

Determinación del Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización en Papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) DIACOL Capiro en un Suelo con Propiedades Ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia

Determination of the Effect of Different Levels of Fertilization in Potato (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) DIACOL Capiro in a Soil with Properties Andicas of Santa Rosa de Osos, Colombia

Jairo Yovani Rios Quinchoa¹; Sonia del Carmen Jaramillo Villegas²; Luis Hernán González Santamaría³ y José Miguel Cotes Torres⁴

Resumen. La fertilización es una labor que cumple con la necesidad de suplementar a la planta, los nutrientes no satisfechos por el suelo en su condición de fertilidad natural. Por muchas décadas se han utilizado dosis deficientes que conducen a bajas producciones, y en ocasiones dosis excesivas de fertilizantes químicos que pueden generar problemas ambientales. La fertilización con nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) y el micronutriente B, han sido poco estudiadas en el cultivo de papa, razón por la cual se evaluó, en el Centro Agropecuario Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia (Medellín), el efecto de diferentes dosis de estos nutrientes en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) de la variedad DIACOL Capiro en un suelo con propiedades ándicas de Santa Rosa de Osos. Se utilizaron dosis bajas, moderadas y altas de NPK, Ca, Mg, B y S, y se encontró una respuesta positiva en rendimiento a las aplicaciones crecientes de NPK (500, 1.500 y 3000 kg ha⁻¹), también se presentaron diferencias significativas en peso de los tubérculos de primera y segunda categoría, mientras que los tubérculos de tercera y cuarta categoría no presentaron diferencias significativas. Las interacciones entre Ca, Mg, B y S no tuvieron efecto apreciable sobre el rendimiento de los tubérculos, ya que en la mayoría de los casos solo se observaron los efectos simples de dichos elementos.

Palabras claves: Fertilización, nutrientes, *Solanum tuberosum*, DIACOL Capiro.

Abstract. The fertilization is a work that fulfills the supplementary to the plant nutritional necessities that are not satisfied by the soil, in its condition of natural fertility. For many decades faulty doses has been used that take to low productions, and in occasions excessive doses of chemical fertilizers that lead to environmental problems. The fertilization with nutritious secondary (Ca, Mg, S) and the micronutrient B, has been little studied in potato crop in Colombia; for this reason, we evaluated, in the Centro de Investigacion e Innovación Agropecuaria y Forestal Paysandú of the La Universidad Nacional de Colombia (Medellín), the effect of different doses of these nutrients, in a cultivation of potato of the variety DIACOL Capiro in a soil with andics properties of Santa Rosa de Osos. Low, moderate and high doses of NPK, Ca, Mg, B and S, was used, and it was a positive result in yield to the growing applications of NPK (500, 1.500 and 3000 kg ha⁻¹), significant differences were also presented in weight in the tubers of first and second category, while the tubers of third and quarter category did not present significant differences. The interactions among Ca, Mg, B and S didn't have appreciable effect on the yield of the tubers, since in most of the alone cases one observes the simple effects of this elements.

Key words: Fertilization, nutrients, *Solanum tuberosum*, DIACOL Capiro.

En la región andina es práctica usual la aplicación de altas dosis de fertilizantes tanto químicos como orgánicos, al cultivo de la papa. Aunque es un renglón de gran potencialidad, no se tiene todavía un criterio bien definido sobre los beneficios que proporcionan esas prácticas (De Brito, Alvarado y Norera, 1976).

En Estados Unidos se obtienen alrededor de 60 ton ha⁻¹ (Calderón, 1996). Echevarria (2006), cita al sudeste bonaerense como la zona productora de mayor rendimiento promedio con casi 40 ton ha⁻¹. Sierra,

Santos y Kalazich (2002), informan rendimientos superiores a las 35 ton ha⁻¹ en suelos trumaos (Andisoles) de la zona sur de Chile. Según Calderón (2004), el promedio de producción de papa en Colombia se encuentra alrededor de las 17 ton ha⁻¹, lo cual es un rendimiento bastante bajo, donde pesa mucho el hecho de que un 85% del cultivo se explota en condiciones de minifundio, con limitaciones de tipo económico y tecnológico; sin embargo es posible llegar a promedios de 40 ton ha⁻¹.

¹ Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <jyriosq@unalmed.edu.co>

² Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <sjaramal@unal.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <lhgozal@una.edu.co>

⁴ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <jmccotes@unal.edu.co>

Recibido: Enero 15 de 2008; Aceptado: Abril 22 de 2010

El cultivo de papa en Colombia es una actividad agrícola que compromete más de 90.000 familias rurales colombianas que siembran alrededor de 130.000 hectáreas, ubicadas en un 89% en las partes altas de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Cauca, Nariño y Antioquia. Se cultiva en suelos con características ándicas especiales debido a que tienen sus orígenes de materiales volcánicos los cuales son suelos de medio a alto contenido de materia orgánica, altamente fijadores de fosfatos, densidades aparentes bajas y de texturas francas a arcillosas, con presencia de arcillas amorfas (Alofana e Imogolita) con alta retención de agua y complejos Aluminio-Humus. Por lo general estos suelos presentan una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de media a alta; sin embargo, muestran respuesta favorable a la aplicación de fertilizantes fosfóricos y potásicos, secundarios y menores (Calderón, 2004).

La nutrición del cultivo de papa se concentra principalmente en la respuesta en rendimiento a la aplicación de NPK, y en ocasiones elementos como Ca, Mg y S (Porrás, 2005), lo mismo ocurre para micronutrientes como el B (Barrera, 1995). Muchos informes señalan que la papa es el cultivo con mayor consumo de fertilizantes compuestos por unidad de superficie con dosis que oscilan entre 1.000 y 2.000 kg ha⁻¹, predominan las fuentes altas en P en las relaciones 1:3:1, 2:4:1 y en menor escala se utiliza la relación 1:2:2, las dosis utilizadas dependen de la altitud y se aumenta en la medida que ésta se incrementa (Barrera, 1995).

Para Wieczorek (1979), la mayoría de suelos en zonas donde se cultiva papa responden favorablemente a la aplicación de N y P (P₂O₅), obteniéndose los mayores rendimientos con dosis de 50 a 100 kg ha⁻¹ de N y entre 100 y 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en zonas de alturas menores a 2.900 msnm. Además, la respuesta de la papa al K ha sido menos estudiada, su aplicación ha dado respuestas positivas al aumentar el rendimiento en algunos casos y en otros no se ha obtenido respuesta o se ha presentado disminución en los rendimientos; sin embargo, en suelos bajos en K, se puede presentar respuesta cuando se aplican dosis altas de N y P. Para estos casos se recomienda aplicar 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

Por otro lado, Fassbender (1982), menciona que el B es un anión importante en la planta, y que el K,

el Ca y el Mg son utilizados por la planta cuando presentan equilibrios con el complejo coloidal del suelo y toman forma catiónica en la solución del suelo. García y Pantoja (1998), encuentran que con 2 kg de B y 250 kg de sulfato de magnesio, incrementan hasta 44% el rendimiento sobre cultivos que no recibieron estos fertilizantes. Lora (1978), citado por García y Pantoja (1998), en suelos de Cundinamarca con contenidos de 0,5 ppm, encontró respuesta positiva de la papa a la aplicación de B, no encontró respuesta cuando el suelo contenía 0,80 ppm y con contenidos de 1,50 ppm de B la respuesta tendía a ser negativa. Echevarría (2006), presenta los contenidos de macro y mesonutrientes en tubérculos para un rendimiento de 50 ton de tubérculos frescos, donde la cantidad de N (150 kg) y K (219 kg) fueron muy elevados, en comparación con el P (35 kg), el Mg (12 kg) el S (12 Kg) y el Ca (10 Kg).

Según Muñoz (1998), los suelos de clima frío en Antioquia son de baja fertilidad, ya que presentan bajos contenidos de nutrimentos y desbalances nutricionales, donde según Rodríguez (1972), citado por Barrera (1995), los suelos del Oriente Antioqueño se caracterizan por ser ácidos, ricos en materia orgánica, pobres en Ca y Mg y altos en Al y con relación favorable entre el enclamiento y la utilización de algunos de los elementos nutritivos, especialmente P.

Los suelos de Santa Rosa de Osos, en los cuales se llevó a cabo el estudio, de acuerdo con los resultados previos del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), son de muy baja fertilidad, caracterizados por presentar texturas gruesas (arenosa franca a franco arenosa), pH menores de 5,5, los contenidos de Ca y Mg son muy bajos, en su mayoría menores de 0,4 cmolc kg⁻¹, el K presenta niveles bajos a medios y los elementos menores son bajos.

Las dosis deficientes, excesivas o inadecuadamente aplicadas de fertilizantes químicos conducen a grandes riesgos ambientales, altas dosis terminan contaminando las fuentes de agua local y para acuicultura, pero poco fertilizante conduce a bajas producciones, pérdida de fertilidad del suelo y agotamiento de la tierra (Estrada, 2000). El presente trabajo tuvo como objeto evaluar diferentes dosis de NPK, Ca, Mg, S y B en un Andisol de Santa Rosa de Osos, sobre la producción de papa DIACOL Capiro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Esta investigación se realizó en los predios del Centro Agropecuario Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia, ubicado en el corregimiento de Santa Elena del municipio de Medellín, con zona de vida bh-MB (Holdridge, 1996), a una altitud de 2.550 msnm., óptima para el cultivo de la papa.

Material edáfico. Se transportaron al Centro Agropecuario Paysandú, sede del trabajo, aproximadamente 20 ton de suelo del municipio de Santa Rosa de Osos, departamento de Antioquia, que se caracteriza por tener suelos derivados de Cenizas volcánicas, con propiedades ándicas, es decir, alta retención de fosfatos, densidad aparente inferior a $0,90 \text{ mg m}^{-3}$, altos contenidos de materia orgánica, pero inferiores a 43% (25% de C).

Se visitaron varios lugares del municipio, buscando fundamentalmente que los suelos (horizonte A) fueran representativos de la zona y que no hubiesen estado sembrados con papa, para determinar los niveles originales de los elementos objeto de estudio.

En cada lugar seleccionado para tomar las muestras de suelos, se realizó una minicalicata de $25 \times 25 \times 25 \text{ cm}$ para determinar si el suelo presentaba los requerimientos ya descritos; posteriormente se retiró la cobertura vegetal, compuesta por especies nativas (rastroy con predominio de helecho *Pteridium aquilinum*). En el suelo se extrajo de la menor área posible, con el objeto de minimizar la variabilidad en sus propiedades físicas, químicas y biológicas y de estructura.

Análisis de laboratorio. Se tomaron muestras del suelo de Santa Rosa y se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, para realizar los análisis de caracterización química; además de realizar pruebas de incubación en invernadero.

Las incubaciones se hicieron con el objetivo de determinar las cantidades de fertilizantes y enmiendas necesarias para alcanzar niveles deseados en Ca (2, 3 y 7 cmolc kg^{-1}), Mg (0,7; 1,4 y $3,0 \text{ cmolc kg}^{-1}$), B (0,5; 1,0 y 2,0 ppm) y S (10, 20 y 40 ppm) en la solución extractante del suelo. Para la incubación las muestras fueron homogenizadas

y luego pasadas por una malla de 4 mm, con el fin de desagregar los terrones más grandes y no dañar la estructura original del suelo. Luego de tener los suelos homogenizados, se procedió a depositar 2 kg de suelo, en bolsas plásticas. Las primeras 12 se destinaron a evaluar el efecto de la aplicación de dosis de 500, 1.500 y 3.000 kg ha^{-1} de NPK en relación 1:2:2 en la solución extractante del suelo, a las 12 restantes se adicionaron dosis crecientes de Ca, Mg, B y S. Las fuentes de elementos fueron carbonato de calcio, carbonato de magnesio, ácido bórico, sulfato de amonio.

Se utilizó semilla certificada, procedente de FEDEPAPA Bogotá. El proceso de brotación fue acelerado colocando la semilla bajo luz difusa y aumentando la temperatura; adicionalmente se asperjó con el producto comercial Activol® (ácido giberélico a 2 ppm).

Diseño experimental y variables a evaluar.

Se evaluaron tres niveles de fertilización tradicional con un fertilizante NPK, (grado 1:2:2) en dosis de 500, 1.500 y 3.000 kg ha^{-1} para representar niveles de uso de fertilizantes bajo, moderado y alto, respectivamente. Para el nivel moderado, se utilizó un diseño central compuesto modificado con un núcleo factorial $3 \times 2 \times 3 \times 2$, para Ca, Mg, B y S, respectivamente, más cuatro puntos adicionales, para un total de 40 unidades experimentales por cada tipo de suelo. Para los niveles bajo y alto se utilizó un diseño central compuesto tradicional con un núcleo $2 \times 2 \times 2 \times 2$ para Ca, Mg, B y S, respectivamente, más cuatro puntos adicionales, para un total de 20 unidades experimentales. De esta forma fueron necesarias 80 unidades experimentales, para evaluar los efectos principales y sus interacciones dobles para los nutrientes secundarios con los tres niveles de fertilización tradicional propuestos. Para el análisis de los datos se utilizó el programa SAS System v. 9.1.3.

Unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron construidas en el Centro Agropecuario Paysandú retirando el horizonte A con el fin evitar interferencias en los resultados. Adicionalmente, se niveló el terreno y con bloques de cemento de 20 cm de alto y 40 cm de largo, se construyeron ocho hileras de diez unidades experimentales cada una y cada unidad con un área de un metro cuadrado, la cual se llenó con el suelo traído desde Santa Rosa de Osos. Adicionalmente se

instaló un sistema de riego por goteo autocompensado para garantizar el balance hídrico óptimo en todas las unidades experimentales.

Los tratamientos (fertilizantes) se aplicaron en el fondo del surco, de acuerdo con los resultados de los análisis de incubación del suelo, luego se les adicionó una capa de suelo para evitar el contacto directo de la semilla con los fertilizantes. Se colocaron nueve tubérculos brotados por parcela teniendo en cuenta la homogeneidad de los tamaños y la misma profundidad, por último se taparon procurando que el suelo tuviera buen contacto con la semilla.

Variables evaluadas. En los ensayos de incubación se evaluó la eficiencia en la extracción de nutrientes en la solución del suelo y en los ensayos de campo

se evaluó el rendimiento de tubérculos, en cuatro diferentes categorías mayor de 6 cm, entre 6 y 4 cm, entre 4 y 2 cm y menores de 2 cm. Se determinó el peso y número de tubérculos para cada categoría y se calculó el total de la producción por parcela.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incubación de suelos. Se determinó la eficiencia de extracción de la solución del suelo a la aplicación de P, K, Ca, S, B y Mg utilizando la pendiente de la curva de regresión para cada uno de los nutrientes (Figura 1). Se observa en todos los modelos un adecuado ajuste y que la eficiencia de la extracción es alta (>0,65) para K, Mg y S, y baja para los demás elementos.

Los contenidos iniciales, en el suelo de Santa

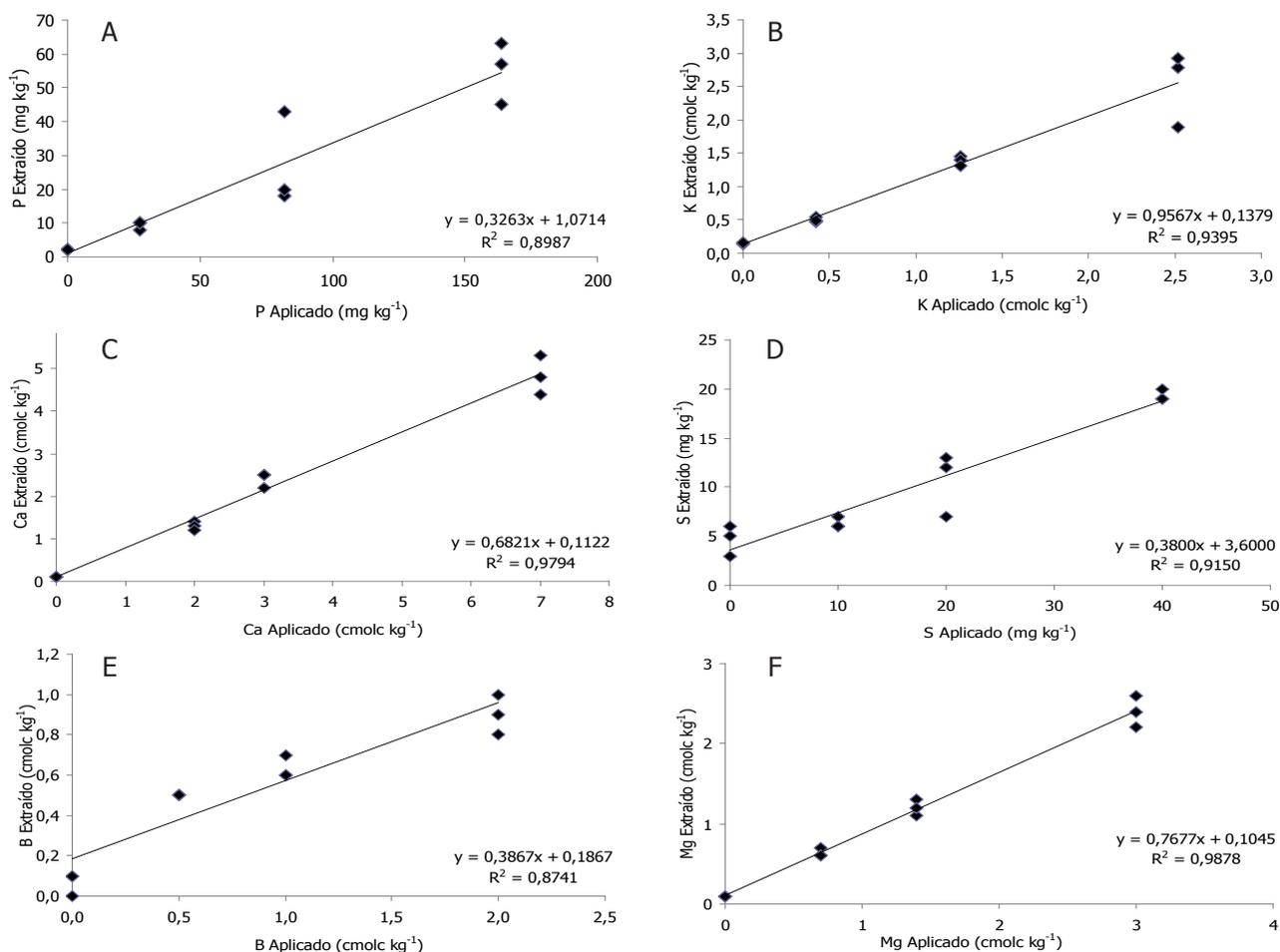


Figura 1. Relación entre la aplicación y extracción de nutrientes en papa sembrada en un suelo con propiedades ándicas: A. P en el suelo. Método de extracción P: Bray II, B. potasio en el suelo. Método de extracción K: acetato de amonio 1 M, C. Ca en el suelo. Método de extracción Ca: acetato de amonio 1 M, D. azufre en el suelo. S: fosfato monocalcico 0,008 M, E. B en el suelo. Método de extracción B: agua caliente, F. Mg en el suelo. Mg: acetato de amonio 1 M.

Rosa, de P (2 mg kg⁻¹), K (0,15 cmolc kg⁻¹), Ca (0,1 cmolc kg⁻¹) y Mg (0,1 cmolc kg⁻¹) son bajos de acuerdo con los niveles críticos propuestos por Muñoz (1998). El S (5 mg kg⁻¹) y el B (0,1 mg kg⁻¹) también son bajos al compararlos con los niveles críticos aplicables a suelos paperos del altiplano

Cundiboyacense (Tabla 1) (Barrera, 1998). Esto es normal ya que, según Muñoz (1998), los suelos de clima frío en Antioquia son de baja fertilidad, al presentar bajos contenidos de nutrimentos y desbalances nutricionales.

La regresión obtenida para el P, R² de 0,898, indica

Tabla 1. Tratamientos y resultados de las incubaciones en suelos, con propiedades ándicas y fertilizados con diferentes dosis y fuentes de nutrimentos.

	Cantidades				pH	M.O %	Al	Ca	Mg	K	CICE	P	S	Fe	B
	Ca cmolc kg ⁻¹	Mg cmolc kg ⁻¹	S ppm	B ppm											
UA1	0	0	0	0	4,5	21,3	7	0,1	0,1	0,13	7,3	5	5	317	0,1
UA2	0	0	0	0	4,6	24,9	7,3	0,1	0,1	0,13	7,6	6	6	318	0,1
UA3	0	0	0	0	4,5	24,7	6,9	0,1	0,1	0,13	7,2	3	3	312	0
UB1	2	0,7	10	0,5	4,9	23,4	4,5	1,4	0,7	0,14	6,7	6	6	301	0,5
UB2	2	0,7	10	0,5	4,8	24,7	4,8	1,3	0,6	0,13	6,8	7	7	298	0,5
UB3	2	0,7	10	0,5	4,8	24,3	5	1,2	0,6	0,13	6,9	6	6	306	0,5
UC1	3	1,4	20	1	5	27,2	4	2,5	1,1	0,14	7,7	12	12	293	0,7
UC2	3	1,4	20	1	5	23,9	3,8	2,5	1,3	0,14	7,7	13	13	290	0,6
UC3	3	1,4	20	1	5,1	24,2	3,9	2,2	1,2	0,13	7,4	7	7	287	0,6
UD1	7	3	40	2	5,3	24,7	2,3	5,3	2,6	0,14	10,3	19	19	278	0,8
UD2	7	3	40	2	5,4	24,3	1,6	4,4	2,2	0,13	8,3	19	19	270	0,9
UD3	7	3	40	2	5,4	23,5	1,5	4,8	2,4	0,14	8,8	20	20	259	1

Métodos de análisis: pH: agua (1:1); conductividad eléctrica: extracto de saturación; materia orgánica: Walkley Black; Al: KCl 1M; Ca, Mg y K: acetato de amonio 1M; CICE: suma de cationes de cambio; S: fosfato monocalcico 0.008M; B: agua caliente; P: Bray II.

que las aplicaciones crecientes (0; 27,29; 81,87 y 163,74 mg kg⁻¹) incrementaron de forma lineal los contenidos de este elemento en la solución del suelo, y solo con aplicaciones de 163,74 mg kg⁻¹ (600 kg ha⁻¹ de P₂O₅) se llegó a niveles óptimos superiores a 40 ppm (Bray II) (Figura 1). Munévar (1978), citado por Muñoz (1998), con aplicaciones de 800 ppm de P en Andisoles del Oriente Antioqueño, solo logró extraer entre 15 y 22 ppm (Bray II).

La eficiencia de extracción al P que presentó el suelo de Santa Rosa fue de 32,6% (Figura 1), lo cual es alto comparado con lo observado por García y Pantoja (1998) quienes encontraron una eficiencia en la extracción del cultivo inferior al 10%. Bastidas *et al.* (1986), citados por García y Pantoja (1998), demostraron una eficiencia de utilización del P menor del 3%, a partir del superfosfato triple aplicado al suelo. La extracción de este elemento es baja, debido a los procesos de fijación de P en

el suelo que registran índices entre el 70 y el 98% para Andisoles Castro (2005), por esto es necesario hacer altas aplicaciones de fertilizantes fosfatados.

El K presentó una pendiente de regresión igual a 0,956 con un R² de 0,939 (Figura 1). Los contenidos iniciales de este elemento en la solución del suelo se triplicaron cuando se aplicó 0,42 cmolc kg⁻¹ (100 kg ha⁻¹ de K₂O) superando con esa sola aplicación, los niveles bajos propuestos por Muñoz (1998). Las aplicaciones de 1,26 cmolc kg⁻¹ (300 kg ha⁻¹ de K₂O) y 2,52 cmolc kg⁻¹ (600 kg ha⁻¹ de K₂O) condujeron a niveles altos en la solución del suelo (Tabla 1). Castro y Guío (1998), encontraron la mayor eficiencia agronómica con aplicaciones de 100 kg ha⁻¹ de K₂O.

Los contenidos iniciales de Ca (0,1 cmolc kg⁻¹) fueron bajos de acuerdo con Muñoz (1998). Cuando se aplicaron las dosis crecientes 2, 3 y 7 cmolc kg⁻¹ de este elemento se llegó a contenidos promedio

en la solución del suelo de 1,4, 2,4 y 4,8 cmolc kg⁻¹ respectivamente, esto reflejó un ajuste muy alto al modelo con un R² de 0,979 (Figura 1). Según Muñoz (1998), el encalamiento aumenta el contenido de Ca en aproximadamente 0,4 a 0,7 cmolc kg⁻¹ cuando se usa una ton ha⁻¹ de cal agrícola y de 0,5 a 0,6 cmolc kg⁻¹ de Mg por cada 840 kg ha⁻¹ de MgCO₃.

El S con una pendiente de regresión de 0,38, al igual que el P y el B, presentó una baja eficiencia a las aplicaciones crecientes de este elemento. Los contenidos iniciales de S en la solución del suelo son bajos (5 mg kg⁻¹), pero incrementaron sus contenidos así: 6 mg kg⁻¹ de S con aplicaciones de 10 mg kg⁻¹ de S, 10 mg kg⁻¹ S con 20 mg kg⁻¹ S, y 19 mg kg⁻¹ S con 40 mg kg⁻¹ S, este comportamiento reflejó una buena aproximación al modelo con un R² de 0,915 (Tabla 1).

En los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles), aunque abunda el contenido de S mineral, su disponibilidad depende primordialmente de la mineralización del S-orgánico, cuya ocurrencia en los Andisoles suele estar limitada por la formación de complejos arcillas amorfas-humus (Blasco, 1972; Burbano y Blasco, 1975; Guerrero y Burbano, 1979; Bornemisza 1990 citados por Guerrero, 1998).

El B presentó muy baja eficiencia (0,386) a sus respectivas aplicaciones. Arrojó un buen modelo de regresión con un R² de 0,874 (Figura 1). Las aplicaciones de B en dosis de 0,5; 1 y 2 mg kg⁻¹ de suelo incrementaron en 0,5, 0,6 y 0,9 mg kg⁻¹ de este elemento en la solución del suelo; resultados que fueron bajos y muy bajos según los niveles óptimos de Barrera (1998); pero muy altos según Londoño y Vélez (1996), quienes dicen que altas concentraciones de B en el suelo, mayores de 0,6 ppm (mg kg⁻¹), tienden a ejercer un efecto fitotóxico en la planta (Tabla 1).

El Mg aunque presentó una moderada eficiencia (0,767), obtuvo el mas alto ajuste para el modelo de regresión con un valor de 0,987 para el R². A partir de las aplicaciones de 1,4 cmolc kg⁻¹ de Mg se logra incrementar su contenido en el suelo por encima de los valores propuestos por Muñoz (1998). Las aplicaciones de 0,7 cmolc kg⁻¹ de Mg no son suficientes para incrementar su contenido hasta niveles óptimos en este suelo (Tabla 1).

Tamaño y peso de tubérculos. Se encuentra una correlación muy alta, entre el número y el peso de los tubérculos, para cada una de las categorías (primera

categoría: > 6 cm, segunda categoría: entre 4 y 6 cm, tercera categoría: entre 2 y 4 cm y cuarta categoría: menor < 2 cm), por lo tanto para la discusión de los resultados solamente se tendrán en cuenta los pesos en cada una de las categorías evaluadas (Figura 2).

El peso promedio de un tubérculo para la primera categoría fue 137,9 g, para la segunda 63,8 g, para la tercera 30,1 g y para la cuarta 10,5 g. Estos datos fueron similares a los observados por Londoño y Vélez (1996), quienes clasificaron los tubérculos en 5 categorías con rangos de peso para un tubérculo así, mas de 120 g para la primera categoría (tronco), entre 80 y 120 g para la segunda categoría (revoltura), entre 50 y 80 g para la tercera categoría (semilla), y menor de 50 g para las categorías menuda (papa cocida para asados) y rechazo.

Cordero, Palmieri y Moreira (1986), cuando evaluaron la producción de papa por 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) encontraron una correlación altamente significativa (R>0,990) entre el peso y número de tubérculos, cuando aplicaron dosis crecientes de N (0, 150, 300 y 450 kg ha⁻¹ N) y P (0, 250, 500, 750 y 1.000 kg ha⁻¹ P₂O₅). Según el IPNI (2007), las aplicaciones de P incrementan el rendimiento de los tubérculos logrando mayor número y tamaño (de primera categoría), también incrementa el peso específico con mayor selección de tamaños grandes.

Dosis crecientes del fertilizante NPK. Los rendimientos promedios para las dosis crecientes del fertilizante 10:20:20; baja (500 kg ha⁻¹ de NPK), moderada (1.500 kg ha⁻¹ de NPK) y alta (3.000 kg ha⁻¹ de NPK), fueron de 3,443; 5,379 y 7,049 g m⁻² respectivamente, los cuales presentan un comportamiento creciente, a mayor dosis utilizada del fertilizante mayor fue su producción (Figura 3); al respecto Calderón (1996) dice, que existe una relación directa entre extracción de nutrientes y rendimiento de tubérculos, a medida que el rendimiento por hectárea crece, la extracción de nutrientes crece de una manera lineal. Además, las plantas de las parcelas con la dosis más alta del fertilizante 10:20:20, en el campo, presentaron coloración más verde y mayor altura. Rueda *et al.* (1995), hacen las mismas observaciones, y encuentra un mejor desarrollo foliar para los tratamientos que tuvieron el mayor rendimiento. Tabares *et al.* (2009) utilizando las mismas dosis de

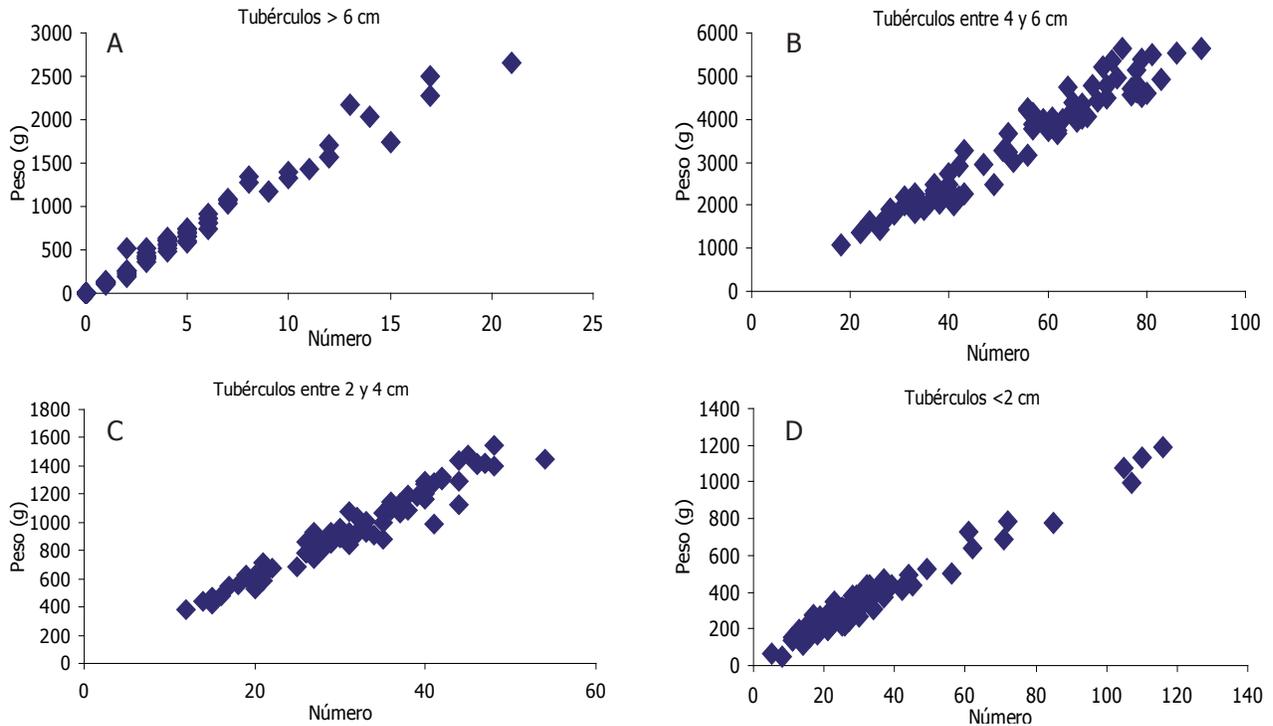


Figura 2. Relación entre el número y peso de tubérculos de papa, agrupados por tamaño, Variedad Diacol Capiro frente a dosis crecientes de NPK, en un suelo con propiedades ándicas. 2A) Tubérculos > 6cm, 2B) Tubérculos entre 4 y 6 cm, 2c) Tubérculos entre 2 y 4 cm, 2d) Tubérculos < 2 m. n: número de tubérculos, p: peso de tubérculos.

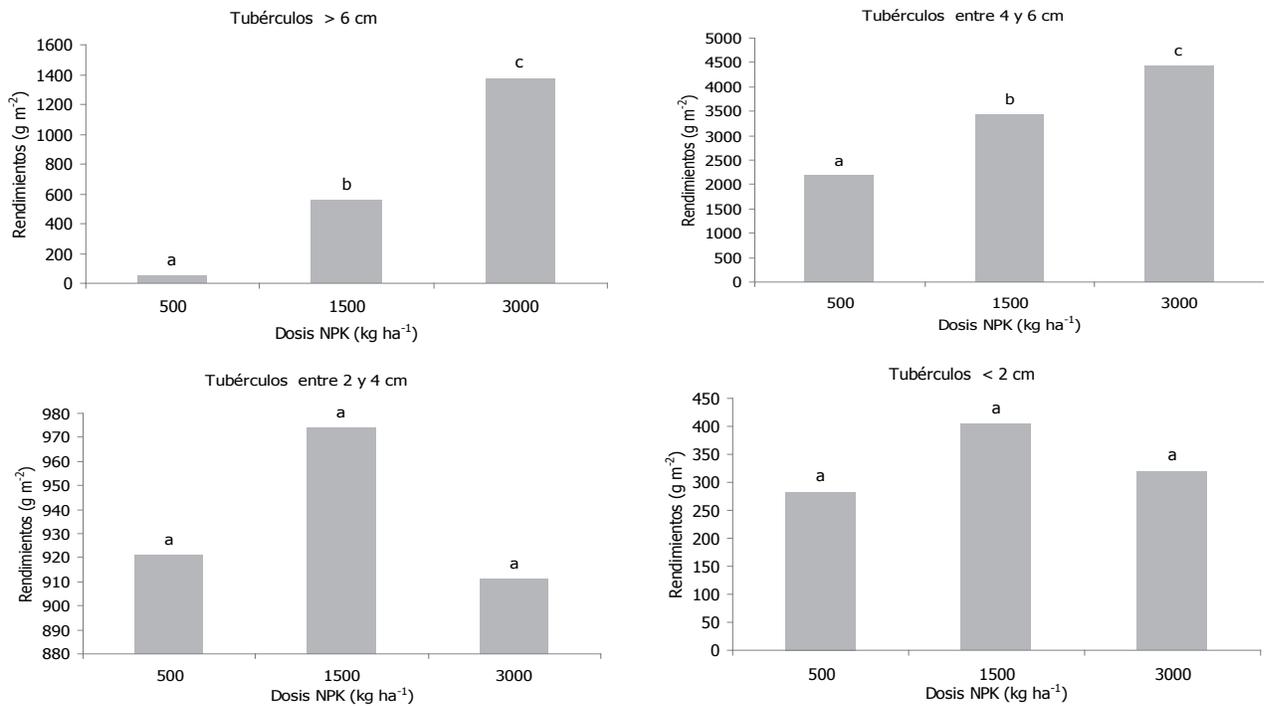


Figura 3. Producción de papa en un suelo con propiedades ándicas en respuesta a dosis crecientes de NPK, grado 1:2:2. Agrupamientos con las mismas letras son estadísticamente iguales, con significancia Tukey ($\alpha = 0,05$).

NPK en un suelo proveniente del municipio de La Unión observaron rendimientos de 7,53; 9,34 y 11,39 kg m⁻², para las dosis de 500, 1.500 y 3.000 respectivamente. Esto indica que el potencial de rendimiento en los suelos de Santa Rosa, es aproximadamente la mitad en los suelos de La Unión.

Ñustez *et al.* (2006) mencionaron que después de realizar siete ensayos de campo para evaluar el efecto de la fertilización fosfórica y foliar de fósforo en la variedad Capiro, solamente hay un incremento de la producción total de tubérculos hasta la dosis de 200 kg ha⁻¹. Así, los incrementos observados en el suelo de Santa Rosa, puede deberse a la respuesta de la variedad Capiro a los incrementos en nitrógeno y potasio.

Según Calderón (1996), en algunos suelos de baja fertilidad donde se produce de 45 a 67 ton ha⁻¹, se usan de 225 a 450 kg de cada uno de los nutrimentos N, P₂O₅, K₂O. Rueda *et al.* (1995), en Puebla (México), lograron rendimientos totales de 45.150 kg ha⁻¹ con dosis de 120 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amonio), 170 kg ha⁻¹ de P (superfosfato triple), 200 kg ha⁻¹ de K (cloruro de potasio) y 10 ton ha⁻¹ de compost; Echevarría (2006), presentó rendimientos de 50 ton de tubérculos frescos con 150 kg de N, 219 kg de K y 35 kg de P₂O₅. Rendimientos similares (53,79 ton ha⁻¹) se obtuvieron en la presente investigación con la dosis moderada (1.500 kg ha⁻¹ NPK) es decir, 300, 600 y 600 de los nutrimentos N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Los rendimientos (3,443 g m⁻²) de la dosis baja (500 kg ha⁻¹ de NPK) fueron similares a los alcanzados por los mayores productores de papa de Santa Rosa de Osos (aproximadamente 3,5-4,000 g m⁻¹) con fertilizaciones del orden de 200-500-400 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente (Londoño y Vélez, 1996). Las dosis media y alta sobrepasan los rendimientos encontrados por los productores en Santa Rosa.

Los tubérculos comerciales (>6 cm y entre 4 y 6 cm) presentan diferencias significativas en sus producciones para las dosis crecientes del fertilizante 10:20:20 (500, 1.500 y 3.000 kg ha⁻¹ de NPK) obteniendo las máximas producciones en la dosis alta, lo que no ocurrió para los tubérculos de tercera y cuarta categoría. La mayor producción se concentró en las categorías de mayor tamaño, que son las de mayor valor comercial. Esta observación coincide con los resultados de Londoño y Vélez (1996), quienes encontraron que las categorías 0 (> 8,0 cm.) y 1 (5,5-

8,8 cm) presentan el mayor porcentaje de tubérculos, seguidas por la categoría 2 (de 4 a 5,5 m.) y por último las categorías 3 (< 4 cm) y rechazo.

Los tubérculos de primera categoría aumentaron su producción en forma lineal, puesto que a medida que la dosis del fertilizante 10:20:20 se incrementó, las producciones promedio fueron mínimas de 49,2 g m⁻² para la dosis baja (500 kg ha⁻¹ de NPK), intermedias de 555,6 g m⁻² en la dosis moderada (1.500 kg ha⁻¹ de NPK) y altas, 1,370 g m⁻² para la dosis alta (3.000 kg ha⁻¹ de NPK). Comportamiento similar ocurre en los tubérculos de segunda categoría, pero las producciones promedio superaron las producciones de tubérculos de la primera categoría en 4352,23%, 520,24% y 224,64 % para las dosis baja, moderada y alta respectivamente (Figura 3).

Aunque en los tubérculos de tamaño entre 2 y 4 cm y menores de 2 cm no presentaron diferencias significativas en su producción, cabe destacar que las aplicaciones con dosis moderada (1.500 kg ha⁻¹ de NPK) aumentaron sus producciones.

Efecto de las dosis de Ca, S, B y Mg.

Efecto de dosis de Ca. El Ca, en las tres dosis del fertilizante 10:20:20, presentó un efecto positivo sobre los tubérculos de 4 a 6 cm (tubérculos comerciales), y por cada 1 cmolc kg⁻¹ de Ca aplicada el rendimiento aumentó en 2,788 g m⁻² en la dosis de 500 kg ha⁻¹ de NPK; 255,063 g m⁻² en la dosis de 1.500 kg ha⁻¹ de NPK y 110,36 g m⁻² en la dosis de 3.000 kg ha⁻¹ de NPK. Los tubérculos de tamaño de 2 a 4 cm presentaron incrementos de 33,840 g m⁻² y 7,569 g m⁻² en las dosis de baja y media respectivamente. La interacción Ca-Mg, para los tubérculos de segunda categoría de la dosis moderada, aumentó la producción en 34, 444 g m⁻², y la disminuyó en 10,67 g m⁻² para los tubérculos de cuarta categoría en la misma dosis (Tabla 2).

García *et al.* (2006) encontraron en la variedad Esmeralda en los municipios de Guatavita y Cota (Cundinamarca) que no hay un efecto significativo del Ca en el incremento del rendimiento. Muñoz (1986), encontró resultados contradictorios sobre el encalado, al obtener disminución de los rendimientos. Lo que concuerda con lo encontrado, en el suelo de Santa Rosa, para los tubérculos mayores de 6 cm, con la dosis baja, dado que pierden 1,397 g m⁻², y tubérculos de 2 a 4 cm, con la dosis alta, que pierden 5,368 g m⁻². Esto resaltó el efecto antagónico del Ca ante el

fertilizante de grado 1:2:2 en especial el P; que según el IPNI (2007), las cantidades altas de cal agrícola aplicadas al suelo, restringen la absorción de P, por posible formación de fosfatos de calcio insolubles, aún en suelos que contienen altas cantidades de P disponible para las plantas, ya que los cultivos de papa absorben constantemente P el cual es necesario para el crecimiento durante toda su temporada.

Si el Ca aplicado en mayor cantidad y restringe la absorción del P, se limita la producción de papa (Covarrubias *et al.* 2005). De Brito, Alvarado y Norera (1976), al aplicar 0 ton ha⁻¹ y 1,5 ton ha⁻¹ de cal no encontraron diferencias significativas en rendimiento, lo que indica que para ese suelo, dichos niveles no afectaron el contenido de P en la solución del suelo. Según Cieslik y Sikora (1998), el Ca es indispensable

Tabla 2. Efecto de Ca, Mg, S y B en la producción de tubérculos (g m⁻²) con dosis crecientes de NPK (kg ha⁻¹), grado 1:2:2, en papa, Diacol Capiro, sembradas en un suelo con propiedades ándicas. Se agrupan por categorías según el tamaño.

Dosis	Parámetro	Tubérculos			
		> 6 cm	Entre 4 y 6 cm	Entre 2 y 4 cm	< 2 cm
500	Ca	-1,397	2,788	33,840	-1,498
	S	-0,369	2,853	7,242	0,888
	B	-4,744	-56,273	-82,297	-37,97
	Mg	-2,561	-3,439	-57,419	-29,11
	Ca*S	-	-	-	0,367
	Ca*B	-	-28,584	-	-
	Ca*Mg	-	-	-	-
	S*B	-	-	-	-
	S*Mg	-	-2,14	-	-
	B*Mg	-	-	-	-
1.500	Ca	-	255,06	7,569	-47,77
	S	-	1,716	6,654	4,045
	B	-	15,103	-58,63	-30,87
	Mg	-	-18,306	-8,313	40,060
	Ca*S	-	3,093	1,021	-
	Ca*B	-	-	-	-
	Ca*Mg	-	34,444	-	-10,67
	S*B	-	-	-	-
	S*Mg	-	-4,751	-	-
	B*Mg	-	-	-	-
3.000	Ca	-	110,36	-5,368	-25,20
	S	-	11,238	1,475	1,8403
	B	-	-	-	-63,55
	Mg	-	11,626	-18,353	28,76
	Ca*S	-	4,372	-	-0,673
	Ca*B	-	-	-	-
	Ca*Mg	-	-	-	-
	S*B	-	-	-	-2,200
	S*Mg	-	-	-	1,144
	B*Mg	-	-	-	-

en las planta y la relación Ca-Mg en el suelo es de gran importancia, al tener un efecto fundamental en el crecimiento y la cosecha de las plantas (especialmente de los que reciben los iones de nitrato como una fuente de nitrógeno). Muñoz (1979) menciona que la relación Ca – Mg se considera desfavorable para la producción de cosechas cuando está entre 0,01 y 1,0 o mayor de 3,0 a 1,0.

Efecto de dosis de S. Los tubérculos de segunda, tercera y cuarta categoría, en las diferentes dosis de NPK, tuvieron efectos positivos e incrementaron sus rendimientos. En los tubérculos de primera categoría, de la dosis baja, las aplicaciones crecientes de S tienen un efecto negativo y por cada mg kg⁻¹ de S aplicado se redujo la producción en 0,369 g m⁻². Las dosis moderada y alta presentaron un efecto nulo a la aplicación de este elemento. Efectos positivos para la producción comercial de tubérculos se encontraron en la interacción de Ca con S, donde los tubérculos de cuarta categoría de la dosis alta (3000 kg ha⁻¹ de NPK) son los únicos que presentaron reducción en la producción. La interacción de Mg con S disminuyó las producciones de los tubérculos de segunda categoría en 2,914 y 4,751 g m⁻² para las dosis baja y moderada respectivamente, y aumentó las producciones en los tubérculos menores de cuarta categoría en 1,144 g m⁻² para la dosis alta. Por otro lado, la interacción entre B y S en los tubérculos de cuarta categoría de la dosis alta, presentó efectos negativos (Tabla 2).

Estos resultados concuerdan con lo observado por Tabares *et al.* (2009) en un estudio similar realizado con suelo proveniente del municipio de La Union. Según Guerrero (1998), la aplicación de S genera una respuesta positiva en el cultivo de la papa, en particular cuando se aplica Sulfato de Amonio o Sulfato de Calcio como fuente. Kanwar y Mudahar (1986), citados por Guerrero (1998), encontraron que las altas dosificaciones de N y P pueden crear una disminución en la asimilación y el contenido de S en la planta. Jiménez y Cordero (1988), citados por Guerrero (1998), afirman que los Andisoles adsorben grandes cantidades de SO₄⁼ en los sitios de intercambio; sin embargo, pueden ser desplazados por los fosfatos aplicados en altas dosificaciones en estos suelos, lo que puede llevar a pérdidas de S por lixiviación.

Guerrero (1998), encontró una respuesta positiva en la producción de papa con el suministro de fertilizante azufrado, en particular cuando se aplicó sulfato de amonio o sulfato de calcio como fuente, en la dosis

de 40 kg ha⁻¹ de S, con los cuales se consiguieron incrementos cercanos a las 7 ton ha⁻¹, en comparación con producciones que no recibieron S; y con dosis de 60 kg ha⁻¹ de S, el rendimiento tiende a decaer. Concluye además que las dosis crecientes de S, sin un suministro equilibrado de N, pueden constituirse en un factor adverso para el metabolismo del nitrógeno. Calderón 2004, dice que para obtener un buen aumento en el tamaño y calidad de los tubérculos hay que conservar un balance adecuado de Ca, Mg, S y elementos menores en el suelo.

Por otro lado Pavlista (2005) en un estudio realizado durante seis años en el cultivar Atrantico (*Solanum tuberosum* Gp. Tuberosum), encontró que las aplicaciones con S aumentaba de forma marginal el rendimiento, pero que tenía un fuerte efecto en el control de enfermedades de suelo y su incidencia en el tubérculo de papa como es el caso de la sarna común. Esto confirma los bajos efecto encontrados del S, sobre el rendimiento de la variedad DIACOL Capiro en Antioquia.

Efecto de dosis de B. Los tubérculos de segunda categoría (4 a 6 cm) de la dosis moderada (1.500 kg ha⁻¹ de NPK) con la aplicación de 1 ppm de B incrementaron los rendimientos en 15,103 g m⁻². En las dosis restantes de las diferentes categorías de tubérculos el B tiene un efecto nulo o negativo sobre las producciones. En los tubérculos de cuarta categoría de la dosis alta (3.000 kg ha⁻¹ de NPK) se presentó la única interacción entre el B y el S, la cual disminuyó la producción en 2,20 g m⁻². En la interacción Ca con B la producción se redujo en 28,35 g m⁻² para los tubérculos de segunda categoría de la dosis baja (Tabla 2).

García y Pantoja (1998), encontraron una respuesta positiva a la aplicación de Mg, B y S, en especial a la interacción B x sulfato de magnesio, que aumentó la producción de papa. Barrera (1995), encontró que aplicaciones de este elemento, en Andepts del occidente de la sabana de Bogotá, incrementaron el peso de tubérculos. Avella y Gerenas (1984), citados por García y Pantoja (1998), encontraron que la aplicación al suelo de 1,0 kg de B ha⁻¹ logró incrementos de rendimientos comprendidos entre 5 y 10 ton ha⁻¹, dependiendo de la variedad.

Efecto de dosis de Mg. Este elemento realiza un aporte positivo de 11,626 g m⁻² en rendimiento

para tubérculos de tamaño entre 4 a 6 cm en la dosis más alta (3.000 kg de NPK/Ha), también presenta un aporte significativo, en las dosis de 1.500 y 3.000 kg ha⁻¹ de NPK, equivalente a 40,06 g m⁻² y 28,77 g m⁻² respectivamente, para tubérculos de tamaño menor a los 2 cm, pero ello no es importante debido a que son tubérculos no comerciales. En general el Mg, evaluado en las tres dosis (500, 1.500 y 3.000 kg ha⁻¹ de NPK) del fertilizantes 10:20:20, no realiza aportes positivos al rendimiento de los tubérculos comerciales (tubérculos > 6 cm y entre 4 a 6 cm). En los tubérculos de cuarta categoría en la dosis moderada disminuyó la producción en 10,67 g m⁻² para la interacción Ca y Mg (Tabla 2).

El Mg permite la adecuada utilización de N por la planta y su transformación en compuestos orgánicos (Cieslik y Sikora, 1998). Gauna (2000), evaluó dosis crecientes de Mg (0, 10, 20, 40 y 60 kg ha⁻¹ de MgO), y no encontraron respuesta a la fertilización magnésica, tampoco tuvo influencia en el contenido de Mg de los tubérculos, solo se incrementó la concentración residual de magnesio en el suelo. Se cree que la relación Ca/Mg tiene una base de efectividad en el crecimiento y producción de las plantas; una carencia de ambos elementos es tan desventajoso como un exceso, ya que el Mg debido a su acción antagónica, provoca la disminución de la absorción del Ca por las plantas (Cieslik y Sikora, 1998).

CONCLUSIONES

Existe una relación favorable entre el rendimiento y los niveles de fertilización con NPK; donde la fertilización con 3.000 kg ha⁻¹ de NPK aumentó en un 104,73% el rendimiento con respecto a la dosis de 500 kg ha⁻¹ y en un 31,04% con respecto a la dosis de 1.500 kg ha⁻¹.

Las interacciones de los nutrimentos (Ca, Mg, B y S) evaluados no tienen un efecto apreciable sobre el rendimiento de los tubérculos, ya que en la mayoría de los casos solamente se observa un marcado efecto simple por dichos elementos.

El Ca fue el nutrimento que mejor comportamiento tuvo a las dosis creciente de NPK, y logro aumentos de 255,06 g m⁻² en la dosis de 1.500 kg ha⁻¹, además de que disminuyó los tubérculos de rechazo en las tres dosis del fertilizante de grado 1:2:2.

Las aplicaciones de B y Mg no generan buenos incrementos en los rendimientos de tubérculos, y con pocos efectos positivos en tubérculos no comerciales.

El S respondió muy bien en las tres dosis del fertilizante NPK sobre los rendimientos de los tubérculos de segunda, tercera y cuarta categoría.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y al IICA por la firma del convenio 023 de 2006, a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y al IICA por suscribir el proyecto 156 de 2006, y a la Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFrucol.) por financiar la contrapartida de este proyecto. A FEDEPAPA por el apoyo técnico y de cofinanciación.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrera, L. 1995. Suelos y Fertilización del Cultivo de la Papa. pp. 31- 55. En: Memorias. Seminario Fertilización de Cultivos. Sociedad Colombiana de Suelos. Medellín.
- Barrera, L. 1998. Fertilización del Cultivo de la papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. pp. 47-67. Fertilización de Cultivos de Clima frío. Monómeros Colombo Venezolanos. Segunda Edición. Colombia. 370 p.
- Blasco, L.M. 1972. Contenido y metabolismo del azufre en suelos volcánicos de Centroamérica. pp: 107-123. En: II Panel sobre Suelos Volcánicos de América. IICA. Serie Informes y Conferencias, Cursos y Resúmenes No 82.
- Burbano, O.H. y Blasco, L.M. 1975. Suelos volcánicos de Nicaragua II. Turrialba 25(4): 429-435.
- Calderón, D. 1996. Producción comercial de papa en Norteamérica. Nota Editorial. Serie Divulgativa No. 3.
- Calderón, J. 2004. Nutrición en el Cultivo de Papa. Investigación y Desarrollo Abocol. Colombia.
- Covarrubias, J.M., S. Castillo, J.A. Vera, R. Nuñez, P. Sánchez, R. Aveldaño y J. Peña. 2005. Absorción y eficiencia de uso de fósforo en papa cultivar Alpha con 32P. Agrociencia 39: 127-136.

- Castro, H.E. 2005. Balance y prospectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de producción de papa en Colombia. pp. 31-43. En: Memorias. I Taller Nacional sobre Suelos, Fisiología y Nutrición Vegetal en el Cultivo de la Papa. Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa (CEVIPAPA). Bogotá, Colombia. 103 p.
- Castro, H.E. y V.C. Guio. 1998. Significado de la fertilización potásica en el rendimiento y calidad industrial del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). pp. 112-132. En: Guerrero, R. (ed.). Fertilización de Cultivos de Clima Frío. Segunda Edición. Monómeros Colombo Venezolanos. Colombia. 370 p.
- Cieslik, E. and E. Sikora. 1998. Correlation between the levels of nitrates and nitrites and the contents of potassium, calcium and magnesium in potato tubers. *Food Chemistry* 63(4): 525-528.
- Cordero, A., V. Palmieri, M.A. Moreira. 1986. Respuesta de la papa a la fertilización con nitrógeno y fosforo en la zona de Fraijanes, Alajuela. *Agronomía Costarricense* 10(1-2): 111-120.
- De Brito, J., J. Alvarado y A. Norera. 1976. Fertilización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en suelos de la estación experimental de Mucuchies. *Agronomía Tropical* 27(2): 207-223.
- Echevarria, H. 2006. Fertilización del Cultivo de Papa. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Actualidad Pajera. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce.
- Estrada, R.N. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Plural Editores. Lima, Perú. 372 p.
- Fassbender, H.W. 1982. Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. Primera edición. San José, Costa Rica. 420 p.
- García, C.S., J.D. Lozano y C.E. Ñustez. 2006. Efecto de diferentes dosis de potasio y calcio sobre calidad y rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Esmeralda en dos localidades de Cundinamarca. Tesis Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 50 h.
- García, R.B. y C.L. Pantoja. 1998. Fertilización del cultivo de la papa en el departamento de Nariño. Fertilización de Cultivos de Clima frío. Segunda edición. Monómeros Colombo Venezolanos. Colombia. 370 p.
- Gauna, C.M. 2000. Utilización y Determinación de Parámetros del Método Racional de Fertilización para el N-P-Mg en el Cultivo de la Papa (*Solanum tuberosum* L. ssp. *Tuberosum* Hawkes). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. 96 p.
- Guerrero, R.R. 1998. La Fertilización con Azufre para el Cultivo de la Papa en Colombia. Fertilización de Cultivos de Clima Frío. Segunda Edición. Monómeros Colombo Venezolanos, Colombia. 65 p.
- Holdridge, L. 1996. Ecología basada en las zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA. San José, Costa Rica. 216 p.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2007. La deficiencia de fósforo en el cultivo de la papa. En: [http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/\\$webindex/8F9CDF09E098EFBA86256D11005FC5BB?opendocument&navigator=conozca+las+deficiencias+de+nutrientes; consulta: enero 2008](http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/$webindex/8F9CDF09E098EFBA86256D11005FC5BB?opendocument&navigator=conozca+las+deficiencias+de+nutrientes; consulta: enero 2008).
- Londoño, E. y M. Vélez. 1996. Efecto de la fertilización con NPK en el rendimiento y la calidad industrial de la papa *Solanum tuberosum* L. en un municipio del norte de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- Muñoz, A.R. 1986. Fertilización y Manejo de Suelos Cultivados con Papa en Antioquia. El Cultivo de la papa. ICA. Medellín.
- Muñoz, R. 1998. Fertilización de Papa en Antioquia. Fertilización de Cultivos de Clima Frío. Segunda Edición. Monómeros Colombo Venezolanos, Colombia. 65 p.
- Muñoz, R. 1979. Respuesta de los cultivos al calcio, magnesio y azufre en suelos de clima frío de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 10(2): 156-164.
- Ñustez, C.E., M. Santos, S. Navia y J.M. Cotes. 2006. Evaluación de la fertilización fosfórica foliar y edáfica sobre el rendimiento de la variedad de papa 'Diacol Capiro' (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Colombiana* 24 (1): 111-121.

Pavlista, A. 2005. Early-season applications of sulfur fertilizers increase potato yield and reduce tuber defects. *Agronomy Journal* 97: 599-603

Porras, P. 2005. Problemática general del sistema productivo de papa con énfasis en fisiología y manejo de suelos. En: Memorias I Taller Nacional sobre Suelos, Fisiología y Nutrición Vegetal en el Cultivo de la Papa. Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (CEVIPAPA). Bogotá, Colombia. 103 p.

Rueda, R., G. Romero, A. Saldaña y R. Vásquez. 1995. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Apdo. postal 1292. Puebla - México.

Sierra, C. J. Santos y J. Kalazich. 2002. Fertilización Potásica de la Papa en Suelos Trumaos (Andisoles)

de la Zona Sur de Chile. En: Elsitioagricola.com, <http://www.elsitioagricola.com/articulos/sierra/fertilizacion%20potasica%20de%20la%20papa%20en%20suelos%20andisoles%20de%20la%20zona%20sur%20de%20chile%20-%202002.asp>; consulta: enero 2008.

Tabares, E., S. Jaramillo, L. González y J.M. Cotes. 2009. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro a la fertilización en un andisol del Oriente Antioqueño. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 62(2): 5099-5110.

Wieczorek, P. 1979. Fertilización de la Papa (*Solanum tuberosum* L.) en Colombia. Curso Internacional sobre Producción de Semilla de Papa. Compendio Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia.