

EFFECTO DE DOSIS DE Fe, Cu, Mn, Zn, B y Mo EN EL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES Y TOTALES Y EN LA CALIDAD DE FRITADO EN PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja*)

EFFECT OF DOSES OF Fe, Cu, Mn, Zn, B and Mo ON REDUCEND AND TOTAL SUGARS AND ON FRIED QUALITY ON CREOLE POTATO (*Solanum phureja*)

Rodrigo Lora Silva ¹
Ana Patricia López Alayón ²
Rafael Gómez ³
Henry Bernal ⁴

RESUMEN

Para evaluar el efecto de dosis variables de los micronutrientes Fe, Cu, Mn, Zn, B y Mo en el contenido de azúcares reductores y totales de tubérculos tamaño primera de papa criolla y su efecto en la calidad de fritado, como índice de la calidad industrial, se realizó una investigación en un suelo localizado en el municipio El Rosal (Cundinamarca), clasificado, taxonómicamente, como Pachic Melanudands. Las dosis fueron: Fe (5-10-15kg ha⁻¹), Cu (8-16-24kg ha⁻¹), Mn (8-16-24kg ha⁻¹), Zn(5-10-15kg ha⁻¹), B(0,8-1,6-2,4kg ha⁻¹) y molibdato de sodio(1-2-3kg ha⁻¹). Se incluyó un testigo a micronutrientes. El diseño empleado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones de 20m² cada una, para un total de 57 unidades experimentales. Para nitrógeno, fósforo y potasio, a la siembra se aplicó 700 kg ha⁻¹ del grado fertilizante 13-26-6, junto con los micronutrientes bajo estudio. De igual manera se determinó la calidad de fritado y los azúcares totales

y reductores. Los resultados mostraron efecto de los tratamientos sobre el contenido de azúcares totales y reductores. Según la prueba de fritado, los contenidos de azúcares reductores inferiores a 0,25% en base seca mostraron buena calidad para la industria, según la escala de color adaptada y modificada para papa criolla. Niveles de 16-24kg Cu ha⁻¹, 5-10kg Fe ha⁻¹, 5kg Zn ha⁻¹ y 0,8kg B ha⁻¹ fueron los más adecuados, lo cual indica que, bajo las condiciones de la investigación, es necesario la aplicación de niveles adecuados de cobre, hierro, cinc y boro para que el tubérculo presente buena calidad, como índice apropiado para la industria de fritado.

Palabras clave: Calidad industrial, micronutrientes, andisoles, tubérculos de papa.

SUMMARY

A research was carried out at El Rosal, Cundimarca, in a soil classified as Pachic Melanudands to establish the effect of levels of the micronutrients Fe,Cu, Mn, Zn,B and Mo on the total and reductor sugars contents in tubers of Creole potatoe (*Solanum phureja*) and its frying quality. The doses employed were: Fe (5-10-15 kg ha⁻¹), Cu (8-16-24 kg ha⁻¹), Mn (8-16-24 kg ha⁻¹), Zn (5-10-15 kg ha⁻¹), B (0.8-1.6-2.4 kg ha⁻¹) and sodium molybdate (1-2-3 kg ha⁻¹); and a check to micronutrients was included. A complete randomized block design with three reps of 20 m² was used. For nitrogen, fosphorus

¹ Ingeniero Químico, M.Sc., Docente investigador, Facultad de Agronomía Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. e-mail: rodrigolorasilva@yahoo.com

² Químico Industrial

³ Ingeniero Agrónomo

⁴ Ingeniero Agrónomo

and potassium, 700kg ha⁻¹ of fertilizer grade 13-26-6 at planting time was used. On first class size tubers frying quality, total and reductor sugars were determined for each experimental unit. The result showed a significant effect of the treatments on the content of total and reductor sugars. According to the fried quality test, contents lower 0.25% on dried base of reductor sugars showed good industrial quality according to the color scale for Creole potatoe. Levels of 16-24kg Cu ha⁻¹, 5-10kg Fe ha⁻¹, 5kg Zn ha⁻¹ and 0.8kg B ha⁻¹, were the most adequate ones. These results indicate that under the conditions of the research it is necessary to apply suitable levels of Cu-Fe-Zn and B to get good quality in the tubers for the fried industry.

Key words: Industrial quality, micronutrients, andisols, potato tubers.

INTRODUCCIÓN

La papa criolla (*Solanum phureja*) posiblemente es nativa de los Andes suramericanos. Se trata de una especie diploide, con centro de diversidad genética, en el departamento de Nariño (Peña, 1997, Porras, 1999). Se caracteriza por ser precoz, pues bajo condiciones de días cortos y buen manejo agronómico del cultivo, solo necesita de tres a cuatro meses para alcanzar su madurez fisiológica (Zapata *et al.* 2006). En general, los suelos más apropiados para este cultivo son los de textura franco arenosa y franco limosa, bien aireados, con buenas propiedades físicas, ricos en materia orgánica y fertilidad media factible de ser mejorada (Cuchimaque & Sierra, 1998). Las necesidades de agua son alrededor de 100mm/mes bien distribuidos, debido a que si hay deficiencia en la fase de tuberización, los rendimientos se reducen, considerablemente. En Colombia, el área sembrada es de 25.000 hectáreas por año, localizada en la zona fría de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Santander y Cauca (Porras, 2000). Muchos de los suelos de esta área pertenecen al orden Andisol. En el desarrollo de las características de estos suelos ha influido el material parental, compuesto de depósitos de cenizas volcánicas de varias edades, que por meteorización, han producido alófono, el cual presenta elevada fijación de aniones, como fosfatos, boratos y molibdatos (Lora, 1994; Soil Survey Staff, 1998).

Dentro de los elementos esenciales para la planta, debido a la pequeña cantidad absorbida por ésta, se

han denominado micronutrientes al hierro, cobre, manganeso, cinc, níquel, boro, cloro y molibdeno (López, 1998; Bohn *et al.* 2001; Bernal *et al.* 2006; Lora, 2007). Las funciones más destacadas de estos elementos son las siguientes: el hierro forma parte de las hemoproteínas, de los citocromos, de las enzimas respiratorias, como la peroxidasa, catalasa, ferredoxina y citocromo-oxidasa; activa numerosas enzimas y participa en el desarrollo de los cloroplastos, en la fotosíntesis y en las reacciones de oxido-reducción. El manganeso participa en la fotosíntesis, hace parte de numerosas enzimas y activa las enzimas arginasa y fosfotransferasas. El cobre hace parte de enzimas, como la plastocianina, superoxidismutasa, ascorbatooxidasa, lactasa, fenolasa y aminooxidasas; juega rol positivo en la fotosíntesis y estimula la evolución de oxígeno (Bernal *et al.* 2006). El cinc hace parte de enzimas, como alcohol de hidrogenasa, superoxidismutasa y anhidrasa carbónica y activa enzimas, como las de la síntesis de ácido indol acético, relacionado con el crecimiento de la planta y la maduración de los frutos. El boro forma complejos con compuestos orgánicos facilitando su transporte, participa en el crecimiento y división celular, en el metabolismo de los ácidos nucleicos, carbohidratos y proteínas; también interviene en la degradación de la glucosa y, posiblemente, en la síntesis del ácido ribonucleico (ARN) y del ácido giberélico (Brown & Barry, 1997; Golberg, 1997; Ávila & Ruiz, 2003; Segura *et al.* 2007). Por su parte, el boro y el calcio, se deben aplicar en cantidades balanceadas para evitar antagonismo del calcio sobre el boro. El molibdeno hace parte de enzimas, como la nitrogenasa y la nitrato reductasa; su deficiencia influye negativamente en la formación de ácido ascórbico, en el contenido de clorofila y en la actividad respiratoria. El cloro participa en la fotosíntesis, en la regulación osmótica y en la asimilación de algunos elementos con las bombas ATP-asa. El níquel es requerido para la actividad de varias enzimas, como la ureasa y la hidrogenasa. En las plantas superiores, la ureasa es la única enzima que contiene níquel, requerida para la hidrólisis de la urea, la cual, produce NH₃ y CO₂ y, por tanto, así la úrea puede ser utilizada como fuente de nitrógeno. En Rhizobio, sin la presencia de níquel, la actividad de la hidrogenasa es extremadamente baja, pero puede ser restaurada, rápidamente, por medio de la aplicación de níquel (Malavolta & Morales, 2007).

Los factores que afectan la disponibilidad de micronutrientes para la planta son pH, materia orgánica,

humedad del suelo, interacción entre sí y con otros elementos, enclavado, actividad microbiológica, tipo de cultivo y algunas prácticas agrícolas, como labranza y riego. La disponibilidad disminuye al aumentar el pH, con excepción del molibdeno. Los suelos orgánicos están entre los que comúnmente presentan deficiencias de boro, cobre y molibdeno (Lora, 1998; López, 1998; Burbano, citado por Lora, 2007).

Se debe tener en cuenta que para la papa, tanto *Solanum tuberosum*, como *S. phureja*, la calidad del tubérculo es muy importante para la industria y para consumo en fresco.

Con relación a su composición, los tubérculos contienen carbohidratos solubles e insolubles, proteínas, minerales y algunas vitaminas. Además de glucosa, fructosa y sacarosa, el mayor componente es el almidón, el cual, está compuesto de amilasa y amilopectina (Wade, 2004). La respiración es el proceso metabólico de los vegetales, que consiste en la oxidación de sustancias orgánicas con alto contenido de energía en compuestos más sencillos, por tanto, la conversión del almidón suministra glucosa, fructosa, sacarosa, CO₂, energía y agua. Por debajo de 5°C, se hidroliza y se acumulan azúcares reductores (glucosa y fructosa), a pesar que a estas temperaturas la respiración es muy débil (Salisbury & Ross, 1994; Calderón, 1995; Moreno, 2000; Salisbury & Ross, 2002). Después de la cosecha, la sacarosa se transforma rápidamente en glucosa y fructosa que, a menudo permanecen en un alto nivel durante el almacenamiento. Estos dos azúcares son reductores, aun cuando también puede haber la presencia de otras sustancias reductoras, tales como la tirosina, el ácido ascórbico, la cisteína y el inositol (Vives, 2003).

Durante el procesamiento industrial, los azúcares reductores se combinan con los aminoácidos produciendo compuestos de un color marrón y de sabor amargo, en el producto final, lo cual, depende de la variedad, las condiciones de cultivo, la cosecha y la temperatura de almacenamiento (Calderón, 1995). A temperaturas superiores a 55°C durante el procesamiento industrial reaccionan los azúcares reductores y los aminoácidos, conocido como reacción de Maillard (Pineda, 1995). En la industria, la evaluación comúnmente utilizada para la calidad de la papa es la prueba del frito, que permite determinar en forma cualitativa el contenido de azúcares reductores, ya que éstos son determinantes

del color de los productos fritos. La prueba consiste en sumergir en aceite caliente, a una temperatura de aproximadamente 130°C, durante tres minutos, las rodajas de papa, para ser comparadas al término del proceso con una escala de color, con grados que van del uno al nueve, correspondiendo para el número uno el color más oscuro y disminuyendo su tonalidad, de acuerdo al nivel de azúcares reductores (Castro & Guio, 1998). En la industria, se acepta tubérculos que presenten tonos de 4 a 7 de la escala del color. Los procesos de oscurecimiento que ocurren durante el fritado de la papa son de naturaleza química, a través de tres mecanismos o fases: en el primero, los aldehídos, las cetonas y los azúcares reductores se combinan con aminoácidos, péptidos y proteínas, de acuerdo con la condensación aldólica, para formar primero la base de Schiff y luego una glicosilamina N-sustituida; esta primera etapa es la denominada reacción de Maillard descrita por el químico francés Louis Camille Maillard. El segundo, denominada arreglo de Amadori consiste en la isomerización de la N-sustituida y glicosilamina en N-sustituida-1-amino-1-deoxi-2-cetosa. En la tercera etapa, se pierde una molécula de CO₂ del sistema y pueden ocurrir reacciones de condensación aldólica, polimerización de aldehídos y aminoras con la formación de sustancias heterocíclicas, tales como pirrol, piridina y aminoras; de igual manera empieza a aparecer el pardeamiento o oscurecimiento (Calderón, 1995).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de dosis variables de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Mo sobre el contenido de azúcares reductores y totales de la papa criolla y su efecto en la calidad del fritado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo, se llevó a cabo en un suelo derivado de cenizas volcánicas, clasificado como Pachic Melanudands, localizado en el municipio El Rosal del Departamento de Cundinamarca. Se empleó la variedad "Yema de Huevo" (*S. phureja*), con semilla tamaño primera de buena calidad. De acuerdo al análisis de suelo, el contenido de fósforo, azufre, calcio, magnesio y potasio es medio. Con relación a los elementos menores el contenido de micronutrientes fue: hierro 29ppm; manganeso 23ppm; cobre 0,60ppm; cinc 6,90ppm y boro 0,05ppm. Para hierro, manganeso y cinc el contenido es medio; para cobre bajo y para boro deficiente. Para Fe, Cu, Mn y Zn, se utilizó el método de Melnich (doble

ácido) y para B el de extracción, con solución 0,008M de fosfato monocálcico. La profundidad, el drenaje, la estructura y la retención de agua son adecuados para el desarrollo del cultivo. El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar, con tres repeticiones de 20m², cada una. Las fuentes de nutrientes fueron FeSO₄·7 H₂O, Na₂B₄O₇·10 H₂O, CuSO₄·5H₂O, MnSO₄·3 H₂O, Na₂MoO₄·2 H₂O. Para nitrógeno, fósforo y potasio, se empleó el grado fertilizante 13-26-6 en la cantidad de 700kg/ha. Las dosis de elementos menores fueron: Fe (kg ha⁻¹): 5-10-15; Cu (kg ha⁻¹): 8-16-24; Mn (kg ha⁻¹): 8-16-24; Zn (kg ha⁻¹): 5-10-15; B (kg ha⁻¹): 0,8-1,6-2,4; Mo (kg ha⁻¹Na₂MoO₄·2 H₂O): 1-2-3. Se incluyó un testigo a micronutrientes. Las fuentes y los niveles de micronutrientes, se escogieron de acuerdo a lo recomendado por Lora (1998). La fertilización, se hizo al momento de la siembra. Para el rendimiento total, se

determinó el de los dos surcos centrales de cada unidad experimental y luego se llevó a t/ha. Por su parte, para la calidad de fritado, así como para la determinación de azúcares reductores y totales, a la cosecha de cada unidad experimental, se tomó 1kg de tubérculos tamaño primera (3,5cm - 6cm de diámetro), en los primeros cinco días después de la cosecha; se determinó la calidad de fritado en fresco y se secó el material a 60°C hasta peso constante, para la determinación de azúcares totales y reductores.

Prueba de fritado: Por unidad experimental del kg del material de primera seleccionado, se tomaron cuatro tubérculos, se lavaron cuidadosamente y se les quitó la corteza. Se tajaron en rodajas del mismo grosor (aproximadamente 3mm), se introdujeron en aceite de soja a una temperatura de 130°C por dos minutos;

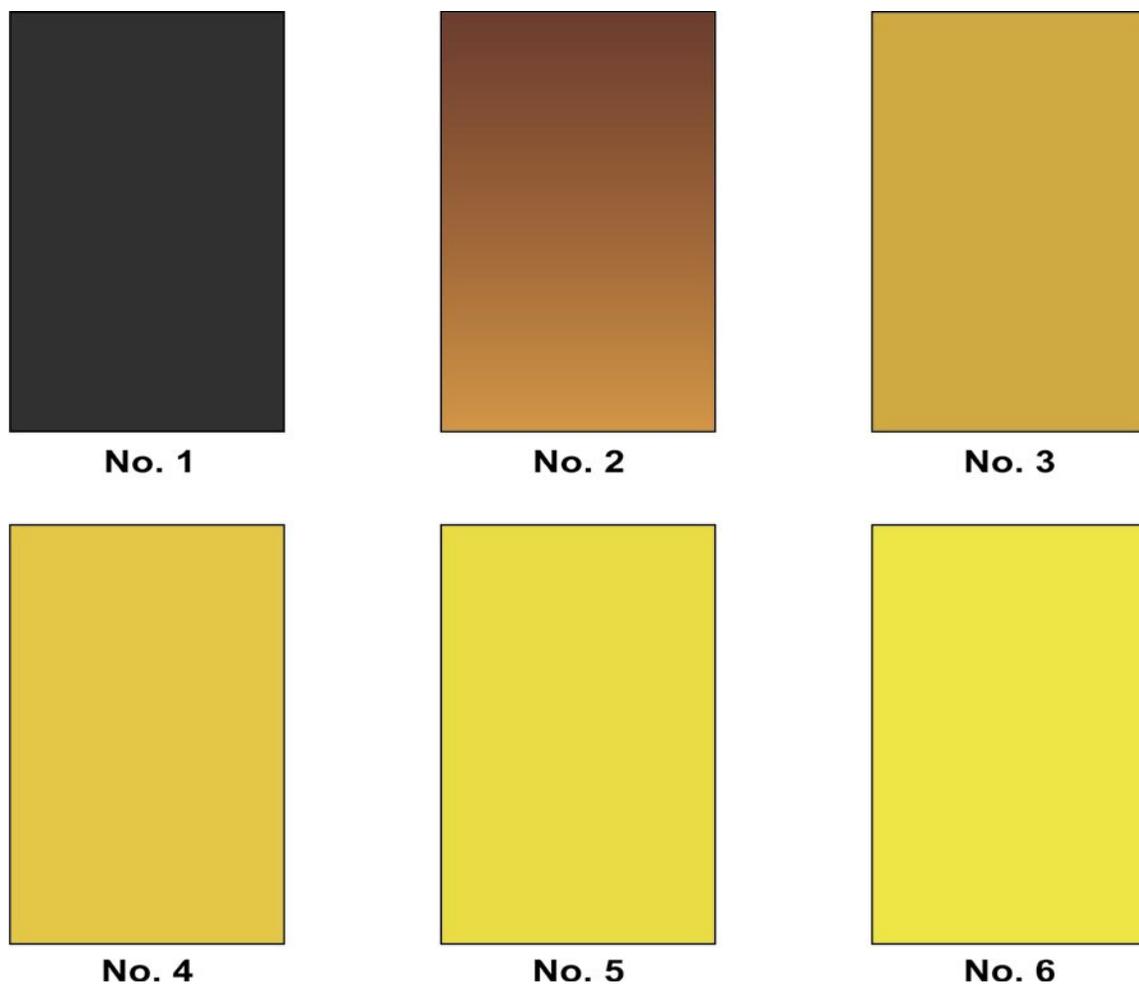


Figura 1. Escala de color para fritado papa criolla (*Solanum phureja*)

luego, se sacaron, se dejaron y se dejaron enfriar a temperatura ambiente y, por último, se valoraron con ayuda de la escala de color que aparece en la figura 1, adaptada para papa criolla, de la empleada para *Solanum tuberosum* (Castro & Guido, 1998).

Azúcares reductores y totales: De cada unidad experimental, del material cosechado, se tomaron cuatro tubérculos frescos tamaño primera, se lavaron y se les quitó la corteza. Luego, se cortaron en pedazos pequeños y se realizó el secado a 60°C hasta peso constante; posteriormente, se molió el material y se guardó en bolsas plásticas separadas por repetición, a temperatura ambiente, para hacer el análisis de azúcares reductores y totales, para lo cual, se siguió la norma ICONTEC pertinente (NTC # 440). Para la preparación del extracto requerido para el análisis de azúcares reductores y totales, el procedimiento fue el siguiente:

Se pesaron 10g de muestra seca y molida, se agregaron 200mL de agua destilada; posteriormente, se agitó en licuadora durante 30 minutos, se centrifugó durante 10 minutos y se filtró en papel filtro No 5. Luego, se clarificó con solución saturada de acetato de plomo, se filtró y se guardó el extracto para ser utilizado inmediatamente y así evitar resultados erróneos.

El principio del método para azúcares reductores, se basa en la reducción de sales cúpricas a sales cuprosas, con la correspondiente oxidación de los azúcares reductores (Van Holde, 2002). La intensidad de color del complejo azul formado, se determina en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 610nm.

Para la determinación de azúcares totales, se hace la inversión de la sacarosa (conversión a glucosa y fructosa), para poder determinarla como azúcar reductor. Para esto, se procedió así: a 30mL de extracto en tubo de ensayo, se adicionó 1mL de HCl concentrado, se colocó en baño María a 95°C, por 15 minutos; una vez realizado este proceso, el tubo de ensayo se sacó y se dejó reposar durante 10 minutos, a temperatura ambiente. Luego, se ajustó el pH a 7 con NaOH, se lleva a volumen de 200mL con agua destilada y se determinó los azúcares, por la técnica descrita para azúcares reductores

Cada uno de los análisis, tanto de azúcares reductores como azúcares totales, se realizó por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para azúcares totales, según la tabla 1, hubo diferencia significativa entre algunos tratamientos. Por ejemplo, para el manganeso, a pesar de que el mayor contenido de azúcares totales fue con 24kg/Mn ha⁻¹, no hubo diferencia significativa con las dosis de 16 y 8kg ha⁻¹ de este nutriente, debido a que el contenido en el suelo, posiblemente, es adecuado, tal como lo muestra el contenido de azúcares totales en el testigo, el cual no mostró diferencia estadística con los niveles de manganeso empleado. Por su parte, solamente los tratamientos 5kg/Fe ha⁻¹ y 24kg/Cu ha⁻¹ presentaron diferencia significativa con el testigo, posiblemente a que se redujo la síntesis de azúcares o la degradación del almidón. Aunque todos los valores obtenidos son aptos para su empleo en la industria (Calderón, 1995; Moreno, 2000; Zapata *et al.* 2006), ya que están por debajo de 0,60% en base seca, el mayor contenido de azúcares totales, se debió a la aplicación de 24kg/Mn ha⁻¹, resultado que se pudo presentar por el efecto de este micronutriente en la síntesis de carbohidratos solubles, como los azúcares (Marschner, 2003; Epstein & Bloom, 2005), principalmente en suelos de las características del presente estudio. Es importante anotar que en parte el buen sabor de la papa criolla fresca es debido a la presencia de una adecuada cantidad de azúcares totales (Calderón, 1995; Zapata *et al.* 2006). Para industria, se sugiere que la papa tenga un contenido adecuado de azúcares reductores, con el objeto de evitar colores oscuros y sabor amargo del producto producido (Moreno, 2000). Contenidos inferiores a 0,25% de azúcares reductores en base seca son recomendables; sobre este porcentaje tiene influencia el manejo agronómico apropiado dado al cultivo (Zapata *et al.* 2006). En la tabla 2 aparece el efecto de los tratamientos en el contenido de azúcares reductores y se puede apreciar diferencia significativa entre los tratamientos. El tratamiento con mayor contenido de azúcares reductores correspondió a 24kg/Mn/ha, posiblemente a que el manganeso tiene un papel fundamental en la fotosíntesis, especialmente, fotosíntesis II. Se pudo haber presentado hidrólisis de la sacarosa presente para producir los azúcares reductores glucosa y fructosa, como lo sugieren Salisbury & Ross, (2002). Por su parte, los tratamientos cuyo contenido de azúcares reductores fue inferior a 0,25%, indicando buena calidad industrial, fueron por hectárea de 10kg-Fe, 5kg-Zn, 0,8kg-B, 16kg-Cu, 5kg-Fe y 24kg-Cu. En los niveles de estos micronutrientes, posiblemente, se

redujo la síntesis de azúcares reductores o se presentó degradación de las mismas (Brown & Barry, 1997; Van Hold 2002; Salisbury & Ross, 2002). Por otra parte es importante considerar que a temperaturas inferiores a 10°C

se puede presentar acumulación de azúcares reductores y de sacarosa por acción de las enzimas de la respiración anaeróbica, dependiendo de la tolerancia o susceptibilidad de la variedad (Reena *et al.* 2007), con lo cual, variedades

Tabla 1. Efecto de los tratamientos en el contenido de azúcares totales. Mínima diferencia significativa: 0,2245.

TRATAMIENTO	AZÚCARES REDUCTORES (%) *
24kg Mn/ha	0,46665 ^a
8kg Cu/ha	0,45345 ^{ab}
Testigo	0,4223 ^{bac}
1,6kg B/ha	0,4108 ^{bac}
15kg Zn/ha	0,37345 ^{bdac}
3kg Molibdato/ha	0,32975 ^{bdac}
1kg Molibdato/ha	0,3244 ^{bdac}
2kg Molibato/ha	0,3203 ^{bdac}
16kg Mn/ha	0,3004 ^{bdac}
2,4kg B/ha	0,29725 ^{bdac}
8kg Mn/ha	0,28495 ^{bdac}
10kg Zn/ha	0,27595 ^{bdac}
15kg Fe/ha	0,26210 ^{bdc}
10kg Fe/ha	0,2341 ^{bdc}
5kg Zn/ha	0,2331 ^{dc}
0,8kg B/ha	0,22725 ^{dc}
16kg Cu/ha	0,21205 ^{dc}
kg Fe/ha	0,1778 ^d
24 kg Cu/ha	0,1749 ^d

* Cifras con las mismas letras no difieren estadísticamente.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos en el contenido de azúcares reductores. Mínima diferencia significativa: 0,0375.

TRATAMIENTO	AZÚCARES REDUCTORES (%) *
24kg Mn/ha	0,4656 ^a
Testigo	0,3780 ^b
1,6kg B/ha	0,3742 ^b
15kg Zn/ha	0,3557 ^b
2kg Molibdato/ha	0,30525 ^c
16kg Mn/ha	0,28915 ^{dc}
8kg Cu/ha	0,2870 ^{dc}
3kg Molibdato/ha	0,2704 ^{dc}
10kg Zn/ha	0,26985 ^{dc}
8kg Mn/ha	0,2681 ^{dc}
1kg Molibdato/ha	0,26505 ^d
2,4kg B/ha	0,25945 ^d
15kg Fe/ha	0,25165 ^{de}
10kg Fe/ha	0,21995 ^{fe}
5kg Zn/ha	0,21945 ^{fe}
0,8 kg B/ha	0,20515 ^f
16kg Cu/ha	0,1921 ^{fg}
5kg Fe/ha	0,15915 ^{hg}
24kg Cu/ha	0,1386 ^h

* Cifras con las mismas letras no difieren estadísticamente.

susceptibles acumulan contenidos de azúcares reductores que no permiten su utilización en la industria de productos fabricados por el proceso de fritado. Los datos de las tablas 1 y 2 muestran poca diferencia entre azúcares totales y reductores, por la presencia de invertasa y sacarosa sintasa que hacen que la sacarosa se desdoble en glucosa y fructosa (Salisbury & Ross, 2002).

La prueba de fritado por su rapidez y facilidad es utilizada para definir la calidad de la papa en la producción

industrial de productos fritos. Los resultados obtenidos para los 19 tratamientos aparecen en la tabla 2. Se puede observar que, para un contenido de azúcares reductores mayor de 0,25% la calificación, de acuerdo a la escala de fritado (figura 1), fue menor de cuatro, lo cual hace que la papa no sea apta para la industria, debido al color oscuro y al sabor amargo (Calderón, 1995). Bajo las condiciones de la presente investigación para uso industrial puede ser recomendable la aplicación por hectárea de 10kg-Fe, 5kg-Zn, 0,8kg-B, 16kg-Cu,

Tabla 3. Prueba del fritado y su relación con el contenido de azúcares reductores.

TRATAMIENTO	AZÚCARES REDUCTORES (%)	COLOR DEL FRITADO (Escala)
24kg Mn/ha	0,4656	2
Testigo	0,378	3
1,6kg b/ha	0,3742	3
15kg Zn/ha	0,3557	2
2kg Molibdato/ha	0,30525	2
16kg Mn/ha	0,28915	3
8kg Cu/ha	0,287	3
3kg Molibdato/ha	0,2704	3
10kg Zn/ha	0,26985	3
8kg Mn/ha	0,2681	3
1kg Molibdato/ha	0,26505	3
2,4kg B/ha	0,25945	3
15kg Fe/ha	0,25165	3
10kg Fe/ha	0,21995	5
5kg Zn/ha	0,21945	4
0,8kg B/ha	0,20515	5
16kg Cu/ha	0,1921	5
5kg Fe/ha	0,15915	4
24kg Cu/ha	0,1386	6

5kg-Fe, 24kg-Cu en forma individual, ya que como se muestra en la tabla 3, en general, para el rendimiento de papa tamaño primera, en relación al testigo, solo hubo diferencia para la aplicación de 15kg-Zn ha⁻¹ y 1,6kg-B ha⁻¹. Si la papa es para consumo en fresco y no para la producción industrial de productos fritos, los mejores tratamientos para rendimiento total (extra, primera y segunda) fueron los que se indican en la tabla 4. La

aplicación de 1,6kg-B ha⁻¹ (Tabla 5) mostró el mayor rendimiento tal vez por la fijación del anión borato por la alofana presente en el suelo bajo estudio, quedando la cantidad adecuada a disponibilidad del cultivo. Con relación con en cinc con el nivel de 5kg/Zn ha⁻¹ hubo diferencia significativa frente al testigo, pues niveles inferiores son afectados, negativamente, por contenidos medios y altos de fósforo (Lora, 1994).

Tabla 4. Efecto de los tratamientos en el contenido de azúcares reductores y el rendimiento tamaño primera.

TRATAMIENTO	DOSIS (kg/ha)	RENDIMIENTO * (t/ha)	AZÚCARES REDUCTORES (%) *
Fe	5	13,10 ^{ab}	0,15915 ^{hg}
	10	13,48 ^{ab}	0,21995 ^{fe}
	15	13,33 ^{ab}	0,25165 ^{de}
Cu	8	13,02 ^{ab}	0,287 ^{dc}
	16	13,45 ^{ab}	0,1921 ^{fg}
	24	13,23 ^{ab}	0,1386 ^h
Mn	8	12,72 ^{ab}	0,2681 ^{dc}
	16	13,28 ^{ab}	0,28915 ^{dc}
	24	12,86 ^{ab}	0,4656 ^a
Zn	5	14,58 ^{ab}	0,21945 ^{fe}
	10	14,79 ^{ab}	0,26985 ^{dc}
	15	15,11 ^a	0,3557 ^b
B	0,8	0,8 ^{ab}	0,20515 ^f
	1,6	15,14 ^a	0,3742 ^b
	2,4	14,06 ^{ab}	0,25945 ^d
Molibdato de Sodio	1	13,18 ^{ab}	0,26505 ^d
	2	13,53 ^{ab}	0,30525 ^c
	3	13,80 ^{ab}	0,2704 ^{dc}
Testigo		12,20 ^b	0,378 ^b

* Cifras con las mismas letras no difieren estadísticamente.

Tabla 5. Rendimiento total (kg/ha) de los mejores tratamientos por elemento.

NUTRIMENTO	DOSIS (kg/ha)	RENDIMIENTO * (t/ha)
<i>Boro</i>	<i>1,60</i>	<i>24,20^a</i>
<i>Cinc</i>	<i>15,00</i>	<i>22,50^b</i>
<i>Cobre</i>	<i>16,00</i>	<i>21,60^c</i>
<i>Hierro</i>	<i>10,00</i>	<i>21,50^c</i>
<i>Testigo</i>	<i>-</i>	<i>21,00^c</i>
<i>Molibdato</i>	<i>3,00</i>	<i>21,00^c</i>
<i>Manganeso</i>	<i>16,00</i>	<i>21,00^c</i>

* Cifras con las mismas letras no presentan diferencias significativas (Tukey 0,05) R²: 97,6%.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de la presente investigación, se puede concluir:

- Los micronutrientes cobre, hierro, cinc y boro en dosis adecuadas, se deben aplicar para la obtención de tubérculos de buena calidad en la industria de frito.
- El contenido de azúcares totales en los tubérculos tamaño primera fue inferior al 0,60% en base seca, límite aceptable en la industria de frito.
- Tubérculos con un contenido de azúcares reductores inferior a 0,25% en base seca mostraron buena calidad para la industria de frito, siendo los niveles de 16-24kg-Cu ha⁻¹, 5-10kg-Fe ha⁻¹, 5kg-Zn ha⁻¹ y 0,8kg-B ha⁻¹, los más adecuados.
- La escala de color adaptada y modificada para papa criolla mostró ser una buena herramienta para evaluar la calidad del tubérculo en la industria del frito.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁVILA, F.; RUIZ, R. 2003. Efecto de la aplicación foliar y al suelo del boro sobre la papa criolla (*Solanum phureja*) en un andisol de Cundinamarca. Trabajo de grado I.A., U.D.C.A. Bogotá, 114p.
- BERNAL, M.; CASES, R.; PICOREL, R.; YRUELA, I. 2006. Excess copper effect on growth chloroplast ultrastructure, oxygen evolution activity and chlorophyll fluorescence in glycine max cell suspensions. *Phys. Plantarum*. 130(2):312-325.
- BOHN, H; Mc NEAL, B; O´CONNOR, G. 2001. Soil Chemistry. 3th. ED, John Wiley and Sons Inc. NY. 307p.
- BROWN, P.; BARRY, S. 1997. Boron movility in plants. *Plant and Soils*. 193:85-101.
- CALDERÓN, M. 1995. Diseño de procesos y especificación de equipos para obtención de papa criolla precocida y congelada. Santafé de Bogotá. U.N. 120p.
- CASTRO, H.; GÜIO, V. 1998. Significado de la fertilización potásica en el rendimiento y calidad industrial de la papa (*Solanum tuberosum*). En: Fertilización de cultivos en clima frío. Monómeros Colombo-Venezolanos, Bogotá. p.133-153.
- CUCHIMAQUE, R; SIERRA, F. 1998. Evaluación de materiales fosfóricos parcialmente acidulados en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Boyacá. UPTC Tunja. p.24-56.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. 2005. Mineral metabolism. En: Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. Senaver Assoc. Inc. Publ., Sunderland, Massachussets, USA. p.201-241.
- GOLBERG, S. 1997 Reactions of boron with soils. *Plants & Soils*. 193:35-48.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN – ICONTEC. 2004. NTC # 440. Productos Alimenticios. Métodos de ensayo. Bogotá. 23p.
- LÓPEZ, Y. 1998. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo SCCS. Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Edit. Prolabo Ltda. Santafé de Bogota. p.1-13.
- LORA, R. 1994. Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. En: Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y Control. SCCS, Silva M, F. (Ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo SCCS. Editorial Guadalupe Ltda. Santafé de Bogotá. p.29-57.
- LORA, R. 1998. Fuentes y producción de fertilizantes de elementos menores. En: Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo SCCS. Santafé de Bogotá. p.99-110.
- LORA, R. 2007. Contaminación por elementos menores y posibles soluciones. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.* 7(1):5-20.
- MALAVOLTA, E.; MORALES, M. 2007. Níquel: de nutriente tóxico a nutriente esencial. *Informaciones Agronómicas*. (International Plan Nutrition Institute. Quito, Ecuador). 67:10-12.

- MARSCHNER, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. Function of micronutrients. Ed. Acad. Press, San Diego, California. USA. 889p.
- MORENO, J. 2000. Calidad de la papa para usos industriales. Revista Papas Colombianas. 2ª. Ed. p.44-47.
- PEÑA, F. 1997. Respuesta de la papa criolla a fósforo y materia orgánica en suelos derivados de cenizas volcánicas. Trabajo de grado U.D.C.A. Bogotá D.C. 89p.
- PINEDA, R. 1995. Perspectivas para el desarrollo agroindustrial del cultivo de la papa en Colombia. Papa (Colombia). 13:4-14.
- PORRAS, P. 1999. La papa en Colombia: desarrollo de una cadena agroalimentaria estratégica. Papa. 20:32.
- PORRAS, P. 2000. Guía para papa criolla, clon 1, Fedepapa. En: Papas Colombianas 2000 con el mayor entorno ambiental. Ventana al campo Andino (Colombia). 3(1):65-67.
- REENA, P.; LESLIE, J.; LOPEZ, C.; RICKEY, Y. 2007. Roles of alcohol dehydrogenase, lactate dehydrogenase and pyruvate decarboxylase in low temperature sweetening in tolerant and susceptible varieties of potato (*Solanum tuberosum*). Phys. Plantarum. 130(2):230-239.
- SALISBURY, F.; ROSS, C. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Ed. Interamericana S.A. México. 759p.
- SALISBURY, R.; ROSS, C. 2002. Bioquímica vegetal, respiración en: Fisiología de las plantas, 2 – Edit. Thomson Madrid. p.413-439.
- SEGURA, A.; TRIVIÑO, A.; LORA, R. 2007. Comportamiento de la papa criolla (*Solanum phureja*) a calcio y boro en un suelo de Cundinamarca, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 10(2):75-84.
- SOIL SURVEY STAFF, 1998, Keys to Soil Taxonomy. 8º Ed. USA, Washington DC. 326p.
- VAN HOLDE, M. 2002. Bioquímica. Hidratos de carbón 3ª. Edición, Madrid, España. p.311-351.
- VIVES, N. 2003. Utilización de la papa criolla para elaborar una bebida alcohólica de características cerveceras. Trabajo de grado Química Industrial U.D.C.A – C.T.B., Bogotá. 115p.
- WADE, L.G. 2004. Química Orgánica. Carbohidratos y ácidos nucleicos, cetonas y haldeados. Editora Isabel Capella. Editorial Pearson Education S.A. Madrid. p.744-825; 1057-1137.
- ZAPATA, J.; NAVAS, G.; TAMAYO, A.; DÍAZ, C. 2006. Manejo agronómico de la papa criolla para procesamiento industrial. CORPOICA, C.I. La Selva, Rionegro, Antioquia. 44p.

Recibido: Marzo 5 de 2008

Aceptado: Septiembre 11 de 2008