

Efecto de la fertilización sobre la calidad de la papa para procesamiento en dos suelos antioqueños con propiedades ándicas

Effects of fertilization on the industrial quality of potato in two antioquian Andisol soils

Carlos A. Palacios B.¹, Sonia Jaramillo V.², Luis H. González S.³ y José M. Cotes T.⁴

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de tres niveles de NPK a la siembra (500, 1.500 y 3.000 kg·ha⁻¹) en combinación con Ca (0, 2, 3 y 7 meq·100g⁻¹), Mg (0; 0,7; 1,4 y 3,0 meq·100g⁻¹), B (0; 0,5; 1,0 y 2,0 ppm) y S (0, 10, 20 y 40 ppm) sobre el contenido de azúcares reductores y la gravedad específica de la papa variedad Diacol Capiro, en dos tipos de suelo. Se utilizó un diseño central compuesto 3×2×3×2 para el nivel de 1.500 kg·ha⁻¹ y 2×2×2×2 para los niveles de 500 y 3.000 kg·ha⁻¹. La fertilización con 500 kg·ha⁻¹ de NPK presentó en ambos suelos los mejores resultados para gravedad específica. En el suelo de Santa Rosa los niveles de 1.500 kg·ha⁻¹ y 3.000 kg·ha⁻¹ no mostraron diferencias estadísticas para los azúcares reductores con valores promedio de 0,750 y 0,631, respectivamente; el nivel de 500 kg·ha⁻¹ presentó un promedio de 0,918. En el suelo de La Unión esta variable no presentó diferencias estadísticas en los niveles NPK evaluados. Los niveles de Ca, Mg, B y S no tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre la gravedad específica ni sobre el contenido de azúcares reductores de los tubérculos.

Palabras clave: azúcares reductores, gravedad específica, fertilización en Andisoles.

ABSTRACT

This research was carried out to evaluate the effect of three NPK levels of soil (500; 1,500 and 3,000 kg·ha⁻¹) in combination with Ca (0, 2, 3 and 7 meq·100g⁻¹), Mg (0, 0.7, 1.4 and 3.0 meq·100g⁻¹), B (0, 0.5, 1.0 and 2.0 ppm) and S (0, 10, 20 y 40 ppm) on reducing sugar content and specific gravity in the Diacol Capiro potato variety under two soil types. A composite central design 3x2x3x2 for 1,500 kg·ha⁻¹ level, and 2x2x2x2 for both 500 and 3,000 kg·ha⁻¹ levels were used. The NPK fertilization with 500 kg·ha⁻¹ showed the highest specific gravity average for both evaluated soils. For Santa Rosa soils, the fertilization levels 1,500 kg·ha⁻¹ and 3,000 kg·ha⁻¹ reported no statistical difference for the reducing sugar content with average values of 0.750 and 0.631, respectively; the level of 500 kg·ha⁻¹ showed an average of 0.918. For the La Unión soil there were no significant differences in the NPK levels evaluated. The evaluated Ca, Mg, B and S levels did not have a significant effect on the specific gravity or on the reducing sugar content of the tubers.

Key words: reducing sugars, specific gravity, fertilization on Andisols.

Introducción

El cultivo de la papa juega un papel importante en el sistema de alimentación global, contribuye a los requerimientos energéticos y de nutrientes de más de dos mil millones de personas en los países en desarrollo y es producida y consumida en su mayoría por los agricultores más pobres (CIP, 1998).

En Colombia la principal actividad agrícola de clima frío es el cultivo de la papa, dicha actividad se encuentra distribuida a lo largo del territorio en un área de más o menos 110.000 ha·año⁻¹ y la producción en 2007 fue de 1,9×10⁶ t (Faostat, 2008). El promedio de rendimiento de papa en Colombia se encuentra alrededor de 17 t·ha⁻¹, un rendimiento 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 (Cevipapa, 2004).

El cultivo de papa en Colombia se lleva a cabo en suelos con características ándicas especiales debido a que tienen sus orígenes en materiales volcánicos; son suelos de medio a alto contenido de materia orgánica, altamente fijadores de fosfatos, densidades aparentes bajas y 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 (Espinoza, 1998).

Fecha de recepción: 13 de febrero de 2008. Aceptado para publicación: 5 de noviembre de 2008

¹ Ingeniero agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, capalaci@unalmed.edu.co

² Profesora asociada, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, sjaramal@unalmed.edu.co

³ Profesor asociado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, lhgonzal@unalmed.edu.co

⁴ Profesor asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, jmcotes@bt.unal.edu.co

La industria de papa ha definido claramente las características que debe poseer un tubérculo para su procesamiento industrial, lo que la lleva a preferir algunas de las variedades que habitualmente siembran los agricultores. En la actualidad la demanda industrial se ha concentrado en más del 70% en la variedad Diacol Capiro. Sin embargo, la estacionalidad de la producción, la variabilidad en la calidad de la semilla y la influencia de los intermediarios obliga a utilizar diferentes variedades (Luján y Arévalo, 1992).

El valor de mercado que obtienen los productores de papa para la industria se basa en una combinación de rendimiento y factores de calidad del tubérculo (Davenport, 2000). Las características de especial interés para el procesamiento incluyen un bajo contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa) y una alta gravedad específica (Gaur *et al.*, 1999).

Existe un rango óptimo de gravedad específica para la papa industrial. Talburt y Smith (1967) indican que la gravedad específica de los tubérculos depende del porcentaje y la densidad de la materia seca y del porcentaje de aire en los tejidos. Para las plantas procesadoras de chips es necesario tener tubérculos con valores de gravedad específica superiores a 1,090. Sin embargo Guenther (2001) menciona que valores inferiores a 1,078 son penalizados por la industria procesadora, mientras que valores superiores se favorecen con mejoras en el precio de compra de la materia prima.

El contenido de materia seca se relaciona directamente con el rendimiento en la fritura, la absorción de aceite y la textura del producto industrializado (Pereira, 1987). Agle y Woodbury (1968) (Schippers, 1976) reportan que la relación gravedad específica-contenido de materia seca es afectada por la variedad, la zona de producción y las condiciones de almacenamiento. La gravedad específica, además, tiene una correlación negativa con el contenido de azúcares reductores (Iritani y Weller, 1974; Salamoni *et al.*, 2000).

Hernández (1992) afirma que el contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa) en papa parece ser el mayor factor para estimular los atributos de calidad interna para procesamiento. Estos deben ser inferiores a 0,25% o, preferiblemente, estar por debajo de 0,1% al momento de su proceso. De acuerdo con Kumar *et al.* (2007), tubérculos con alto contenido de azúcares reductores totales (> 2%) se consideran no aptos para procesamiento de chips.

Los azúcares reductores en altas concentraciones ejercen una influencia negativa sobre el color de las papas fritas

(Pereira y Campos, 1999; Pereira *et al.*, 1993), produciendo un oscurecimiento causado por la reacción entre los grupos reductores (grupos aldehídos) de los azúcares y los grupos aminos de los aminoácidos durante la fritura, conocida como la reacción de Maillard (Beukema y van der Zaag, 1990; Gaur *et al.*, 1999).

La concentración de azúcares reductores depende de la variedad, de las condiciones de crecimiento, la madurez y las condiciones de almacenamiento (Pereira *et al.*, 1993). El procesador puede hacer algunos ajustes al color durante la fritura, en principio, manipulando las condiciones de blanqueamiento. Defectos como quemaduras de sol, necrosis, azúcares finales, magulladuras y manchas de color marrón influyen negativamente en la apariencia de las papas fritas y reducen su valor en el mercado (Scanlon, 2003).

En Antioquia se han realizado muy pocos experimentos para evaluar el efecto de la aplicación de los elementos menores sobre el rendimiento y la calidad industrial de la papa, a pesar de conocerse que son muy frecuentes, en las tierras de clima frío, los contenidos bajos de manganeso, zinc, cobre y boro (Muñoz, 1985).

El presente trabajo tuvo como objeto evaluar el efecto de diferentes niveles de fertilización con NPK combinada con calcio, magnesio, boro y azufre sobre la calidad de la papa para procesamiento en la variedad Diacol Capiro en dos suelos tipo Andisol del departamento de Antioquia. Para ello se evaluaron la gravedad específica y el contenido de azúcares reductores con tres dosis de NPK: baja, media y alta (500, 1.500 y 3.000 kg·ha⁻¹), todas ellas aplicadas en relación 1:2:2.

Metodología

Material edáfico

Se transportaron al Centro de Investigación e Innovación Agropecuaria y Forestal (Paysandú, Universidad Nacional de Colombia) aproximadamente 20 t de suelo de los municipios de La Unión y Santa Rosa de Osos, Antioquia. Ambos se caracterizan por ser suelos derivados de cenizas volcánicas, con propiedades ándicas, es decir, con una alta retención de fosfatos, densidad aparente inferior a 0,90 g·cm⁻³, altos contenidos de materia orgánica, pero inferiores a 43% (Jaramillo, 1995). El suelo procedente del municipio de La Unión estaba bajo un sistema de producción de papa en rotación con pastos, mientras que el municipio de Santa Rosa de Osos estaba en barbecho y presentaba alguna contaminación de otros materiales parentales (Arias y Loaiza, 2002).

En los lugares seleccionados para tomar las muestras de suelos se realizó una minicalicata de 25×25×25 cm para determinar el origen taxonómico; posteriormente se retiró la cobertura vegetal, pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum* L.), principalmente en La Unión, y rastros bajos con alta proporción de helechos (*Pteridium spp.*), en Santa Rosa de Osos. El suelo u horizonte A se extrajo de la menor área posible, con el objeto de minimizar la variabilidad en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Análisis de laboratorio

Se tomaron muestras para cada tipo de suelo y se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, para realizar los análisis de caracterización química, además de pruebas de incubación de cada suelo en invernadero usando como fuentes de elementos carbonato de calcio, carbonato de magnesio, ácido bórico, sulfato de amonio.

Para la incubación las muestras se homogenizaron y luego se pasaron por una malla de 4 mm con el fin de desagregar los terrones más grandes y no dañar la estructura original del suelo.

Diseño experimental en campo y variables a evaluar

Se utilizó semilla de papa variedad Diacol Capiro certificada por el ICA y suministrada por Fedepapa. El proceso de brotación fue acelerado colocando la semilla bajo luz difusa y aumentando la temperatura; adicionalmente se asperjó con ácido giberélico a 2 ppm.

Se evaluaron tres niveles de 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 3×2×3×2 para calcio, magnesio, boro y azufre, 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 2×2×2×2 para calcio, magnesio, boro y azufre, respectivamente, más cuatro puntos adicionales, para un total de 20 unidades experimentales por cada tipo de suelo. De esta forma fueron necesarias 160 unidades experimentales para evaluar los efectos principales y las interacciones dobles para los nutrimentos en los tres niveles de fertilización tradicional propuestos y en los dos tipos de suelo. Se evaluó la gravedad específica en tres clases o categorías de tubérculos de acuerdo con su tamaño (≤ 2 cm, 2-4 cm y 4-6 cm) y el contenido de azúcares reductores

en tubérculos de 4-6 cm. Para el análisis de los datos se utilizó el programa SAS System v. 9.1.3.

Unidades experimentales

En el Centro de Investigación e Innovación Agropecuaria y Forestal (Paysandú) se retiró el horizonte A del lote escogido, con el fin de evitar interferencias en los resultados. Se niveló el terreno y con bloques de cemento de 20 cm de alto y 40 cm de largo se construyeron 160 parcelas de un metro cuadrado y se depositó cada tipo de suelo en 80 parcelas. Adicionalmente se instaló un sistema de riego por goteo autocompensado para garantizar el balance hídrico óptimo en la unidad experimental.

Los tratamientos (fertilizantes) se aplicaron de acuerdo con los resultados de los análisis de incubación del suelo. Se colocaron 9 tubérculos/m² brotados, 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.

Determinación de la gravedad específica y del contenido de azúcares reductores

Para gravedad específica (GE) se tomaron muestras al azar de cinco tubérculos, de cada una de las categorías determinadas con la ayuda de tamices, que permitían la separación de los tubérculos de acuerdo con su diámetro, para un total de 15 tubérculos/parcela.

Para determinación de la GE se empleó el método del peso en agua y peso en aire (Murphy y Goven, 1959), el cual se aplicó para cada uno de los tubérculos:

$$GE = P_{\text{aire}} / (P_{\text{aire}} - P_{\text{agua}}).$$

Para la determinación de contenido de azúcares reductores se utilizó el método del ácido dinitrosalicílico, para el cual se preparó el reactivo modificado de Summer, compuesto por 1% de ácido 3,5-dinitrosalicílico, 0,2% de fenol, 0,05% de bisulfito de sodio y 1% de hidróxido de sodio, w/v. Adicionalmente se preparó una solución de sal de Rochelle con tartrato de sodio y potasio en una concentración de 40% P/V. Para la construcción de la curva estándar se partió de una solución patrón de glucosa con una concentración de 1 mg·mL⁻¹; esta solución se conservó en refrigeración hasta el momento de usarla. Se estableció una escala estándar de 0 a 1 mg·mL⁻¹ tomando volúmenes de 0, 5, 7, 10, 17, 20 y 25 mL de la solución patrón de glucosa y completando a 25 mL con agua destilada en balones volumétricos. Se tomaron alícuotas de 3 mL de cada una de las soluciones

de la escala estándar, se llevaron a tubos de ensayo con 3 mL de agua destilada y 3 mL del reactivo modificado de Summer, se agitó y se llevó a un baño maría durante 15 min, posteriormente se retiraron los tubos del baño maría y se agregó a cada tubo 1 mL de la solución de sal de Rochelle preparada anteriormente; los tubos se enfriaron con agua a la temperatura ambiente. Las soluciones de la escala estándar se llevaron al espectrofotómetro para realizar las lecturas de la absorbancia a una longitud de onda de 575 nm, utilizando la solución con concentración de 0 mg·mL⁻¹ de glucosa como blanco para llevar a cero absorbancia el espectrofotómetro. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de regresión y se obtuvo la siguiente curva patrón ($R^2=0,9909$):

$$\text{Porcentaje de azúcares reductores} = 0,0114 + 0,0011 \times \text{Absorbancia}$$

Con base en esta curva patrón se obtuvieron los niveles de azúcares para cada una de las unidades experimentales.

Resultados y discusión

Gravedad específica

En el suelo procedente de Santa Rosa la gravedad específica para tubérculos entre 4 y 6 cm fue superior cuando se aplicó una dosis de 500 kg·ha⁻¹ de NPK, mientras que no hubo diferencias estadísticas para los tratamientos con 1.500 kg·ha⁻¹ de NPK y 3.000 kg·ha⁻¹ de NPK, obteniéndose promedios de 1,1033; 1,0953 y 1,0945, respectivamente. En el suelo procedente de La Unión se encontraron diferencias estadísticas en todos los tratamientos, obteniéndose promedios de 1,1021; 1,0981 y 1,0894, respectivamente (figura 1A).

Para los tubérculos entre 2 y 4 cm el suelo procedente de Santa Rosa no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos con 500 kg·ha⁻¹ de NPK y 1.500 kg·ha⁻¹ de NPK, obteniéndose promedios de 1,1047 y 1,1010. Los tratamientos con 3.000 kg·ha⁻¹ de NPK mostraron un promedio de 1,0976. Los tratamientos evaluados en el suelo de La Unión mostraron diferencias en todos sus niveles, obteniéndose valores promedio de 1,1118; 1,1027 y 1,0959, respectivamente (figura 1B).

En el caso de tubérculos con diámetro igual o menor de 2 cm los tratamientos en el suelo de Santa Rosa evaluados no presentaron diferencias estadísticas entre las dosis 500 kg·ha⁻¹ de NPK y 1.500 kg·ha⁻¹ de NPK, en las cuales se observaron valores promedio de 1,1097 y 1,1043, respectivamente. Los tratamientos con dosis de 3.000 kg·ha⁻¹ de NPK presentaron un valor promedio de 1,1014. Para el

caso de los tratamientos evaluados en el suelo de La Unión ninguna de las dosis mostró diferencias estadísticas, pero los valores obtenidos fueron superiores a los valores de los tratamientos del suelo de Santa Rosa, con valores promedio de 1,1201; 1,1087 y 1,1068, respectivamente (figura 1C).

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede asegurar que, cuando los niveles generales de la fertilidad se incrementan, la gravedad específica de los tubérculos decrece, lo cual confirma los resultados presentados por Kunkel y Holstad (1972), Talburt y Smith (1967), Nash (1942), Blood y Haddock (1939) y Prince *et al.* (1940). Estos autores afirman que cultivos de papa con bajas tasas de aplicación nitrogenada producen maduración temprana y generalmente gravedades específicas más altas que cultivos con altas aplicaciones de nitrógeno, lo cual concuerda con los resultados obtenidos tanto en el suelo de La Unión como en el de Santa Rosa.

Con respecto a los niveles de fósforo, Talburt y Smith (1967) afirman que las aplicaciones de este elemento raramente presentan efecto sobre la materia seca de los tubérculos de papa; mientras que Quick y Li (1980) reportaron un apreciable incremento en el porcentaje de almidón y en la materia seca, con la aplicación de diferentes niveles de fósforo.

Por otro lado, Davenport (2000) reporta que existe una pequeña pero estadísticamente significativa reducción en la gravedad específica del tubérculo cuando se aplicó K, pero no encontró diferencia entre KCl y K₂SO₄.

Smith y Nash (1941) informan un decrecimiento progresivo en la gravedad específica en papas de la variedad Smooth Rural desde 1,097 con aplicaciones de 1.120 t·ha⁻¹ del fertilizante 4-8-8 hasta 1,084 con aplicaciones de 3.362 t·ha⁻¹. Schippers (1968) estudió cuatro variedades de papa para las cuales el potasio mejoró el rendimiento del tubérculo, pero el incremento del rendimiento se contrarrestó por una disminución en el contenido de materia seca. Además de la reducción en la gravedad específica, con altas dosis de potasio, la reducción adicional ha sido demostrada con el uso de KCl en comparación con el uso de K₂SO₄ (Dole *et al.*, 1978).

Nótese que los valores obtenidos para gravedad específica son aparentemente muy altos (>1,09) en todas las categorías; esto puede estar relacionado con el genotipo. Devaux *et al.* (1998), al evaluar tres niveles de materia orgánica (estiércol de ovino): 5, 10, 15 t, en 35 variedades nativas de papa amarilla en la Sierra Central del Perú, encontraron valores hasta de 1,2 para la gravedad específica. Además,

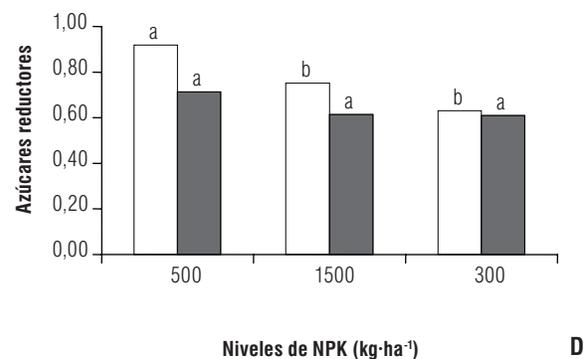
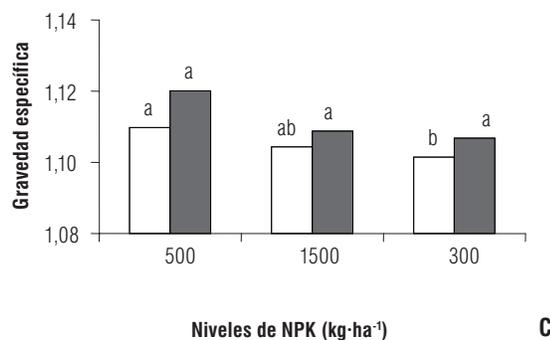
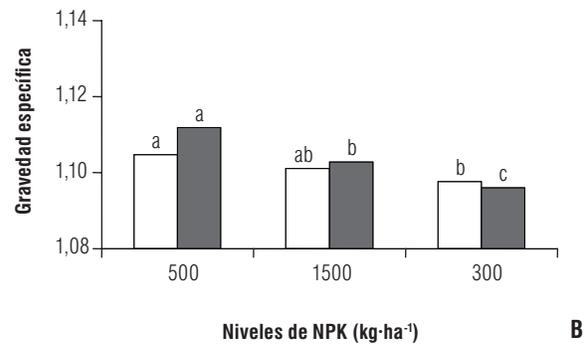
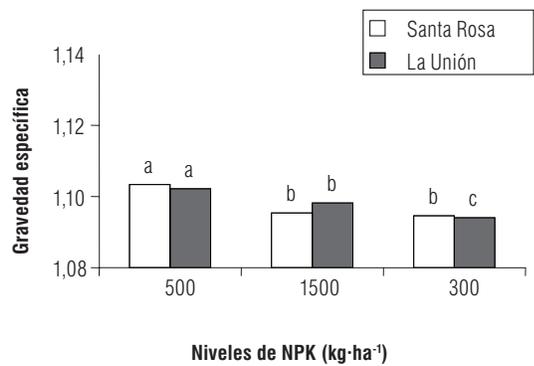


FIGURA 1. A) Gravedad específica para tubérculos entre 4 y 6 cm; B) Gravedad específica para tubérculos entre 2 y 4 cm; C) Gravedad específica para tubérculos ≤ 2 cm; D) Azúcares reductores de tubérculos, calculada a 60 °C; en dos zonas de Antioquia.

Promedios con letras distintas indican diferencias significativas entre las dosis de cada tipo de suelo, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tekaling y Hammes (2005) afirman que altos valores en la gravedad específica y en el contenido de materia seca de algunos cultivares pueden atribuirse a una alta eficiencia de las variedades para desviar más materia seca hacia los tubérculos. La variedad Diacol Capiro, objeto de este estudio, parece ser muy eficiente en dicho proceso de traslocación. Dean (1994) indicó que, aunque el contenido de materia seca de los tubérculos está influenciado por el tamaño de estos, por las condiciones ambientales y por las prácticas culturales, dicho contenido parece ser genéticamente controlado; esto ratifica la importancia del cultivar respecto a la calidad industrial de la papa.

Al evaluar los modelos de regresión ajustados para observar el efecto individual de cada uno de los elementos menores y el efecto producido por sus interacciones sobre la gravedad específica de cada una de las categorías de tubérculos (tablas 1 y 2), se puede observar que los valores obtenidos, aunque estadísticamente significativos de cero, son muy

bajos y su aporte en términos prácticos es poco apreciable. Andrade (1997) reporta que por cada incremento de 0,005 en la gravedad específica se produce un aumento del 1% en el rendimiento de hojuelas o chips.

Un estudio adelantado por Mica (1975), en el cual se evaluó el efecto de la aplicación de varias cantidades de boro, magnesio y zinc, sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad industrial en papa, encontró que el boro y el magnesio incrementaron el peso de los tubérculos al final del periodo de floración, pero la calidad de la papa, expresada por su composición química, no fue materialmente alterada por la aplicación de boro, magnesio y zinc. Además, Talburt y Smith (1967) afirman que en algunas zonas productoras de papa se ha demostrado que algunos elementos menores se encuentran en cantidades deficientes para los lotes de mayores rendimientos y mejor calidad. Talburt y Smith (1967) afirman que existe una relación entre la gravedad específica de los tubérculos y el contenido de calcio.

TABLA 1. Coeficientes de regresión ajustada en el suelo de La Unión para gravedad específica en tubérculos entre 4 y 6 cm (Grav4), gravedad específica para tubérculos entre 2 y 4 cm (Grav2), gravedad específica para tubérculos \leq 2 cm (Grav0) y azúcares reductores de tubérculos, calculada a 60 °C (A60).

Nivel	Efecto	Grav4	Grav2	Grav0	A60
500	Ca	-	-	0,000130	-
	Mg	-	-	-0,000001	-
	B	-	-	-0,000509	-
	S	-	-	-0,000110	-
	Ca x S	-	-	-0,000107	-
	B x S	-	-	-0,000517	-
1.500	Ca	0,000003	-0,000030	-0,000016	-
	Mg	0,000001	0,000004	0,000005	-
	B	-0,000009	0,000030	0,000059	-
	S	0,000014	0,000059	-	-
	S ²	-0,000015	-0,000058	-	-
3.000	Ca	-	-	-	0,000290
	S	-	-	-	-0,001191
	Ca ²	-	-	-	0,000050

TABLA 2. Coeficientes de regresión ajustada en el suelo de Santa Rosa para gravedad específica en tubérculos entre 4 y 6 cm (Grav4), gravedad específica para tubérculos entre 2 y 4 cm (Grav2), gravedad específica para tubérculos \leq 2 cm (Grav0) y azúcares reductores de tubérculos, calculada a 60 °C (A60).

Nivel	Efecto	Grav4	Grav2	Grav0	A60°
500	Ca	0,000016	0,000011	-	-
	S	-	-0,000029	-	-
	Ca x S	-	0,000008	-	-
1.500	Ca	0,000008	0,000069	0,000033	-
	Mg	-0,000006	0,000007	0,000010	-
	B	-0,000050	-0,000029	0,000026	-
	S	-0,000026	-0,000013	0,000118	-
	Ca x Mg	0,000002	-	-	-
	Ca x S	-0,000006	-	-	-
	Mg x S	-	0,000001	-0,000006	-
3.000	Ca	0,000027	0,001439	0,000339	-0,003293
	Mg	-0,000084	0,000002	0,000004	0,000619
	B	-0,000048	-0,005282	-0,001199	-0,002034
	S	0,001178	-0,000032	-0,000042	-
	Ca x Mg	-0,000002	-	-	-
	Ca x B	-	0,000165	0,000268	-
	Ca x S	0,000024	-	-	-
	Ca ²	-	-0,000302	-0,000105	0,000601
	Mg x B	0,000005	-	-	-
	Mg x S	-0,000044	-	-	-
	Mg ²	0,000003	-	-	-0,000013
	B ²	-	0,003306	-	-

Al evaluar las correlaciones entre los valores de GE de las diferentes categorías de tubérculos, se puede observar que en el caso del suelo procedente de La Unión la correlación más fuerte se presenta entre la gravedad específica de tubérculos de 4-6 cm y la gravedad específica de tubérculos de 2-4 cm cuyo valor es de 0,5360, la correlación entre gravedad específica de tubérculos de 4-6 cm y la gravedad específica de tubérculos ≤ 2 cm obtuvo un valor de 0,4900 y la correlación entre la gravedad específica de tubérculos de 2-4 cm y la gravedad específica de tubérculos ≤ 2 cm obtuvo un valor de 0,519. En el caso del suelo procedente de Santa Rosa la correlación más fuerte se presentó entre la gravedad específica de tubérculos de 2-4 cm y la gravedad específica de tubérculos ≤ 2 cm con un valor de 0,6862; la correlación entre la gravedad específica de tubérculos de 4-6 cm y la gravedad específica de tubérculos de 2-4 cm obtuvo un valor de 0,433 y la correlación entre gravedad específica de tubérculos de 4-6 cm y la gravedad específica de tubérculos ≤ 2 obtuvo un valor de 0,292. Los valores obtenidos parecen en principio bajos, denotando una baja correlación entre las gravedades específicas de las diferentes categorías de tubérculos.

Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Henninger *et al.* (2000) quienes en un estudio llevado a cabo en varias localidades de EEUU encontraron que la correlación entre la gravedad específica de dos tamaños de tubérculo estuvo alrededor de 0,43 en el caso de New Jersey y de 0,44 para la localidad de Virginia. Además, Pineda (1995) afirma que se presentan diferencias en el contenido de materia seca, no solo entre cultivos y lotes de orígenes diferentes (diferencia de clima, suelo y aplicaciones de abono), sino también entre tubérculos de una misma planta.

Azúcares reductores

La medición de azúcares a 60 y a 103 °C presentó una correlación de 0,9919 para el caso de La Unión y de 0,9969 para Santa Rosa, por lo que se decidió utilizar la medición hecha a 60 °C que es la medida estándar para este tipo de ensayos.

El contenido de azúcares reductores en los tratamientos del suelo de Santa Rosa presentó valores superiores para la dosis de 500 kg·ha⁻¹ de NPK donde se obtuvo un promedio de 0,918 y no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos de 1.500 kg·ha⁻¹ de NPK y 3.000 kg·ha⁻¹ de NPK en los cuales se observaron valores de 0,750 y 0,631, respectivamente. Por otro lado, los tratamientos del suelo de La Unión evaluados no presentaron diferencias estadísticas entre niveles de NPK, y los valores obtenidos son menores que los del suelo de Santa Rosa, con valores promedio de

0,713; 0,614 y 0,611, respectivamente (figura 1D). De lo anterior se puede deducir que existe una relación inversa entre la fertilización y el contenido de azúcares reductores. Kroner y Volksen (1950) afirman que existe una correlación muy pobre entre el contenido de azúcares reductores y la fertilización y muestran que el incremento en la fertilización con NPK (de 80 a 120 kg de N y diferentes formas de potasio) no tuvo efecto sobre el contenido de azúcares reductores y tampoco en el valor para el procesamiento de las papas. Kunkel y Holstad (1972) reportaron efectos de NPK sobre el color pero las diferencias fueron muy pequeñas y de poca importancia.

Las variaciones de los valores de azúcares reductores fueron mínimas entre el material sembrado en el suelo de Santa Rosa y el material del suelo de La Unión; esto se debe probablemente a que los cultivos se hicieron bajo las mismas condiciones ambientales (Paysandú). En concordancia con esto, Dale y Mackay (1994) resaltan que los azúcares reductores no varían considerablemente dentro de un cultivar, dentro de una misma localización y en el mismo periodo de cultivo.

Al evaluar los modelos de regresión ajustados para observar el efecto de los elementos secundarios (Ca, Mg y S) y el boro (B) y sus interacciones sobre el contenido de azúcares reductores (60 °C) (tablas 1 y 2), se puede observar que tanto para los tratamientos de La Unión como para los de Santa Rosa no se presentan efectos significativos para los niveles de 500 y 1.500 kg·ha⁻¹ de NPK. En el nivel de 3.000 kg·ha⁻¹ de NPK se presentan diferencias estadísticamente significativas para los efectos simples de Ca y S para el suelo de La Unión y efectos simples de Ca, Mg y B para el suelo de Santa Rosa; sin embargo, los valores son muy bajos y no son comercialmente importantes.

Conclusiones y recomendaciones

No existen diferencias en la determinación de azúcares reductores cuando se trabaja con una temperatura de 60 °C o de 103 °C, ya que hay una correlación casi perfecta entre los dos valores generados, por lo que se recomienda trabajar a una temperatura de 60 °C. Esto significa un ahorro en tiempo y dinero.

Los niveles de Ca, Mg, B y S evaluados no presentaron un efecto significativo sobre la gravedad específica y azúcares reductores en la variedad Diacol Capiro; al parecer la fertilización no influye en gran medida sobre la calidad industrial de la papa, esta puede depender más del material genético y de las condiciones climáticas.

Al comparar los tratamientos entre los dos tipos de suelos utilizados en este ensayo se puede deducir que el de La Unión es el más apto ya que estadísticamente presentó valores de gravedad específica más altos y contenidos de azúcares reductores más bajos que los tratamientos del suelo de Santa Rosa, que es lo deseado en papa destinada al procesamiento.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, podemos recomendar aplicaciones bajas de NPK (500 kg-ha⁻¹) para los cultivadores de papa cuya producción esté destinada a la industria (procesamiento) ya que estos niveles favorecen el mejoramiento en la calidad del producto terminado (papas fritas, chips, bastones). Las aplicaciones de elementos secundarios y elementos menores no presentaron un efecto importante sobre los factores que determinan la calidad, así que su aplicación no se justifica.

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.

Literatura citada

- Agle, W.M. y G.W. Woodbury. 1968. Specific gravity-dry matter relationship and reducing sugar changes affected by potato variety, production area and storage. *Amer. Potato J.* 45(4), 119-131.
- Agrocadenas. 2006. Cultivo de la papa en Colombia. En: Agrocadenas, http://www.agrocadenas.gov.co/papa/c_papa.htm; consulta: enero de 2008.
- Andrade, H. 1997. Requerimientos cualitativos para la industrialización de la papa. *Revista Iniap* 9(1), 21-23.
- Arias G. y J.C. Loaiza. 2002. Comportamientos y estructuras del relieve y los suelos en el altiplano de Santa Rosa de Osos (Antioquia). Universidad Nacional de Colombia - Corantioquia, Medellín. 365 p.
- Beukema, H. y D. van der Zaag. 1990. Introduction to potato production. Centre for Agricultural Publishing Documentation, Wageningen. 208 p.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). 1998. La papa en cifras: producción, uso, consumo, comercialización: En: Actualidades de la papa, http://www.cipotato.org/potato-/facts/pot_facts_esp_papaprod.pdf; consulta: enero de 2008.
- Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (Cevipapa). 2004. El cultivo de la papa en Colombia. En: Cevipapa, <http://www.cevipapa.org.co>; consulta: enero de 2008.

- Dale, M. y G.R. Mackay. 1994. Inheritance of table and processing quality. pp. 285-315. En: Bradsahw J.E. y G.R. Mackay (eds.). *Potato genetics*. CAB Internacional, Cambridge. 576 p.
- Davenport, J. 2000. Potassium and specific gravity of potato tubers. *Better Crops* 84(4), 14-16.
- Dean, B. 1994. Managing the potato production system. Food Products Press, USA. pp. 59-61.
- Devaux A., K. Manrique, C. Riveros, N. Zúñiga y A. Santana. 1998. Efectos de la fertilización orgánica y fosfatada en las características de calidad para fritura de 35 variedades nativas de papa amarilla en la Sierra Central del Perú. En: Papa Andina, <http://www.papandina.org/-fileadmin/documentpool/Institucional/Articulo/02-Re-ALAP-Efectos-Fertilizacion-Organica-en-Calidad.pdf>; consulta: enero de 2008.
- Espinal, F., H. Martínez, N. Pinzón y C. Barrios. 2006. La cadena de la papa en Colombia, una mirada de su estructura y dinámica 1991-2005. En: Documento de trabajo No. 54. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, <http://www.agrocadenas.gov.co>; consulta: enero de 2008.
- Espinoza, J. 1998. Fijación de P en suelos derivados de ceniza volcánica y fertilización fosfórica del cultivo de la papa. pp. 103-111. En: Guerrero, R. (ed.). *Fertilización de cultivos de clima frío*. Segunda edición. Monómeros Colombo Venezolanos, Bogotá.
- Gaur, P., S. Pandey, S. Singh, R. Marwaha y D. Kumar. 1999. Kufri Chipsona-2: a new high dry matter potato variety for chipping. *Current Sci.* 76(9), 722-724.
- Guenthner, J. 2001. The international potato industry. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. 312 p.
- Henninger, M.R., S.B. Sterrett y K.G. Haynes. 2000. Broad-sense heritability and stability of internal heat necrosis and specific gravity in tetraploid potatoes. *Crop Sci.* 40(4), 977-984.
- Iritani, W. y L. Weller. 1973. The development of translucent end tubers. *Amer. Potato J.* 50(7), 223-233.
- Kroner, W. y W. Volksen. 1950. The potato. Segunda edición. Johann Ambrosius Barth, Leipzig. 9 p.
- Kumar, S., K. Khade, V. Dhokane, A. Behere y A. Sharma. 2007. Irradiation in combination with higher storage temperatures maintains chip-making quality of potato. *J. Food Sci.* 72(6), 402-406.
- Kunkel, R. y N. Holstad. 1972. Potato chip color, specific gravity and fertilization of potatoes with N-P-K. *Amer. Potato J.* 49(1), 43-62.
- Luján L. y H. Arévalo. 1992. Variedades de papa colombiana (catálogo preliminar). *Revista Fedepapa* 4(1), 28.
- Mica B. 1975. Influence of boron, magnesium and zinc, on the yield and quality of potatoes. *Potato Res.* 18(4), 565-1086.
- Miller, G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* 31(3), 426-428.
- Murphy H. y M. Goven. 1959. Factors affecting the specific gravity of the white potato in Maine. *Maine Agric. Exp. State Bull.* 583(1), 1-10.
- Pereira, A., R. Coffin, R. Yada y V. Machado. 1993. Inheritance patterns of reducing sugars in potato tubers after storage at

- 12 c and 4 c followed by reconditioning. Amer. Potato J. 70(1), 71-76.
- Pereira A. y A. Campos. 1999. Teor de açúcares reductores em genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.). Ciência Rural 29(1), 13-16.
- Pineda, C. 1995. Perspectivas para el desarrollo agroindustrial del cultivo de papa en Colombia. Revista Fedepapa 13(1), 6-8.
- Salamoni, A., A. Pereira, J. Viégas, A. Campos y S. Chalá. 2000. Variância genética de açúcares reductores e matéria seca e suas correlações com características agrônômicas em batata. Pesq. Agropec. Bras. 35(7), 1441-1445.
- Scanlon, M.G. 2003. Tuber quality. In guide to commercial potato production on the Canadian Prairies. Western Potato Council, Portage la Prairie, Canadá. 107 p.
- Schippers, P. 1976. The relationship between specific gravity and percentagem dry matter in potato tubers. Amer. Potato J. 53(4), 111-122.
- Smith, O. y L. Nash. 1941. Potato quality. Relation of soil reaction, irrigation and mineral nutrition to cooking quality. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 39(1), 507-512.
- Talbur, W. y O. Smith. 1967. Potato processing. Cuarta edición. AVI Publishing Company, California. 588 p.
- Tekaling, T. y P. Hammes. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. Sci. Hort. 105(1), 29-44.
- Wilson, J.H. y A.M. Lindsay. 1969. The relation between specific gravity and dry matter content of potato tubers. Amer. Potato J. 46(6), 323-328.

