

Efecto ambiental en características fisicoquímicas de papas de la Mesa Central de México*

Environmental impacts on physicochemical characteristics of potatoes from the Central Bureau of Mexico

María Gricelda Vázquez-Carrillo^{1§}, David Santiago-Ramos², Oswaldo Ángel Rubio-Covarrubias³, Celene Margot Torres-Cervantes⁴, Alma Rosa Ayala-Rosas⁴ y Ma. Luisa Patricia Vargas-Vázquez¹

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5 Coatlinchán, 56250. Textcoco, Estado de México. Tel: 01 800 088 2222 Ext. 85364. (patricia_vargas_mx@yahoo.com). ²Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República-Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas S/N, Col. Las Campanas, 76010. Querétaro, Querétaro. (david_san_18@hotmail.com). ³Sitio experimental Metepec-INIFAP. Carretera Toluca-Zitácuaro, km 4.5 Vial Adolfo López Mateos S/N, 51350. Zinacantepec, Estado de México. (oswaldorubio@terra.com.mx). ⁴Universidad Autónoma Chapingo- Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Carretera México-Textcoco km 38.5. 56230. Chapingo, Estado de México. (celene_marg@hotmail.com; ayro-28ar@hotmail.com). [§]Autora para correspondencia: gricelda_vazquez@yahoo.com.

Resumen

En la Mesa Central de México, el estrés biótico y abiótico que sufren las plantas de papa, induce la acumulación de fenoles y azúcares reductores en los tubérculos, lo que reduce su calidad comercial. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de localidad y de genotipo en las características de calidad, contenido de azúcares reductores, fenoles y actividad antioxidante de seis genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). Se investigaron la variedad Fianna y los clones: Nau, 5-10, 8-29, 99-39 y 99-38, los cuales fueron cultivados en Raíces (3 500 msnm) y Metepec (2 600 msnm), ambas en los Valles Altos del Centro de México. Todas las variables físicas y químicas mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) por efecto de la interacción localidad x genotipo. En Raíces los tubérculos presentaron mayor gravedad específica (1.085), contenido de materia seca (22.07%) y almidón (17.6%), así como menor contenido de fenoles solubles totales (198.2 mg/100 g fw). En Metepec los tubérculos fueron de menor calidad y sintetizaron mayor cantidad de azúcares reductores (0.23 g/100 g de peso fresco) y fenoles (313.33 mg/100 g) debido a la incidencia de la enfermedad de la punta morada. Se encontró una correlación alta entre el contenido

Abstract

In the central bureau Mexico, the biotic and abiotic stress experienced by potato plants, induces the accumulation of phenols and reducing sugars in the tubers, which reduces its commercial quality. The objective of this research was to determine the effect of locality and genotype in the characteristics of quality, content of reducing sugars, phenols and antioxidant activity of six genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L.). The Fianna variety and clones were investigated: Nau, 55-10, 8-29, 99-39 and 99-38, which were grown in Raíces (3 500 msnm) and Metepec (2 600 msnm), both in the Valles Altos Mexico Center. All physical and chemical variables showed highly significant differences ($p < 0.01$) due to the locality x genotype interaction. In Raíces tubers had higher specific gravity (1.085), dry matter content (22.07%) and starch (17.6%) and lower content of total soluble phenols (198.2 mg/100 g fw). In Metepec tubers they were synthesized lower quality and higher amount of reducing sugars (0.23 g/100 g fresh weight) and phenols (313.33 mg/100 g) due to the incidence of the disease purple top. A high correlation between phenol content and antioxidant activity ($r = 0.87, p < 0.01$) was found. 5-10 clone

* Recibido: enero de 2016
Aceptado: marzo de 2016

de fenoles y la actividad antioxidante ($r=0.87$, $p<0.01$). El clon 5-10 y la variedad Fianna cultivada en Raíces presentaron las mejores características de calidad, por lo que fueron aptas para el consumo en fresco y para la producción de snacks.

Palabras clave: actividad antioxidante, azúcares reductores, calidad de tubérculo, fenoles.

Introducción

En México, la papa es el séptimo cultivo más importante por el valor de su producción, anualmente se produce entre 1.7 y 1.8 millones de toneladas, de las cuales la mayor parte (75%) se concentra en seis estados en el norte (Sonora, Sinaloa, Nuevo León) y centro del país (Veracruz, Estado de México, Puebla). El destino principal de la producción es el consumo en fresco (56%), 29% se destina a la industria y el restante 15% se utiliza como semilla para la siembra (CONPAPA, 2013). La producción de papa de los Valles Altos del Centro de México en la actualidad enfrenta varios problemas para su comercialización debido a su baja calidad, se destina principalmente al consumo en fresco ya que la mayor parte de la producción no cumple los parámetros solicitados por las industrias procesadoras (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013a).

Características como el color de la piel y pulpa, el tamaño, la forma y la profundidad de los ojos son importantes en la decisión de compra por parte del consumidor en el mercado en fresco. Además, otros parámetros como el contenido de materia seca, almidón y azúcares reductores son monitoreados debido a su importancia para el procesamiento (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013). El contenido de materia seca es la principal característica apreciada por la industria, ya que el rendimiento de los productos obtenidos (harina, puré, chips, papas a la francesa, almidón), la textura y la absorción de aceite dependen de este parámetro. Por otro lado, la industria de snacks (chips y papas a la francesa) requiere tubérculos con un contenido bajo de azúcares reductores, ya que un contenido elevado de estos compuestos produce una coloración oscura que trae consigo una distorsión del sabor (amargo), además de que contribuyen a la formación de acrilamida (Pedreschi, 2009).

Herrera y Scott (1993) reportan que en América Latina, existen muchos factores que afectan la producción, la calidad y el uso de los tubérculos de papa, siendo los más importantes los factores de estrés biótico y abiótico. Los factores climáticos tales como las sequías, heladas y

and variety Fianna cultivated in Raíces presented the best quality features, which were suitable for fresh consumption and for production of snacks.

Keywords: antioxidant activity, phenols, reducing sugars, tuber quality.

Introduction

In Mexico, the potato is the seventh most important for the value of crop production, annually it occurs between 1.7 and 1.8 million tons, of which most (75%) is concentrated in six states in the north (Sonora, Sinaloa, Nuevo Leon) and center of the country (Veracruz, State of Mexico, Puebla). The main destination of production is consumed fresh (56%), 29% goes to industry and the remaining 15% is used as seed for planting (CONPAPA, 2013). The potato production of the high valleys of Central Mexico currently faces several problems for marketing because of its low quality, is mainly intended for fresh consumption because most of the production does not meet the parameters requested by industries processing (Vazquez-Carrillo *et al.*, 2013a).

Features such as skin color and pulp, the size, shape and depth of the eyes are important in the decision to purchase by the consumer in the fresh market. In addition, other parameters such as dry matter content, starch and reducing sugars are monitored because of its importance for processing (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013). The dry matter content is the main characteristic appreciated by the industry, as the performance of the products obtained (flour, mashed potatoes, chips, french fries, starch), texture and oil absorption depend on this parameter. Furthermore, the snack industry (chips and french fries) requires tubers with a low content of reducing sugars, since a high content of these compounds produces a dark colouration that entails a distortion of taste (bitter) plus that contribute to the formation of acrylamide (Pedreschi, 2009).

Herrera and Scott (1993) report that in Latin America, there are many factors that affect the production, quality and use of potato tubers, the most important factors biotic and abiotic stresses. Climatic factors such as drought, frost and hail affecting foliage which consequently influences the yield and quality of tubers because the process of photosynthesis and starch synthesis is interrupted (Vazquez-Carrillo *et al.*,

granizadas afectan el follaje lo que consecuentemente influye en el rendimiento y la calidad de los tubérculos debido a que se interrumpe el proceso de fotosíntesis y la síntesis de almidón (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013a). Otro de los factores que afectan la calidad de los tubérculos en las zonas productoras del país y en especial en los valles altos del centro de México es la presencia de plagas y enfermedades, principalmente la punta morada de la papa y el tizón tardío. La punta morada de la papa genera un pardeamiento interno del tubérculo por lo que estos tubérculos son rechazados para el consumo en fresco y para la producción de chips (Munyaneza, 2012). Adicionalmente, el estrés que se genera en la planta induce a la acumulación de varios compuestos como un mecanismo de defensa, entre ellos los azúcares reductores y los compuestos fenólicos ambos indeseables para el consumo en fresco y la industria de snacks (Friedman, 1997; Rodríguez-Saona y Wrolstad, 1997).

Los fenoles son compuestos químicos producto del metabolismo secundario de las plantas, contribuyen a la astringencia, color, sabor y olor de los productos elaborados (Naczk y Shahidi, 2004). Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas, por lo que son demandados en la industria de alimentos y por los consumidores (Friedman, 1997). La presencia de compuestos fenólicos en forma libre, tales como el ácido clorogénico y ácido cafeico, se han reportado en papa y recientemente se ha demostrado su elevada actividad antioxidante (Reddivari *et al.*, 2007).

Por lo anterior el Programa Nacional de Papa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado genotipos adaptados a las condiciones agroclimáticas de los Valles Altos del Centro de México con alta producción agronómica (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2013) en las que es necesario evaluar su calidad.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la localidad y del genotipo en las características de calidad, contenido de azúcares reductores, fenoles y actividad antioxidante en tubérculos de seis genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.).

Materiales y métodos

Material vegetal. Se utilizaron seis genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.): una variedad comercial (Fianna) y cinco clones (Nau, 5-10, 8-29, 99-38 y 99-39), cuyas características principales se muestran en el Cuadro 1.

2013a). Another factor affecting the quality of the tubers in the producing areas of the country and especially in the high valleys of central Mexico is the presence of pests and diseases, mainly purple top and potato late blight. Purple top potato generates an internal breakdown of the tuber so these tubers are rejected for fresh consumption and for production of chips (Munyaneza, 2012). Additionally, stress generated on the ground induces the accumulation of various compounds as a defense mechanism, including reducing sugars and phenolic compounds both undesirable for fresh consumption and snack industry (Friedman, 1997; Rodríguez-Saona and Wrolstad, 1997).

The phenols are chemicals product of secondary metabolism of plants, contribute to the astringency, color, taste and smell of processed products (Naczk and Shahidi, 2004). These compounds have antioxidant, anti-inflammatory and anti-cancer properties, which are demanded in the food industry and consumers (Friedman, 1997). The presence of phenolic compounds in free form, such as chlorogenic acid and caffeic acid, have been reported in potato and has recently demonstrated its high antioxidant activity (Reddivari *et al.*, 2007).

Therefore the National Potato Program of the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) has developed genotypes adapted to the growing conditions of the high valleys of Central Mexico with high agricultural production (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2013) where it is necessary to evaluate its quality.

The objective of this research was to evaluate the effect of location and genotype in the characteristics of quality, content of reducing sugars, phenols and antioxidant activity in tubers of six genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L.).

Materials and methods

Vegetal material. Six genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L.) were used: a commercial variety (Fianna) and five clones (Nau, 5-10, 8-29, 99-38 and 99-39), whose main characteristics are shown in Table 1.

The six genotypes occurred in the spring-summer 2012 cycle in two locations in the State of Mexico Metepec and Raíces. Geographical and environmental characteristics of each location are shown in Table 2.

Cuadro 1. Características de los genotipos evaluados.
Table 1. Characteristics of genotypes evaluated.

Genotipo	Ciclo	Color de piel	Color de pulpa
Fianna	Intermedio-tardío	Amarillo	Amarillo
Nau	Precoz	Amarillo	Crema
5-10	Precoz	Rojo	Amarillo
8-29	Intermedio	Rojo	Crema
99-38	Intermedio-tardío	Amarillo	Crema
99-39	Tardío	Amarillo	Crema

Los seis genotipos se produjeron en el ciclo primavera-verano 2012 en dos localidades del Estado de México: Metepec y Raíces. Las características geográficas y medioambientales de cada localidad se muestran en el Cuadro 2.

In the town Raíces planting was held on May 15, 2012, the formula fertilization was 200-300-200 (N-P-K) kg ha⁻¹, additionally applied 50 kg ha⁻¹ of micronutrients and 1 t ha⁻¹ chicken manure; fungicides and insecticides applied

Cuadro 2. Características geográficas y medioambientales de dos localidades del Estado de México.
Table 2. Features aspects geographical and environmental of two locations in the State of Mexico.

Localidad	Ubicación geográfica	Altitud (m)	Temperatura (°C)		Precipitación (mm)	Textura de suelo	pH del suelo	Incidencia de punta morada de la papa
			Mínima	Máxima				
Metepec	19°15' LN 99°36' LO	2600	3.9	22.5	846	Franco-arenoso	5.6	Alta
Raíces	19°09' LN 99°48' LO	3500	3.9	12.2	1225	Franco-arcilloso	5.1	Baja

En la localidad de Raíces la siembra se realizó el 15 de mayo de 2012, la fórmula de fertilización fue 200-300-200 (N-P-K) kg ha⁻¹, adicionalmente se aplicaron 50 kg ha⁻¹ de micronutrientes y 1 t ha⁻¹ de gallinaza; se aplicaron fungicidas e insecticidas para el control de plagas y enfermedades, la fecha de aplicación de desecante al follaje fue el 21 de septiembre y cosecha se realizó el 03 de octubre de 2012. En Metepec se sembró el 11 de junio de 2012, la dosis de fertilización fue 200-200-200 (N-P-K) kg ha⁻¹, más 50 kg ha⁻¹ de micronutrientes y 1 t ha⁻¹ de gallinaza, también se aplicaron fungicidas e insecticidas para el control del tizón tardío y la fecha de aplicación de desecante al follaje fue el 13 de septiembre, mientras que la cosecha se realizó el 04 de octubre de 2012.

Una vez cosechados, los tubérculos fueron transportados a temperatura ambiente (25 °C) al Campo Experimental Valle de México del INIFAP para su análisis.

Calidad del tubérculo. Las determinaciones se hicieron en seis tubérculos de cada genotipo tomados al azar, se seleccionaron tubérculos uniformes en tamaño, forma, color, y libres de daños físicos y patógenos, fueron lavados e identificados.

to control pests and diseases, the date of application to the foliage desiccant was on 21 september and harvest took place on 03 october 2012. In Metepec seeded the june 11, 2012, the dose was 200-200-200 fertilization (NPK) kg ha⁻¹, plus 50 kg ha⁻¹ of micronutrients and 1 t ha⁻¹ of chicken manure, fungicides and insecticides were also applied to control late blight and the date of application foliage desiccant was on september 13, while the harvest took place on october 4, 2012.

Once harvested, the tubers were transported at room temperature (25 °C) Campo Experimental Valle thede Mexico the INIFAP for analysis.

Tuber quality. Determinations were made in six tubers of each genotype at random, tubers were selected uniform in size, shape, color, and free of pathogens and physical damage, were washed and identified.

In each of these tubers was evaluated the degree of internal staining caused by the disease of potato purple top (PMP). All tubers were cut in half to rate the degree of staining on a scale of 0 to 5, where 0 is a tuber without staining and 5 indicates an intensely stained tubercle (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2013).

En cada uno de estos tubérculos se evaluó el grado de manchado interno provocado por la enfermedad de la punta morada de la papa (PMP). Todos los tubérculos se cortaron a la mitad para calificar el grado de manchado en una escala de 0 a 5, donde 0 es un tubérculo sin manchado y 5 indica un tubérculo manchado intensamente (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2013).

El color de la pulpa se evaluó con el colorímetro Hunter Lab MiniScan XE Plus Modelo 45/0-L® (Reston, VA, USA) en escala CieLab, con iluminante D/65 y un ángulo de 10°. En el colorímetro Hunter Lab se obtuvieron los valores de luminosidad (L^*), a^* y b^* ; los valores de a^* y b^* sirvieron para determinar el ángulo de tono "hue" y la pureza de color "croma", variables que ubican el color del material en el plano dentro de las diferentes tonalidades del color rojo, amarillo, verde y azul (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013).

La susceptibilidad al pardeamiento enzimático (SPE) se evaluó de acuerdo a la metodología descrita por Vázquez-Carrillo *et al.* (2013), cada tubérculo se cortó transversalmente e inmediatamente se determinó el color usando un colorímetro Hunter Lab, Mini Scan XE Plus (Modelo 45/0-L, USA) tomando en cuenta solo el valor de L^* . La operación se repitió 30 minutos después de realizado el corte. La susceptibilidad al pardeamiento enzimático se tomó como la diferencia entre ambas lecturas ($\Delta L^* = L^*_{0min} - L^*_{30min}$), entre mayor es el valor de ΔL^* mayor es la susceptibilidad al pardeamiento enzimático.

La gravedad específica se determinó mediante el método de las soluciones salinas de densidad conocida descrito por Gould (1999). Se prepararon soluciones de NaCl en agua destilada con una gravedad específica desde 1.040 hasta 1.140, los tubérculos fueron puestos en cada solución y movidos de una solución a otra hasta encontrar la solución en la cual el tubérculo flotaba, la gravedad específica de la solución se tomó como la misma del tubérculo. El porcentaje de materia seca, se determinó por diferencia entre el contenido de humedad (método 920.151 de la AOAC (2000) y el de sólidos totales.

Componentes químicos. El contenido de almidón total se determinó utilizando el kit de Megazyme® (Megazyme Internacional Ireland, Ltd. Wicklow, Irlanda) basado en el método 76-13.01 de la AACC (AACC International 2000). La extracción y cuantificación de azúcares reductores (glucosa y fructosa) y sacarosa se realizó por el método enzimático descrito por Castañeda-Saucedo *et al.* (2012). Los azúcares solubles se extrajeron del tubérculo mediante incubación por 10 min con etanol (80% v/v). Los extractos se evaporaron a 50 °C, se re-suspendieron en agua destilada y se

The color of the pulp was evaluated with Hunter Lab colorimeter MiniScan XE Plus Model 45/0-L® (Reston, VA, USA) in CieLab scale with illuminant D/65 and an angle of 10°. In Hunter Lab colorimeter lightness values (L^*), a^* and b^* ; were obtained; the values of a^* and b^* were used to determine the angle of pitch "hue" and the color purity "chroma" variables that locate the color of the material in the plane in different shades of red, yellow, green and blue (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2013).

Susceptibility to enzymatic browning (SPE) was evaluated according to the methodology described by Vazquez-Carrillo *et al.* (2013), each tuber was transected and immediately determined the color using a colorimeter Hunter Lab Scan Mini XE Plus (Model 45/0-L, USA) taking into account only the value of L^* . The operation was repeated 30 minutes after completing the cut. The susceptibility to enzymatic browning was taken as the difference between the two readings ($\Delta L^* = L^*_{0min} - L^*_{30min}$), the higher is the value of ΔL^* greater susceptibility to enzymatic browning.

The specific gravity was determined by the method of saline solutions of known density described by Gould (1999). The NaCl solutions in distilled water with a specific gravity were prepared from 1040-1140, tubers were put in each solution and moved from one solution to another to find the solution in which the tuber floated, the specific gravity of the solution was taken as the same tuber. The solids content was determined by difference between the moisture content (AOAC method of 920.151 (2000) and the total solids.

Chemical components. The total starch content was determined using the kit Megazyme® (Megazyme Internacional Ireland, Ltd. Wicklow, Ireland) based method 76-13.01 of the AACC (AACC International 2000). Extraction and quantification of reducing sugars (glucose and fructose) and sucrose was carried by the enzymatic method described by Castañeda-Saucedo *et al.* (2012). Soluble sugars were extracted by incubation for tuber 10 min ethanol (80% v/v). The extracts were evaporated at 50 °C, resuspended in distilled water and stored at -20 °C until analysis. Glucose, fructose and sucrose were quantitated after sequential addition of hexokinase (EC 2.7.1.1), phosphoglucose isomerase (EC 5.3.1.9) and invertase (EC 3.2.1.26). Readings were taken in a microplate reader Multiskan (Ascent®, Thermo Electron Co., Finland) at 340 nm against standard curves of glucose, fructose and sucrose.

almacenaron a -20°C hasta su análisis. La glucosa, fructosa y sacarosa fueron cuantificadas después de la adición secuencial de la hexoquinasa (EC 2.7.1.1), fosfoglucoisomerasa (EC 5.3.1.9) y la invertasa (EC 3.2.1.26). Las lecturas se realizaron en un lector de microplacas Multiskan (Ascent[®], Thermo Electrón Co., Finland) a 340 nm, frente a curvas patrón de glucosa, fructosa y sacarosa.

Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos. Se tomó 1 g de harina seca y se colocó en un matraz Erlenmeyer al que se añadieron 30 mL de metanol grado HPLC 80% (v/v). La mezcla se sonicó por 10 min (Bath sonicador, Branson model 2510[®]; Danbury, USA), previo a su agitación por 90 min en un agitador horizontal model G10[®] (New Jersey, USA) a temperatura ambiente y en oscuridad. Cada muestra se centrifugó a 3 500 rpm por 15 min en una centrifuga Hettich zentrifugen[®] Mod. Universal 32 (Germany). El sobrenadante se guardó y el residuo se sometió a una segunda extracción con la metodología descrita. Los sobrenadantes se juntaron y se filtraron con papel Whatman Núm. 4, para luego concentrarlos a sequedad en un rotavapor Buchi[®] Mod R-215 (Switzerland), a 42°C . Las muestras fueron re-suspendidas en 5 mL de metanol al 80% (v/v) y luego se almacenan en viales color ámbar bajo condiciones de congelación hasta su posterior análisis.

La cuantificación se hizo a partir del extracto metanólico obtenido como se describió anteriormente, mediante el método de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). A 100 μL del extracto se añadieron 125 μL del reactivo Folin-Ciocalteu 1N (dilución 1:2 del reactivo comercial 2N), y se agitó y dejó reaccionar por 6 min, para luego neutralizar la reacción con la adición de 1250 μL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) a 19% (p/v); luego se aforó a 3 mL con agua destilada, se agitó y se dejó reposar a temperatura de cuarto en oscuridad por 90 min. Las muestras se centrifugaron a 14 000 rpm por 10 min para eliminar la turbidez. La absorbancia se midió con un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25[®] UV/Vis (USA) a 760 nm. Se elaboró una curva patrón de ácido clorogénico para expresar el contenido de fenoles totales en función de este ácido.

Actividad antioxidante. La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos presentes en las muestras de papa se determinó utilizando una solución 60 μM de DPPH disuelto en metanol a 80%, con el método reportado por Brand-Williams *et al.* (1995) que utiliza el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) (Sigma Aldrich Co).

Extraction and quantification of phenolic compounds. The 1 g of dry flour was taken and was placed in an Erlenmeyer flask to which was added 30 mL of grade methanol HPLC 80% (v/v). The mixture was sonicated for 10 min (Bath sonicator, Branson model 2510[®]; Danbury, USA), prior to stirring for 90 min on a horizontal shaker model G10[®] (New Jersey, USA) at room temperature in the dark. Each sample was centrifuged at 3 500 rpm for 15 min in a Hettich centrifuge zentrifugen[®] Mod. Universal 32 (Germany). The supernatant was saved and the residue was subjected to a second extraction with the methodology described. Supernatants were combined and filtered with Whatman no. 4, then concentrate to dryness on a rotary evaporator Buchi[®] Mod R-215 (Switzerland), at 42°C . Samples were re-suspended in 5 mL of methanol 80% (v/v) and then stored in amber vials under conditions colored frozen until further analysis.

The quantification was made from the methanolic extract obtained as described above, by the Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). A 100 μL of extract 125 μL of Folin-Ciocalteu reagent 1N (1:2 dilution of the commercial reagent 2N) was added and stirred and reacted for 6 min, then neutralize the reaction with the addition of 1 250 μL of carbonate sodium (Na_2CO_3) to 19% (p/v); then he gauged to 3 mL with distilled water, stirred and allowed to stand at room temperature in the dark for 90 min. The samples were centrifuged at 14 000 rpm for 10 min to remove turbidity. Absorbance was measured with Perkin Elmer Lambda one 25[®] UV/Vis (USA) 760 nm. The chlorogenic acid a standard curve was developed to express the content of total phenols in function of this acid.

Antioxidant activity. The antioxidant capacity of the phenolic compounds present in the potato samples was determined using 60 μM of DPPH dissolved in methanol solution at 80%, with the method reported by Brand-Williams *et al.* (1995) using the radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma Aldrich Co).

Statistical analysis. The results were analyzed under an asymmetric 6 x 2 factorial design with an allocation scheme completely randomized with two repetitions. The first factor was the genotype (Fianna, Nau, 5-10, 8-29, 99-39 and 99-39) and the second factor was the location (Metepc and Raíces). To determine differences between treatments for multiple comparisons of treatment means were performed

Análisis estadístico. Los resultados fueron analizados bajo un diseño factorial asimétrico 6 x 2 con un esquema de asignación completamente al azar con dos repeticiones. El primer factor fue el genotipo (Fianna, Nau, 5-10, 8-29, 99-39 y 99-39) y el segundo factor fue la localidad (Metepéc y Raíces). Para determinar diferencias entre los tratamientos se realizaron comparaciones múltiples de medias de tratamientos utilizando la prueba de Tukey. El análisis de resultados se realizó con ayuda del paquete estadístico SAS para Windows, versión 9.0 (SAS, 2002).

Resultados y discusión

Se encontraron efectos significativos ($p < 0.01$) de la interacción G x L en todas las variables evaluadas (Cuadro 3), diferencias que se deben a las condiciones agroclimáticas (temperatura, fertilización, altitud) de las dos localidades y a la variabilidad genética entre los seis genotipos.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística para las características fisicoquímicas de genotipos de papa producidos en dos localidades.

Table 3. Mean squares and statistical significance for the physicochemical characteristics of potato genotypes produced at two locations.

Variables respuesta	G	L	G x L	Error	R ²	CV (%)
Índice de manchado	0.55**	10.4**	0.55**	0.03	0.98	26.3
Luminosidad (L*)	7.82**	19.26**	5.68**	0.03	0.99	0.22
Hue	4.2**	21.36**	1.94**	0.23	0.95	0.55
Croma	126.55**	18.39**	5.61**	0.34	0.99	1.91
SPE (ΔL^*)	0.42**	2.71**	0.73**	0.03	0.96	15.4
Gravedad específica	0.01	0.01**	0.01**	0.01	0.92	0.41
Humedad	1.19*	70.73**	9.61**	0.35	0.97	0.75
Materia seca	1.19*	71.07**	9.49**	0.36	0.97	2.96
Almidón	109.23**	40.72**	146.41**	4.21	0.96	2.64
Azúcares reductores	0.05**	0.01**	0.12**	0.01	0.99	2.92
Azúcares totales	0.07**	0.02**	0.21**	0.01	0.99	3.37
Fenoles	2181.84**	79496.11**	12739.46**	66.22	0.99	3.18
Actividad antioxidante	68.97**	1257.44**	110.04**	2.89	0.98	6.04

G=genotipo; L=localidad; CV=coeficiente de variación; $\Delta L^* = L^*_{0min} - L^*_{30min}$; SPE=susceptibilidad al pardeamiento enzimático. *Significativo a $p < 0.05$, **Significativo a $p < 0.01$.

Calidad del tubérculo

La interacción G x L tuvo efectos significativos ($p < 0.01$) en las variables índice de manchado, gravedad específica, contenido de humedad, materia seca y almidón, lo que significa que ambos factores influyeron en las variables. Los resultados se pueden observar en el Cuadro 4.

using Tukey's test. The analysis of results was performed using the SAS statistical package for Windows, version 9.0 (SAS, 2002).

Results and discussion

The significant effects ($p < 0.01$) were found in the interaction G x L in all variables evaluated (Table 3), differences due to agro-climatic conditions (temperature, fertilization, altitude) of the two locations and the genetic variability among the six genotypes.

Tuber quality

The interaction G x L had significant effects ($p < 0.01$) in the variables staining index, specific gravity, moisture content, dry matter and starch, which means that both factors influenced the variables. The results are shown in Table 4.

Regarding the resistance against internal staining of the tubers caused by the disease purple top potato, it was observed that in the town with the lowest altitude (Metepéc) rates higher spotted were taken, while the higher and lower temperatures (Table 1) (Raíces) any tuber presented stained internal (Table 4) location. According to Rubio-Covarrubias *et al.* (2011) the population of the insect vector

Cuadro 4. Características fisicoquímicas de seis genotipos de papa cultivados en dos localidades.
Table 4. Physical and chemical characteristics of six genotypes of potatoes grown in two locations.

Variable	Nau		Fianna		5-10		8-29		99-38		99-39	
	Metepec	Raíces	Metepec	Raíces	Metepec	Raíces	Metepec	Raíces	Metepec	Raíces	Metepec	Raíces
Índice de manchado	0.6	0.0	2.4	0.0	0.6	0.0	1.0	0.0	1.3	0.0	2.0	0.0
Luminosidad (L*)	78.7	80.4	72.6	78.5	78.3	78.9	76.4	78.8	78.3	79.6	78.9	77.7
Hue	88.73	90.12	85.18	89.68	87.61	89.31	88.72	90.5	88.73	90.38	90.17	90.47
Croma)	27.34	25.76	24.6	29.9	36.41	37.06	36.33	37.32	31.26	34.64	22.74	24.51
SPE (ΔL^*)	1.69	0.92	1.84	0.11	0.68	0.48	1.57	0.4	1.91	1.61	1.32	0.46
Gravedad específica	1.065	1.082	1.06	1.095	1.075	1.082	1.075	1.077	1.072	1.092	1.062	1.082
Humedad (%)	81.1	78.2	83	75.2	79.5	79.2	80.3	80.1	81.5	77.2	83.3	77.7
Materia seca (g/100g)	18.9	21.8	17	24.8	20.5	20.8	19.7	19.9	18.5	22.8	16.7	22.3
Almidón (g/100g)	14.4	15.5	13	19.8	16.5	17.6	15	16.9	12.9	18.7	13	17
Azúcares reductores (g/100g fw)	0.04	0.13	0.59	0.02	0.22	0.02	0.09	0.32	0.26	0.05	0.17	0.58
Azúcares totales (g/100g fw)	0.2	0.32	0.95	0.27	0.63	0.19	0.21	0.51	0.44	0.2	0.24	0.77
Fenoles (mg/100 g fw)	371.3	139.3	387.3	162.8	305.6	114.1	283.5	247.2	255.3	274.5	277	251.3

$\Delta L^* = L^*_{0min} - L^*_{30min}$; SPE= susceptibilidad al pardeamiento enzimático.

En relación con la resistencia contra el manchado interno de los tubérculos provocado por la enfermedad de la punta morada de la papa, se observó que en la localidad con la menor altitud (Metepec) se tuvieron los índices de manchado más altos, mientras que en la localidad más alta y con las temperaturas más bajas (Cuadro 1) (Raíces) ningún tubérculo presentó manchado interno (Cuadro 4). De acuerdo con Rubio-Covarrubias *et al.* (2011) la población del insecto vector *Bactericera cockerelli* y los síntomas de la punta morada de la papa disminuyen con la altura, ellos encontraron que a alturas superiores a 3 200 snm no se presentaron problemas significativos de esta enfermedad lo que se debe a que a estas alturas las temperaturas bajas no permiten el desarrollo de este insecto o hacen que la población sea baja. Los clones que presentaron el menor índice de manchado en Metepec fueron Nau y 5-10, comportamiento que previamente fue informado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2013) y Rubio-Covarrubias *et al.* (2013) y que confirma su tolerancia al manchado interno de los tubérculos provocado por la punta morada de la papa; en contraste la variedad Fianna mostró la mayor susceptibilidad a esta enfermedad tal y como ha sido reportado por otros autores (Rubio-Covarrubias *et al.* 2013). El manchado interno de los tubérculos es un parámetro importante para la industria de snacks debido a que al freír, estos síntomas se vuelven más

Bactericera cockerelli and symptoms of purple top potato decrease with height, they found that more than heights 3 200 snm no significant problems arose from this disease which is due to a by now the low temperatures do not allow the development of this insect or cause the population is low. The clones that showed the lowest rate of Metepec were spotted in Nau and 5-10, behavior that previously was reported by Vázquez-Carrillo *et al.* (2013) and Rubio-Covarrubias *et al.* (2013) and confirm your tolerance to internal staining of tubers caused by purple top potato; in contrast the variety Fianna showed increased susceptibility to this disease as has been reported by other authors (Rubio-Covarrubias *et al.* 2013). The internal staining of the tubers is an important industry snacks parameter due to frying, these symptoms become more pronounced and chips or french fries infected tubers show blemishes and very dark stripes, which makes them commercially unacceptable (Munyanza, 2012). In that sense, all genotypes grown in Raíces are of acceptable quality, either for the production of chips or french fries or domestic process.

As for the color of the pulp, most genotypes except clone 99-39, had a brighter pulp when they were grown in Raíces than those grown in Metepec (Table 4). The Nau clone grown in Raíces showed the highest brightness values (80.4),

pronunciados y los chips o papas a la francesa de tubérculos infectados muestran manchas y rayas muy oscuras, lo que los hace comercialmente inaceptables (Munyanza, 2012). En ese sentido, todos los genotipos cultivados en Raíces son de calidad aceptable, ya sea para la producción de chips o papas a la francesa o para el proceso doméstico.

En cuanto al color de la pulpa, la mayoría de los genotipos, excepto el clon 99-39, tuvieron una pulpa más luminosa cuando fueron cultivados en Raíces que los cultivados en Metepec (Cuadro 4). El clon Nau cultivado en Raíces presentó los mayores valores de luminosidad (80.4), mientras que la variedad Fianna cultivada en Metepec presentó el color de pulpa menos claro ($L^* = 72.6$). Lo anterior está relacionado con el manchado interno de los tubérculos provocado por la punta morada de la papa el cual fue más acentuado en la variedad Fianna que en el clon Nau como se comentó anteriormente (Cuadro 4). Los valores de hue entre 85 y 91, y los de croma entre 22 y 38 indican que el color de los tubérculos se encuentra en el tono amarillo claro, lo que corresponde a la descripción visual de los mismos (Cuadro 1).

Otro de los factores que afecta la calidad de los tubérculos principalmente para consumo en fresco es el oscurecimiento enzimático. El oscurecimiento o pardeamiento enzimático se produce en la superficie del tejido de los tubérculos cuando estos son mondados o cortados y expuestos al oxígeno del aire (Stark y Love, 2003). Los resultados de la evaluación de la susceptibilidad al pardeamiento enzimático mediante la diferencia en luminosidad mostraron diferencias significativas por efecto de la interacción G x L (Cuadro 4). Los tubérculos de los genotipos cultivados en Metepec presentaron una mayor disminución de la luminosidad en pulpa que los cultivados en Raíces, lo que significa que estos tubérculos tuvieron un mayor oscurecimiento al ser expuestos durante 30 min al oxígeno del aire (Cuadro 4). En Metepec el clon 5-10 fue el menos susceptible al oscurecimiento, al presentar la menor disminución de la luminosidad, mientras que en Raíces fue la variedad Fianna (Cuadro 4).

Vázquez-Carrillo *et al.* (2013) también encontraron que el clon 5-10 fue el menos susceptible al oscurecimiento enzimático entre 39 genotipos evaluados en la localidad de Raíces en el ciclo primavera verano 2009. El clon 99-38 cultivado en ambas localidades fue altamente susceptible al oscurecimiento lo que se observa con una mayor disminución de la luminosidad en pulpa. Los compuestos fenólicos están asociados con el color de las papas crudas y son responsables en parte de la coloración de los productos

while the Fianna variety grown in Metepec introduced less clear flesh color ($L^* = 72.6$). This is related to the internal staining of the tubers caused by purple top potato which was more pronounced in the Fianna variety in clone Nau as previously noted (Table 4). The hue values between 85 and 91, and chroma between 22 and 38 indicate that tuber color is in the light yellow tone, which corresponds to the visual description of them (Table 1).

Another factor affecting the quality of tubers mainly for fresh consumption is the enzymatic browning. Darkening or enzymatic browning occurs on the fabric surface of the tubers are peeled or when these cut and exposed to atmospheric oxygen (Stark and Love, 2003). The results of the evaluation of susceptibility to enzymatic browning by the difference in brightness showed significant differences due to the interaction G x L (Table 4). The tubers grown in Metepec genotypes showed a greater decrease in pulp brightness that grown in Raíces, which means that these tubers had a greater darkening when exposed for 30 min to oxygen in the air (Table 4). In Metepec clone 10.05 was the least susceptible to darkening, introducing the smallest decrease brightness, while Raíces was the variety Fianna (Table 4).

Vázquez-Carrillo *et al.* (2013) also found that the clone 10.05 was the least susceptible to enzymatic browning between 39 genotypes in the town of Roots in the spring-summer cycle 2009. The 99-38 clone grown in both locations was highly susceptible to darkening what is observed with a greater decrease in pulp brightness. The phenolic compounds are associated with the color of raw potatoes and are partly responsible for the coloration of processed products produced. When tubers are cut phenols quickly become melanins due to oxidation of these compounds by the enzyme phenolase causing enzymatic browning (Álvarez and Canet, 2009). Phenolic compounds are closely related to the defense of plants to pests and diseases, therefore a significant correlation between staining index, caused by the disease purple top potato, and susceptibility was observed enzymatic browning ($r = 0.65, p < 0.01$) between the staining index and total phenol content ($r = 0.61, p < 0.01$), and between susceptibility to enzymatic browning and phenolic compounds ($r = 0.63, p < 0.01$) (Figure 1).

The genotypes locally grown in Raíces showed higher values of specific gravity (> 1.077), and dry matter ($> 19.9\%$) and starch ($> 15.5\%$) compared with genotypes grown in Metepec (Table 4). It was noted that among all genotypes, the Fianna variety grown in Raíces showed the highest

procesados elaborados. Cuando los tubérculos son cortados los fenoles se convierten rápidamente en melaninas debido a la oxidación de estos compuestos por la enzima fenolasa provocando el oscurecimiento enzimático (Álvarez y Canet, 2009). Los compuestos fenólicos están estrechamente relacionados con la defensa de las plantas a las plagas y enfermedades, por esta razón se observó una correlación significativa entre el índice de manchado, provocado por la enfermedad de la punta morada de la papa, y la susceptibilidad al oscurecimiento enzimático ($r=0.65, p<0.01$), entre el índice de manchado y el contenido de fenoles totales ($r=0.61, p<0.01$), y entre la susceptibilidad al oscurecimiento enzimático y los compuestos fenólicos ($r=0.63, p<0.01$) (Figura 1).

Los genotipos cultivados en la localidad de Raíces presentaron valores más altos de gravedad específica (>1.077), así como de materia seca ($>19.9\%$) y almidón ($>15.5\%$), en comparación con los genotipos cultivados en Metepec (Cuadro 4). Se observó que, entre todos los genotipos, la variedad Fianna cultivada en Raíces mostró los mayores valores de gravedad específica, materia seca y almidón, mientras que la misma variedad cultivada en Metepec presentó los valores más bajos para las mismas variables. Varios factores influyen en la acumulación de almidón y materia seca en los tubérculos entre ellos el clima, la lluvia, el riego y humedad del suelo, tipo de suelo, fecha de siembra y cosecha, el tipo y la cantidad de fertilizantes utilizados, y el control de plagas y enfermedades.

En este experimento las diferencias en el contenido de almidón, materia seca y la gravedad específica se deben principalmente a la temperatura, la precipitación, la fecha de siembra y la cantidad de fósforo utilizada en la fertilización. Álvarez y Canet (2009) afirman que a bajas temperaturas, como las que se presentaron en Raíces, la tasa de respiración es menor que la tasa de fotosíntesis, lo que resulta en una mayor acumulación de carbohidratos en los tubérculos y un aumento de la gravedad específica. Los mismos autores afirman que un mayor contenido de humedad en el suelo así como la siembra temprana influyen en una mayor acumulación de materia seca, en la localidad de Raíces se sembró un mes antes y se presentó una mayor precipitación y contenido de humedad en el suelo que en Metepec (Cuadro 2).

El cuarto factor que explica estas diferencias es el suministro de fósforo durante la fertilización, en Raíces el suelo tiene una alta capacidad de fijación de fósforo y la dosis de fertilización aplicada tuvo una mayor proporción de fósforo. De acuerdo con Stark y Love (2003) el fósforo

values of specific gravity, dry matter and starch, while the same variety grown in Metepec presented the lowest values for the same variables. Several factors influence the accumulation of starch and dry matter in tubers including weather, rain, irrigation and soil moisture, soil type, planting date and harvesting, the type and amount of fertilizer used, and control of pests and diseases.

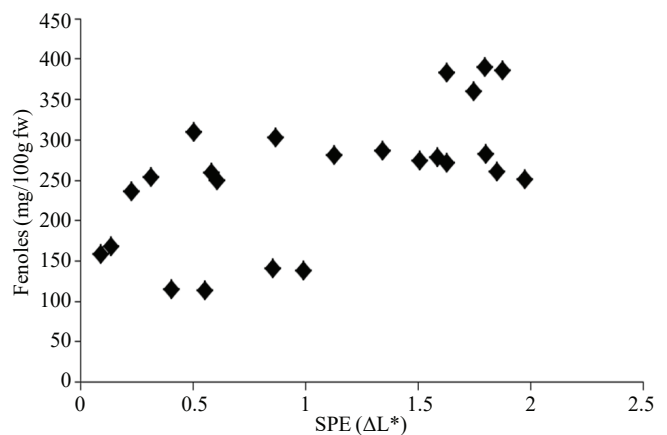


Figura 1. Relación entre la susceptibilidad de los tubérculos al oscurecimiento enzimático y el contenido de fenoles.
Figure 1. Relationship between susceptibility of tubers to enzymatic browning and content of phenols.

In this experiment the differences in starch content, dry matter and specific gravity are mainly due to the temperature, precipitation, planting date and the amount of phosphorus used in fertilization. Álvarez and Canet (2009) state that at low temperatures, such as those presented in Raíces, the respiration rate is lower than the rate of photosynthesis, resulting in a greater accumulation of carbohydrates in tubers and increased severity specific. The same authors claim that a higher moisture content in the soil and early planting influence greater dry matter accumulation in the town of Raíces a month before seeded and presented greater precipitation and moisture content in the soil in Metepec (Table 2).

The fourth factor explaining these differences is the supply of phosphorus during fertilization, in Raíces the soil has a high binding capacity and phosphorus fertilizer applied dose had a higher proportion of phosphorus. According to Stark and Love (2003) phosphorus (P) tends to increase starch synthesis, promotes the rapid formation of tubers and root growth, improves the resistance to low temperatures, increases the efficiency of use of water, contributes to disease resistance and hastens maturity, so deficient plants produced tubers phosphorus with lower specific gravity compared to those with proper nutrition phosphorus.

(P) tiende a aumentar la síntesis de almidón, promueve la rápida formación de tubérculos y crecimiento de las raíces, mejora la resistencia a las bajas temperaturas, incrementa la eficiencia del uso de agua, contribuye a la resistencia a enfermedades y acelera la madurez, por lo que las plantas con deficiencia de fósforo producen tubérculos con una gravedad específica más baja en comparación con aquellos con la nutrición de fósforo adecuada.

Stark y Love (2003) afirman que para la mayoría de los productos (chips, papas a la francesa, almidón) que se elaboran a partir de papa, los procesadores requieren tubérculos con un contenido de almidón de 13% o superior, un contenido de sólidos o materia seca de 20% o superior, y una gravedad específica de 1.08 o superior por lo que la variedad Fianna y los clones Nau, 5-10, 99-38 y 99-39 cultivados en la localidad de Raíces son aptas para el procesamiento.

La gravedad específica mostró una correlación positiva con el contenido de materia seca ($r=0.92, p<0.01$) y el almidón ($r=0.87, p<0.01$) esto se debe a que la gravedad específica se ve influenciada por la cantidad de compuestos sólidos presentes, entre ellos la cantidad de almidón; correlaciones similares fueron reportadas por Vázquez-Carrillo *et al.* (2013) para clones de papa desarrollados para los Valles Altos de México.

Azúcares reductores

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en el contenido de azúcares reductores entre los genotipos y las localidades, así como por efecto de la interacción G x L (Cuadro 3). Los azúcares reductores son componentes con gran influencia sobre la calidad de los productos procesados de papa. El contenido de estos azúcares puede variar entre 0.04 y 1% del peso fresco del tubérculo (Hasbún *et al.*, 2009). En el Cuadro 4 se observa que los clones Nau, 8-29 y 99-39 presentaron mayor contenido de azúcares reductores cuando fueron cultivados en Raíces, mientras que la variedad Fianna y los clones 5-10 y 99-38 presentaron valores altos de azúcares reductores al ser cultivados en Metepec. Los genotipos con menor cantidad de azúcares reductores fueron Fianna (0.04 % fw), y el clon 5-10 (0.04% fw), ambos cultivados en Raíces. El contenido de azúcares totales presentó el mismo comportamiento que el de azúcares reductores.

Esta notable variación en el contenido de azúcares reductores de los tubérculos se debe principalmente a las diferencias de carácter varietal (ciclo de vida, requerimientos nutricionales, de humedad, etc.) y en segundo lugar a las condiciones de

Stark and Love (2003) state that for most products (chips, french fries, starch) which are made from potato processors require tubers with a starch content of 13% or higher content solid or dry matter of 20% or higher, and a specific gravity of 1.08 or higher so the variety Fianna and Nau, 5-10, 99-38 and 99-39 clones locally grown in Raíces are suitable for prosecution.

The specific gravity showed a positive correlation with the dry matter content ($r=0.92, p<0.01$) and starch ($r=0.87, p<0.01$) this is because the specific gravity is influenced by the amount of compounds solids present, including the amount of starch; Similar correlations were reported by Vázquez-Carrillo *et al.* (2013) for potato clones developed for the high valleys of Mexico.

Reducing sugars

The statistical analysis showed significant differences in reducing sugar content between genotypes and locations, as well as the effect of the interaction G x L (Table 3). Reducing sugars are components with great influence on the quality of processed potato products. The content of these sugars can vary between 0.04 and 1% of the fresh weight of the tuber (Hasbun *et al.*, 2009). In the Table 4 shows that Nau, 8-29 and 99-39 clones had a higher content of reducing sugars when they were grown in Raíces, while the variety Fianna and clones 5-10 and 99-38 showed high levels of sugars reducing being grown in Metepec. Genotypes with lower amount of reducing sugars were Fianna (0.04 % fw), and the clone 5-10 (0.04% fw), both grown in Raíces. The content of total sugars presented the same behavior as the reducing sugars.

This remarkable variation in the content of reducing sugars in the tubers is largely due to differences in varietal character (life cycle, nutritional requirements, moisture, etc.) and secondly to the temperature conditions of the localities. In Raíces it expected that the reducing sugar content was higher, because it has been shown that the conditions of high and low temperature causes a plant stress induces the accumulation of soluble sugars in the tuber (Yuanyuan *et al.*, 2009); however, in this study it is shown that the variety Fianna 5-10 and 99-38 and clones are tolerant to cold stress. Potatoes intended for the production of chips must have a reducing sugar content less than 0.035% of the fresh weight of the tuber, while the tubers for processing as french fries must be less than 0.12% (Stark and Love, 2003), those tubers higher than these values usually create problems in coloring

temperatura de las localidades. Se esperaba que en Raíces el contenido de azúcares reductores fuera más alto, debido a que se ha demostrado que las condiciones de altura y temperatura baja provocan un estrés en la planta que induce la acumulación de azúcares solubles en el tubérculo (Yuanyuan *et al.*, 2009); sin embargo, en este estudio queda demostrado que la variedad Fianna y los clones 5-10 y 99-38 son tolerantes al estrés por frío. Las papas destinadas a la producción de chips deben tener un contenido de azúcares reductores menor a 0.035% del peso fresco del tubérculo, mientras que los tubérculos destinados a la transformación como papas a la francesa deben tener menos de 0.12% (Stark y Love, 2003), aquellos tubérculos con valores más altos que éstos por lo general generan problemas en la coloración y producción de acrilamida en los productos procesados. En base a lo anterior, los genotipos Fianna y 5-10 cultivados en Raíces son aptos para su procesamiento como chips, adicionalmente los clones Nau y 8-29 cultivados en Metepec y el clon 99-38 cultivado en Raíces pueden ser utilizados en la industria de papas a la francesa.

Fenoles y actividad antioxidante

El contenido de compuestos fenólicos totales mostró diferencias significativas entre genotipos, localidades y por efecto de la interacción G x L (Cuadro 3). El contenido de fenoles totales varió entre 114.1 y 387.3 mg/100 g de peso fresco del tubérculo. En general, los genotipos cultivados en Metepec presentaron mayor contenido de fenoles que los cultivados en Raíces, siendo la variedad Fianna cultivada en Metepec la de mayor contenido (387.3 mg/100 g fw) y el clon 5-10 el de menor (114.1 mg/100 g fw). Cabe resaltar, que la variedad Fianna cultivada en la localidad de Metepec también presentó el mayor índice de manchado interno provocado por la enfermedad de la punta morada de la papa con lo que se comprueba que la producción de fenoles es un mecanismo de defensa de las plantas contra esta enfermedad, como lo sugieren Navarre *et al.* (2009).

En la Figura 2 se muestra la actividad antioxidante de los tubérculos de papa cruda, dicha actividad varió entre 15.08% a 36.47%.

Varios compuestos presentes en la papa tienen actividad antioxidante, entre ellos los carotenoides y los compuestos fenólicos, por esta razón la capacidad de inhibición del radical DPPH fue mayor en los tubérculos de genotipos cultivados en Metepec ya que estos presentaron mayor contenido de compuestos fenólicos debido a la incidencia de la enfermedad de la punta morada de la papa. Lewis *et al.*

and production of acrylamide in processed products. Based on the above, the Fianna and 5-10 genotypes grown in Raíces are suitable for processing into chips, and further the Nau clones grown in Metepec 8-29 and 99-38 clone grown in Raíces can be used in industry of french fries.

Phenols and antioxidant activity

The content of total phenolic compounds showed significant differences between genotypes, locations and the effect of the interaction G x L (Table 3). The total phenolic content varied between 114.1 and 387.3 mg/100 g fresh weight of the tuber. In general, the genotypes grown in Metepec had higher phenol content than those grown in Raíces, being Fianna variety cultivated Metepec in the largest content (387.3 mg/100 g fw) and the lower clone 5-10 (114.1 mg/100 g fw). Significantly, the Fianna variety grown in the town of Metepec also had the highest rate of internal staining caused by disease purple top potato with what is found that the production of phenols is a defense mechanism of plants against this disease, as suggested Navarre *et al.* (2009).

In the Figure 2 the antioxidant activity of raw potato tubers shown, that activity ranged from 15.08% to 36.47%.

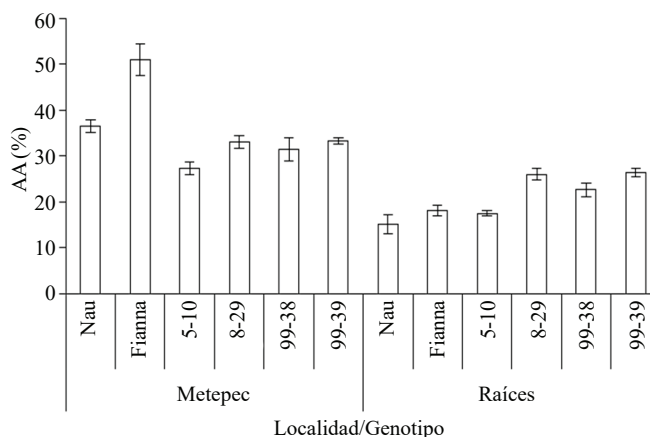


Figura 2. Capacidad de inhibición del radical DPPH de tubérculos de papa frescos de seis genotipos cultivados en dos localidades del Estado de México.

Figure 2. Ability DPPH radical inhibition of fresh potato tubers six genotypes grown in two locations in the State of Mexico.

Several compounds in potato have antioxidant activity, including the carotenoids and phenolic compounds, for this reason the capacity of inhibition of DPPH radical was higher in tubers genotypes grown in Metepec since these showed higher phenolic content because of the incidence of the disease purple top of potatoes. Lewis *et*

(1998) encontraron que en tubérculos de papa enfermos por efecto del tizón tardío se incrementó de manera significativa la concentración de flavonoides y ácidos fenólicos tanto en piel como en pulpa debido a que se sabe que las enfermedades estimulan la ruta de los fenilpropanoides produciendo un incremento de estos metabolitos. Entre los tubérculos cultivados en Raíces la menor capacidad de inhibición del radical DPPH la mostró el clon Nau lo cual se debe a su color de piel amarillo y de pulpa crema, lo que significa que tiene un bajo contenido de carotenoides, compuestos que influyen en la actividad antioxidante. La capacidad de inhibición del radical DPPH mostró una correlación positiva con el contenido de fenoles ($r=0.87$, $p<0.01$) (Figura 3), lo que confirma la participación de estos compuestos en la actividad antioxidante como lo afirman Reddivari *et al.* (2007).

Conclusiones

Todas las variables fisicoquímicas fueron afectadas por la interacción genotipo x localidad, las diferencias se debieron principalmente por efecto de la altitud, la temperatura, la fertilización y la presencia de la enfermedad de la punta morada. Los genotipos cultivados en la localidad de Raíces presentaron mayor peso específico, alto contenido de materia seca y almidón, tuvieron una pulpa más clara y fueron menos susceptibles al oscurecimiento enzimático, que los genotipos cultivados en Metepec. Por la calidad del tubérculo, la localidad de Raíces presenta ventajas para el cultivo de genotipos destinados al mercado en fresco. La variedad Fianna y el clon 5-10 cultivados en Raíces presentaron las mejores características fisicoquímicas y el menor contenido de azúcares reductores por lo que son aptas para la producción de snacks. La mayor concentración de compuestos fenólicos y la alta actividad antioxidante en los genotipos sembrados en Metepec, se asoció con la incidencia de la enfermedad de la punta morada.

Literatura citada

- AACC International. 2000. Approved methods of analysis. 11th (Ed.). AACC International: St. Paul, M.N.
- Álvarez, T. M. D. and Canet, P.W. 2009. Thermal processing and quality optimization. In: Singh, J. and Kaur, L. (Eds.). Advances in potato chemistry and technology. Academic Press, Burlington. 163-219 pp.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. AOAC, Arlington.

al. (1998) found that in potato tubers ill effect of late blight increased significantly the concentration of flavonoids and phenolic acids both skin and pulp because it is known that diseases stimulate the route of the phenylpropanoids producing an increase of these metabolites. Among the tubers grown in Raíces lower inhibition capacity of radical DPPH showed the Nau clone which is due to its color from yellow skin and creamy flesh, which means it has a low content of carotenoids, compounds that influence antioxidant activity. The ability of DPPH radical inhibition was positively correlated with phenol content ($r=0.87$, $p<0.01$) (Figure 3), confirming the involvement of these compounds in antioxidant activity as alleged Reddivari *et al.* (2007).

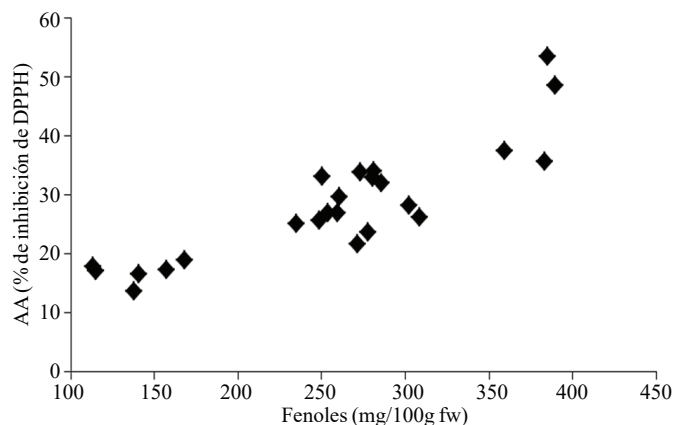


Figura 3. Relación entre el contenido de fenoles y la actividad antioxidante de genotipos de papa cultivados en dos localidades del Estado de México.

Figure 3. Relationship between phenol content and antioxidant activity of potato genotypes grown in two locations in the State of Mexico.

Conclusions

All physicochemical variables were affected by genotype x location interaction, differences were mainly caused by the effect of altitude, temperature, fertilization and the presence of disease purple top. The genotypes locally grown in Raíces showed higher specific weight, high dry matter and starch, had a clearer pulp and were less susceptible to enzymatic browning, genotypes grown in Metepec. For tuber quality, locality in Raíces it has advantages for growing genotypes for the fresh market. The Fianna variety and 5-10 clone grown in Raíces presented the best physical and chemical characteristics and the lower content of reducing sugars so they are suitable for the production of snacks. The highest

- Brand, W. W.; Cuvelier, M. E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28:25-30.
- Castañeda, S. M. C.; Delgado, A. A.; Córdoba, T. L.; González, H. V. A.; Tapia, C. E.; Santacruz, V. A.; Vázquez, C. M. G. and García-de los S. G. 2012. Changes in carbohydrate concentration in leaves, pods and seeds of dry bean plants under drought. *Interciencia* 37(3):168-175.
- CONPAPA. 2013. Monograph of potato industry. CONPAPA. <http://www.conpapa.org.mx/files/pages/000000018/ficha-tecnica-2013.pdf>.
- Friedman, M. 1997. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review. *J. Agric. Food Chem.* 45:1523-1540.
- Gould, W. A. 1999. Potato production, processing, and technology. CTI Publications, Maryland, USA. 259 p.
- Hasbún, J.; Esquivel, P.; Brenes, A. and Alfaro, I. 2009. Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agron. Costarr.* 33(1):77-89.
- Herrera, J. E. and Scott, G. J. 1993. Limiting factors for the production and use of potato: results of a survey to the national programs of Latin America. *Rev. Latinoam. Papa.* 5-6:122-134.
- Lewis, C. E.; Walker, J. R. L.; Lancaster, J. E. and Sutton, K. H. 1998. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. II: Wild, tuberous *Solanum* species. *J. Sci. Food Agric.* 77:58-63.
- Munyaneza, J. 2012. Zebra chip disease of potato: biology, epidemiology, and management. *Am. J. Pot. Res.* 89:329-350.
- Naczki, M.; Shahidi, F. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatogr. A* 1054:95-111.
- Navarre, D. A.; Shakya, R.; Holden, J. and Crosslin, J. M. 2009. LC-MS analysis of phenolic compounds in tubers showing zebra chip symptoms. *Am. J. Pot. Res.* 86:88-95.
- Pedreschi, F. 2009. Fried and dehydrated potato products. In: Singh, J. and Kaur, L. (Eds.). *Advances in potato chemistry and technology*. Academic Press, Burlington. 319-337 pp.
- Reddivari, L.; Hale, A. L. and Miller, J. C. 2007. Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections. *Am. J. Potato Res.* 84:275-282.
- concentration of phenolic compounds and high antioxidant activity in genotypes grown in Metepec, was associated with the incidence of the disease purple top.

End of the English version



- Rodríguez-Saona, L. E. and Wrolstad, R. E. 1997. Influence of potato composition on chip color quality. *Am. Potato J.* 74:87-106.
- Rubio, C. O. A.; Almeyda, L. I. H.; Cadena, H. M. A. and Lobato, S. R. 2011. Relation between *Bactericera cockerelli* and presence of *Candidatus Liberibacter psyllauros* in commercial fields of potato. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(1):17-28.
- Rubio, C. O. A.; Cadena, H. M. A. y Vázquez, C. M. G. 2013. Manejo integrado de la punta morada de la papa en el Estado de México. Sitio Experimental Metepec, Estado de México INIFAP. Folleto técnico Núm. 2. 40 p.
- SAS. 2002. The SAS System for Windows 9.0. User's guide. Cary, N. C. USA. 584 p.
- Singleton, V. L.; Orthofer, R. and Lamuela, R. R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 1299:152-178.
- Stark, J. C. and Love, S. L. 2003. Tuber quality. In: Stark, J. C. and Love, S. L. (Eds.). *Potato production systems*. University of Idaho Agricultural Communications, Idaho. 329-343 pp.
- Vázquez, C. M. G.; Rubio, C. O. A.; Salinas, M. Y.; Santiago, R. D. 2013. Usos alternativos de la papa en el Estado de México. CEVAMEX-INIFAP, México. Libro técnico Núm. 15. 112 p.
- Vázquez, C. M. G.; Santiago, R. D.; Ybarra, M. M. C.; Rubio, C. O. A. and Cadena, H. M. A. 2013a. Physicochemical variables and frying quality of potato clones developed for the Highlands of México. *Agrociencia.* 47:47-59.
- Yuanyuan, M.; Yali, Z.; Jiang, L. and Hongbo, S. 2009. Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. *Afr. J. Biotechnol.* 8(10):2004-2010.