de papa; de esta actividad dependen unas 90.000 familias, en su mayoría, de pequeños productores de escasos recursos, para quienes es muy difícil acceder a nuevas tecnologías para aplicarlas en el cultivo (Cevipapa, 2005). La producción mundial de papa para el año 2007 se estimó en 312.736.483 t, con un área cosechada de 19.327.261 ha y un rendimiento de 16,6 t·ha⁻¹. Para Colombia, en este mismo año, la producción fue de 1.900 t, en un área cosechada de 110.000 ha y un rendimiento de 17,2 t·ha⁻¹ (FAO, 2008).

El cultivo de papa se caracteriza por la alta demanda de mano de obra y el uso intensivo de fertilizantes de síntesis química, pues los elementos requeridos por la planta no se alcanzan a suplir con la disponibilidad natural del terreno. En el suelo, el fósforo soluble puede formar compuestos con algunos elementos como calcio, hierro, aluminio y manganeso, y, en particular, en los suelos derivados de cenizas volcánicas se enlaza con la superficie reactiva de las alófanas y los complejos de humus-Al, convirtiéndose en formas químicas no disponibles para las plantas (Pumisacho y Sherwood, 2002); al respecto, Peña (2006) afirma que uno de los factores que limita en mayor grado la disponibilidad de fósforo para la planta es la presencia de cenizas volcánicas. Castro (2005) menciona que en los suelos andisoles paperos con alto contenido de cenizas se llega a inmovilizar el fósforo nativo o el aplicado hasta en un 90%, debido a que la composición organomineral de estos terrenos, dominados en su fracción arcilla por alófana e imogolita, y por el complejo humus-aluminio, es altamente inmovilizadora del fósforo disponible en la solución del suelo; esta condición explica las altas aplicaciones de este elemento, aunque su requerimiento sea de alrededor 80 kg·ha⁻¹ de P₂O₅, las cuales no necesariamente garantiza que la productividad sea mayor, como sí lo son los costos de producción, lo cual hace que la rentabilidad del cultivo disminuya.

El fósforo es un elemento esencial de los componentes químicos de la planta; es un componente de estructuras macromoleculares, como los ácidos nucleicos y fosfolípidos en las biomembranas (Marschner, 1995). El fósforo forma enlaces anhídridos altos en energía, como es el caso del ATP y ADP, desempeñando un papel clave en la fotosíntesis, la respiración y el

metabolismo energético (Bonilla, 2008). En el caso de la papa, el fósforo promueve el crecimiento de las raíces y la rápida formación de tubérculos, por lo que es un elemento crítico en el período inicial de desarrollo de la planta y en la tuberización (Pumisacho y Sherwood, 2002).

Una deficiencia de fósforo retarda el crecimiento apical, lo que da lugar a plantas pequeñas y rígidas y reduce la formación de almidón en los tubérculos, lo cual se manifiesta con manchas necróticas distribuidas en estos (Pumisacho y Sherwood, 2002). El bronceado normal de los foliolos desaparece, los pecíolos son más erectos y la madurez de la planta, generalmente, se retrasa (Mengel y Kirkby, 2001). Según Barrera (2003), el retardo en la madurez (poca floración) y el desarrollo foliar reducido son los síntomas más comunes en las condiciones de los suelos paperos en Colombia.

La aplicación directa al suelo de roca fosfórica (RF) es una alternativa que ha tomado importancia por su costo más bajo, y ha sido utilizada como fertilizante fosfatado durante varias décadas, no solo por su valor agronómico como fuente de fósforo, sino también como fuente de calcio para el cultivo de la papa (Fernández y Ramírez, 2001). Otra alternativa que se puede tomar es la aplicación de 50% RF + 50% fosfato diamónico (DAP). En condiciones normales, solo del 20% al 30% del fósforo aplicado al suelo como fertilizante es absorbido por la planta durante un ciclo de crecimiento. Vera et al. (1989) afirman que se obtiene mayor eficiencia aplicando en forma conjunta fósforo y nitrógeno que con fuentes distintas, debido a que el nitrógeno, al ser absorbido por las plantas en forma de amonio, acidifica el entorno radicular y facilita la disolución y liberación del fosfato del fertilizante. Por su parte, el 13-26-6 es un fertilizante complejo granulado con 26% de fósforo asimilable (P₂O₅), especialmente indicado para el cultivo de la papa en suelos deficientes en fósforo.

El costo de la fertilización fosfórica representa el 60% de los costos de fertilización, ya que los fertilizantes más usados son de grados 1:2:1 y 1:3:1, y su eficiencia se considera del 20%; por lo tanto, el impacto económico de la fertilización fosfórica es considerable en el escenario productivo (Barrera, 2003).

Por lo anterior, esta investigación se propuso evaluar la respuesta agroeconómica del cultivo de papa, variedad parda pastusa, bajo diferentes

fuentes de fósforo, en Villapinzón, Cundinamarca, con el fin de generar una alternativa de fertilización fosfórica que aumente la productividad y la rentabilidad del cultivo de papa.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en la finca “El Carraco”, ubicada en la vereda Guangüita Alto, del municipio de Villapinzón (Cundinamarca), con coordenadas 05° 14´09” N y 73° 42´ W, altitud de 3350 msnm y temperatura promedio de 11 °C. Para la selección del lote se tuvo como criterio la reacción positiva al fluoruro de sodio al 10% (NaF), es decir, que mostrara presencia de alófanos.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, donde se distribuyeron cinco tratamientos correspondientes a diferentes fuentes de fósforo (roca fosfórica; fertilizante complejo granulado grado 13-26-6; mezcla de 50% de DAP {fosfato diamónico 46% de P_2O_5 } + 50 % de roca fosfórica); se incluyó un testigo comercial, en el cual se aplicó el fósforo utilizando como fuente fosfórica el DAP, y, por último, se manejó un testigo absoluto, sin aplicación de fósforo. La dosificación aplicada fue 400 kg·ha⁻¹ de P_2O_5 , y cada tratamiento se repitió tres veces, para un total de 15 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo compuesta por un surco de 1 m x 17,5 m, donde se sembraron 43 plantas de papa, separadas a 0,4 metros entre sitios.

Como material vegetal se utilizó semilla de papa F2, proveniente de semilla certificada variedad Parda Pastusa, cuyo tamaño correspondió a la categoría segunda o pareja, que tiene un rango de diámetro entre 20 y 35 milímetros (Tabla 2). Respecto de las fuentes fosfóricas para los diferentes tratamientos, se utilizó roca fosfórica (RF), parcialmente acidulada, proveniente de la empresa fosfatos Boyacá, acidulada con ácido sulfúrico y 20% de P_2O_5 ; la otra fuente fosfórica fue el fertilizante complejo granulado grado 13-26-6, y la última fuente fue el DAP; estas fuentes comerciales fueron suministradas por la empresa Monómeros Colombo Venezolanos.

Se realizó un muestreo de suelos previo a la preparación de estos, con el fin de determinar las condiciones iniciales del experimento, para lo cual se tomaron en zigzag seis submuestras a 20 cm. de profundidad, en toda el área experimental, con barreno holandés; las submuestras se mezclaron y se obtuvo una muestra de 1 kg. para los análisis

fisicoquímicos, cuyos resultados se reportan en la Tabla 1.

El suelo fue preparado con tractor y rotovator; luego se surcó con bueyes y arado de chuzo. Posteriormente, se aplicó cal agrícola, de acuerdo con el análisis de suelos, y después se depositó la semilla en los surcos, tapándose con suelo del borde del surco. Enseguida, se adicionó cada uno de los tratamientos de fertilización fosfórica junto con la compensación de nitrógeno y potasio para cada uno de los tratamientos que lo requirieron, según lo recomendado por el ICA, de forma que la única diferencia entre los tratamientos correspondió al fósforo, que era el objeto del estudio, tal como lo afirma González (2005). Se cubrió el fertilizante con suelo para evitar pérdidas por volatilización y para asegurar la liberación adecuada de los nutrientes. Se realizaron las diferentes labores culturales propias del cultivo, como deshierbe, aporque y control de problemas fitosanitarios.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del suelo antes de la siembra

Propiedad	Valor	Unidades
Arena	57	%
Arcilla	15	%
Limo	28	%
pH	4,2	Escala
Materia orgánica	15,9	%
Ca	2,84	cmol·kg ⁻¹ de suelo
Mg	0,48	cmol·kg ⁻¹ de suelo
K	0,88	cmol·kg ⁻¹ de suelo
Na	0,12	cmol·kg ⁻¹ de suelo
P	115	mg·kg ⁻¹ de suelo
Fe	196	mg·kg ⁻¹ de suelo
Cu	0,34	mg·kg ⁻¹ de suelo
Zn	0,86	mg·kg ⁻¹ de suelo
Mn	6,5	mg·kg ⁻¹ de suelo
Al+3	4,4	cmol·kg ⁻¹ de suelo
ClCe	8,72	cmol·kg ⁻¹ de suelo
CE	0,55	(dSm ⁻¹)

La toma de datos de producción se realizó en el momento de la cosecha, que se llevó a cabo a los 178 días después de la siembra. Se evaluó el rendimiento de tubérculo (kg·ha⁻¹), para lo cual se pesó cada una de las categorías comerciales (primera, segunda y tercera) y se extrapolo a una

hectárea, teniendo en cuenta que la plantación fue de 25.000 plantas·ha⁻¹ (la clasificación se hizo con base en la recomendación de la Tabla 2); también se incluyó la categoría “arreglada”, en la cual se muestran los tubérculos con algunos daños mecánicos o fitosanitarios, pero aún aptos para el consumo humano. En cuanto al análisis económico, se llevó a cabo el registro de todos los costos de producción, al igual que los ingresos totales, y siguiendo la metodología utilizada por Forero (2009), se calcularon los diferentes indicadores económicos.

Tabla 2. Clasificación de papa variedad parda pastusa

Categoría	Diámetro (mm)	Peso (g)
Cero	mayor de 45	50-80
Primera	31-45	36-50
Segunda o Pareja	20-35	20-35
Tercera o Riche	menor a 19	menor a 19
Arreglada	Diámetros de primera y cero	

Para el análisis de los datos se hizo una prueba de normalidad (Test de Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de varianzas (Test de Levene); también se realizó un análisis de varianza y se utilizó la prueba de comparación de promedios de Tukey con una confiabilidad del 95%, todo con el programa SAS v. 8.1e (Cary, N.C).

Resultados y Discusión

Se encontraron diferencias significativas en la categoría pareja y en el rendimiento total. La fuente más importante fue 13-26-6, pues generó el mayor rendimiento en las categorías primera, pareja y total. Con el testigo absoluto se obtuvieron los rendimientos más bajos en todas las categorías (Figura 1).

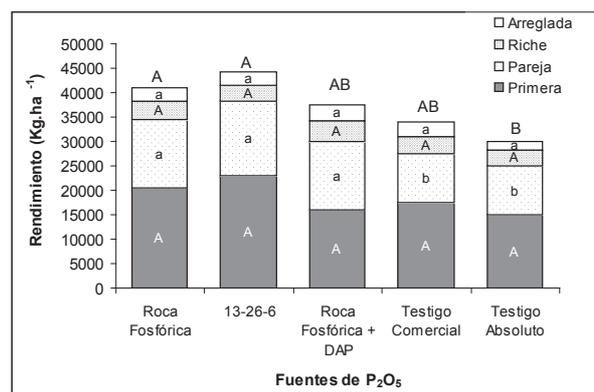


Figura 1. Efecto de diferentes fuentes de fósforo sobre el rendimiento de las categorías comerciales de papa variedad Parda Pastusa en Villapinzón, Cundinamarca. Promedios seguidos con letras distintas en la misma serie son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey (5%).

Suárez (1971) afirma que un tamaño de partícula superior a 5 mm conduce a una mejor eficiencia de los fertilizantes fosfatados de alta solubilidad cuando son aplicados en suelos altamente fijadores de fosfatos; esto permitiría explicar, en parte, la mayor eficiencia del fertilizante 13-26-6 respecto de la roca fosfórica. Otra posible causa puede ser la mayor solubilidad y, probablemente, mayor disponibilidad de P₂O₅ del 13-26-6 en las etapas tempranas y de mayor necesidad del cultivo. No obstante, la roca fosfórica mostró muy buena respuesta, y aunque en su composición presenta 14% de P₂O₅ de lenta asimilación y 6% de rápida asimilación, esto posiblemente permitió menor fijación del P₂O₅ por las alófanas y el carbono orgánico; además, logró que una buena cantidad del fósforo estuviera disponible en la época de mayor demanda nutricional, que ocurre a partir de los 50 a 60 días después de la emergencia, época en que comienza la tuberización del cultivo (Guerrero, 1998). Además, la solubilidad de la roca fosfórica depende del pH, con mayor valor hacia pH ácido, como el que se presentó en Villapinzón (4,2); al respecto, Mackay y Syers (1986) encontraron que la roca fosfórica de Sechura (Perú), 90 días después

de su aplicación, había liberado por disolución un 34% de su fósforo, cuando el pH del medio fue de 5,2, pero la proporción del fósforo liberado tan solo fue del 2% cuando el pH se elevó a 6,9.

Resultados similares a los del presente estudio fueron encontrados en Facatativá (Cundinamarca), en un suelo derivado de ceniza volcánica, en donde con 4 ppm de fósforo disponible se determinó, en dos ciclos, la respuesta de la papa criolla a la aplicación de fuentes y dosis de fósforo. Las fuentes fueron: roca fosfórica parcialmente acidulada al 50% con ácido nítrico y con 25% de P_2O_5 y 6% disponible; roca natural con 26% de P_2O_5 total y 2% disponible, y roca desfluorinizada con 30% de P_2O_5 total y 8% disponible; superfosfato triple con 46% de P_2O_5 total. Las dosis para cada fuente fueron 100, 200, 300, 400 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 y un testigo. Los resultados indicaron respuesta positiva al fósforo al aplicar superfosfato triple, roca parcialmente acidulada y roca desfluorinizada. El empleo de roca fosfórica natural, al igual que el testigo, no representaron viabilidad técnica ni económica (Lora *et al.*, 2004).

En estudios realizados con 13-26-6, Muñoz y Lucero (2008) encontraron que con 300 $kg \cdot ha^{-1}$ de esta fuente se obtuvo un mayor rendimiento de papa criolla calidad primera, segunda y total, respecto de dosis superiores (600 y 900 $kg \cdot ha^{-1}$ de 13-26-6); además, esta respuesta fue mayor cuando se adicionaron 800 $kg \cdot ha^{-1}$ de abono orgánico.

Guerrero (1998) explica que bajo condiciones de suelos ácidos, pobres en calcio y con elevadas concentraciones de aluminio, tal como las encontradas en el presente estudio, la reacción alcalina del DAP sería teóricamente ventajosa, por cuanto promovería una mayor eficacia del abono, en comparación con el superfosfato triple, cuya reacción fuertemente ácida (pH 1,0) supone una intensa precipitación hacia fosfatos insolubles de aluminio y hierro, según lo demostrado por Amézquita (1981) y por Arias y Cantillo (1983). Sin embargo, se observó una menor respuesta con esta fuente respecto de las demás fuentes evaluadas.

Análisis económico

Respecto del ingreso total, solo se presentaron diferencias estadísticas en la categoría pareja. Se generaron ingresos más altos en las categorías

primera, pareja y total, con el 13-26-6, y riche y arreglada, con la mezcla de Roca Fosfórica + DAP. Los resultados opuestos se obtuvieron con el testigo absoluto (Figura 2). Para los precios de venta de la papa en Villapinzón 700, 300, 100 y 250 $\$ \cdot kg^{-1}$ para primera, pareja, riche y arreglada, respectivamente, si se tiene en cuenta que la mayor producción según las calidades fue la categoría primera, se observa que los ingresos totales dependen principalmente de esta y, luego, de la pareja; por tanto, los tratamientos que generaron mayor producción de estas categorías fueron los que presentaron ingresos más elevados.

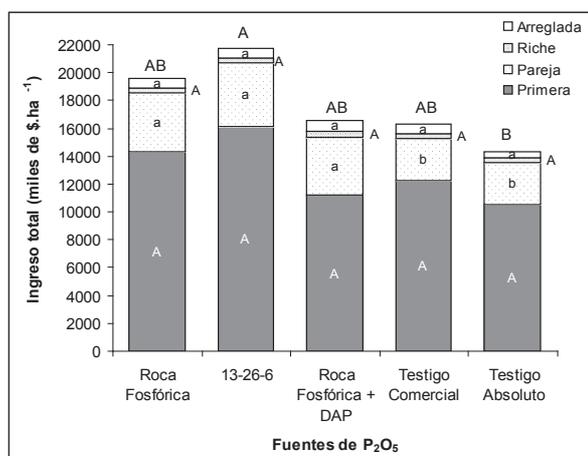


Figura 2. Efecto de diferentes fuentes de fósforo sobre el ingreso total de las categorías comerciales de papa variedad Parida Pastusa en Villapinzón, Cundinamarca. Promedios seguidos con letras distintas en la misma serie son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey (5%).

No hubo diferencias estadísticas en las variables ingreso neto, rentabilidad, margen bruto y relación ingreso/costo. El análisis indicó que la roca fosfórica generó la mayor rentabilidad (46,8%), relación ingreso/costo (1,47) y un alto ingreso neto (6`303.228 $\$ \cdot ha^{-1}$). El 13-26-6, aunque no presentó la mayor rentabilidad, generó el ingreso neto más alto (6`373.692 $\$ \cdot ha^{-1}$), aunque los costos totales fueron los más altos. El testigo absoluto presentó el menor ingreso neto (3`493.829 $\$ \cdot ha^{-1}$), mientras que la menor rentabilidad (25,56%) y relación ingreso/costo (1,26) fueron obtenidas con la mezcla de Roca Fosfórica + DAP (Tabla 3).

Tabla 3. Indicadores económicos para el “Efecto de diferentes fuentes de fósforo en papa variedad Parda Pastusa en Villapinzón, Cundinamarca”

Fuentes de P ₂ O ₅	Ingreso total (en miles de pesos)	Total costo directo	Total costo indirecto	Total Costo	Ingreso neto	Rentabilidad (%)	Margen bruto	Ingreso/costo	Punto equilibrio monetario
Diferencias	*	**	**	**	ns	Ns	ns	ns	**
Roca Fosfórica	19559ab	11183447b	2072434b	13255881b	6303228a	46.80a	17486675a	1.47a	13255881b
13-26-6	21706a	13007979a	2324402a	15332380a	6373692a	41.32a	19381671a	1.41a	15332380a
Roca Fosfórica + DAP	16596ab	10925359b	2036792b	12962152b	3633617a	25.56a	14558977a	1.26a	12962152b
T. Comercial	16318ab	9581265bc	1851173bc	11432438bc	4885391a	41.36a	14466657a	1.41a	11432438bc
T. Absoluto	14289b	9021541c	1773875c	10795415c	3493829a	30.92 ^a	12515369a	1.31a	10795415c
CV(%)	19,74	6,05	4,46	5,80	29,14	21,45	21,80	16,65	5,80

**Significancia al 1%; *Significancia al 5%; ns: no hay significancia.

En papa criolla (*Solanum phureja* L.), grupo phureja, se encontró una mayor relación ingreso/costo (1,47) y un ingreso neto más alto con la aplicación de 300 kg·ha⁻¹ de 13-26-6 + 800 kg·ha⁻¹ de abono orgánico, en relación con dosis superiores de las dos fuentes; este resultado se debió, básicamente, a que con este tratamiento se obtuvo mayor producción e ingreso total, y los costos no fueron tan altos (Muñoz y Lucero, 2008). En contraste, en el presente estudio se obtuvo mayor producción e ingresos totales con el 13-26-6, pero los costos de producción fueron mayores, razón por la cual la rentabilidad generada no fue mayor con la roca fosfórica; no obstante, esta rentabilidad fue muy alta. Además, en el momento en que se realizó el experimento, el fertilizante 13-26-6 tuvo un incremento muy alto en su precio (101.000 \$/bulto), debido a la alta demanda internacional de fertilizantes sintéticos, aunque posteriormente este precio disminuyó en aproximadamente 30%, por lo cual, si el experimento se repitiera bajo este último precio, muy seguramente el 13-26-6 sería la fuente de P₂O₅ con mayor rentabilidad.

Se encontró que los fertilizantes y correctivos representaron el 21,3% en promedio de los costos totales de producción, para el período 1990-2003, mientras que la participación promedio en los costos totales de los insecticidas fue 7,9%, y de fungicidas, herbicidas y adherentes, 7,6%. Los costos promedio del cultivo de papa corresponden a \$10.000.000 (US\$5.200 aprox.), de los cuales el 18% corresponde a fertilizantes, que, en general, son de grado 1:2:1, 1:3:1 y fuentes simples (Cevipapa, 2005).

El costo de la fertilización fosfórica corresponde prácticamente al 60% de los costos de fertilización, y su eficiencia se considera del 20%; por lo tanto, el impacto económico de la fertilización fosfórica es

considerable en el escenario productivo (Barrera, 2003).

De acuerdo con lo anterior, es importante destacar que los costos de producción observados en cada uno de los tratamientos fueron, en general, muy altos respecto de los reportados por Cevipapa (2005), debido, posiblemente, a los altos costos de fertilización que en algunos tratamientos superaron el 28% (datos no mostrados) en el momento del experimento; también debido a la alta productividad obtenida, que generó aumento en la mano de obra para la cosecha, incremento en el flete y en los empaques, y, por último, teniendo en cuenta el incremento del valor de los insumos y de la mano de obra desde el año 2005 hasta el 2009.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que, bajo las condiciones del municipio de Villapinzón, la fuente de P₂O₅ que generó mayor rendimiento de papa pastusa fue el fertilizante complejo granulado 13-26-6, pero la fuente con mejor respuesta económica fue la roca fosfórica, porque presentó la mayor rentabilidad y uno de los ingresos netos más altos. El ingreso neto más bajo se obtuvo con el testigo absoluto, y la menor rentabilidad y relación ingreso/costo, con la aplicación de la mezcla 50% roca Fosfórica + 50% DAP.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a Monómeros Colombo Venezolanos, como empresa encargada de la financiación del proyecto, y a los agricultores Abraham Boyacá y Gonzalo Arévalo, por su colaboración en la ejecución en campo de este trabajo.

Literatura Citada

- Amézquita, J. (1981). *Persistencia del efecto fertilizante del fósforo proveniente de fuentes de distinta solubilidad en un suelo de páramo*. Tesis de grado de Químico. Universidad Nacional, Bogotá.
- Arias, B. y Cantillo, S. (1983). *Efecto del tamaño del gránulo sobre la eficiencia y la persistencia del efecto fertilizante de fuentes hidrosolubles*. Tesis de grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, Bogotá.
- Bonilla, L. (2008). "Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales". En: Azcón-Bieto, A. y M. Talón (eds.). *Fundamentos de la fisiología vegetal* (pp. 102-121). Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Barrera, L. (2003). "Consideraciones agronómicas y económicas con la fijación de fosfatos en suelos paperos". En: *IV Taller Papas Colombianas*. Documentos técnicos, Bogotá.
- Castro, H. (2005). "Balance y perspectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de producción de papa en Colombia". En: *Memorias 1er. Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa*. Bogotá: Cevipapa.
- Cevipapa (2005). *Censo nacional del cultivo de la papa*. Recuperado de: <http://www.cevipapa.org.co/estadísticas/estadísticas.php>. Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa (Cevipapa). [Consulta: septiembre de 2008].
- FAO (2008). Producción de papa. Recuperado de: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. [Consulta: septiembre de 2008].
- Fernández, S. y Ramírez, R. (2001). *Efecto del sistema radical de siete líneas de maíz en los cambios de pH de la rizósfera y su influencia en la disponibilidad del fósforo*. Bogotá Bioagro.
- Forero, F. (2009). *Respuesta agroeconómica a dos sistemas de producción: maíz y maíz con asocio fríjol a la aplicación de cachaza en la hoyo del río Suárez, municipio de Chitaraque*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá.
- González, J. (2005). *Respuesta en rendimiento de papa variedad parda pastusa a la fertilización edáfica y foliar con fósforo en el municipio de Cogua (Cundinamarca)*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá.
- Guerrero, R. (1998). *Fertilización de cultivos en clima frío* (2.ª ed.). Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (EMA), Impresión Sáenz y Cía.
- Lora, R.; Páez, D. y Guzmán, M. (2004). *Respuesta de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buk) en calidad y rendimiento a fuentes y dosis de fósforo en Cundinamarca, Colombia*. Suelos Ecuatoriales.
- Mackay, A. y Syers, J. (1986). "Effect of phosphate, calcium and pH on the dissolution of phosphate rock in soil". *Fertilizer Research*, 10(2), 175-184.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (2.ª ed.). Hohenheim: Instituto de Nutrición de las Plantas. Universidad de Hohenheim.
- Mengel, K. y Kirkby, E. (2001). *Principles of Plant Nutrition* (5.ª ed.). Editorial Kluwer Academic publishers, Estados Unidos.
- Muñoz, L. y Lucero, A. (2008). "Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de papa criolla *Solanum phureja*". *Agronomía Colombiana*, 26(2), 340-346.
- Peña, E. (2006). *Determinación preliminar de requerimientos nutricionales de fósforo y potasio para dos variedades de papa (Solanum tuberosum spp andigena) en la sabana de Bogotá*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá.
- Pumisacho, M. y Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) - Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Suárez, F. (1971). *Efecto del tamaño de gránulo sobre la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fósforo*. Tesis de grado de M.Sc. Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica.
- Vera, J.; Casanova, E. y Sánchez, C. (1989). *Evaluación de la efectividad agronómica de la roca fosfórica modificada (Lobatera y Riecito)*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología.

Fecha de Recepción: 8 de noviembre de 2011
Fecha de Aceptación: 3 de septiembre de 2012