

VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y CALIDAD DE FRITURA DE CLONES DE PAPA DESARROLLADOS PARA LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO

PHYSICOCHEMICAL VARIABLES AND FRYING QUALITY OF POTATO CLONES DEVELOPED FOR THE HIGHLANDS OF MÉXICO

M. Gricelda Vázquez-Carrillo^{1*}, David Santiago-Ramos¹, M. Carmen Ybarra-Moncada²,
O. Ángel Rubio-Covarrubias³, M. Armando Cadena-Hinojosa⁴

¹Laboratorio de Calidad de Maíz, Campo Experimental Valle de México-INIFAP. 56230. Chapingo, Estado de México. (gricelda_vazquez@yahoo.com), (david_san_18@hotmail.com). ²Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. (ycydrive@gmail.com). ³Campo Experimental Toluca-INIFAP. Conjunto SE-DAGRO, Domicilio conocido, 52140. Metepec, Estado de México. (rubio.oswaldo@inifap.gob.mx). ⁴Campo Experimental Valle de México-INIFAP. 56250. Coatlinchan, Texcoco, Estado de México. (cadena.mateo@inifap.gob.mx).

RESUMEN

Los cultivares de papas producidos en lugares altos y fríos, como en la zona Centro de México, generalmente tienen contenidos de azúcares reductores altos, que impiden su uso para la elaboración de hojuelas fritas. El objetivo de esta investigación fue determinar las variables fisicoquímicas y de calidad para fritura de 35 clones de papa desarrollados para los Valles Altos de México y cuatro cultivares comerciales (Alpha, Lupita, Malinche y Montserrat) producidos en el ciclo primavera-verano 2009 a 3500 msnm en Raíces, Zinacantepec, Estado de México. El diseño experimental fue completamente al azar. En tubérculos se evaluó peso específico, materia seca, almidón, azúcares reductores y color de pulpa. En frituras se determinó rendimiento, color y fracturabilidad. Los resultados se analizaron con un análisis de conglomerados y discriminante canónico. Se identificaron cuatro clones sobresalientes: 02-4, 02-4R, 99-4 y 02-93, por su calidad buena para la industria de papas fritas. Mostraron contenido bajo de humedad y azúcares reductores, contenido alto de materia seca, almidón, peso específico y rendimiento alto de hojuelas fritas con excelente fracturabilidad y color. Los otros clones y cultivares tuvieron contenido alto de azúcares reductores, sensibilidad al oscurecimiento no enzimático y variables de calidad inferiores a los demandados por la industria. Las correlaciones altas entre variables permitieron generar unas ecuaciones lineales con posible utilidad para el programa de mejoramiento genético de papa del INIFAP, para predecir estas variables sin necesidad de realizar análisis químicos.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Junio, 2012. Aprobado: Octubre, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 47-59. 2013.

ABSTRACT

Potato cultivars produced in high and cold places, such as the zone of Central México, generally have high contents of reducing sugars, preventing their use for the elaboration of potato chips. The objective of this study was to determine the physicochemical variables and the frying quality of 35 potato clones, developed for the highlands of Mexico, and four cultivars (Alpha, Lupita, Malinche, and Montserrat) produced in the spring-summer cycle of 2009, at 3500 m above sea level at Raíces, Zinacantepec, in the Estado de México. The experimental design was a completely randomized. In tubers specific gravity, dry matter, starch, reducing sugars, and flesh color were evaluated; in chips, yield, color, and fracturability. The results were analyzed, based on cluster analysis and canonical discriminant analysis. Four clones, 02-4, 02-4R, 99-4, and 02-93, were identified, outstanding by their good quality for chip industry. They showed low content of moisture and reducing sugars, high contents of dry matter, starch, specific gravity, and high yield of chips with excellent fracturability and color. The remaining clones and cultivars had important content of reducing sugars, susceptibility to non-enzymatic browning, and lower quality variables than those demanded by industry. The high correlations between variables allowed generating several linear equations with possible utility for the INIFAP Potato Genetic Improvement Program in order to predict these variables without the need of conducting chemical analyses.

Key words: reducing sugars, frying quality, color, *Solanum tuberosum* L.

Palabras clave: azúcares reductores, calidad de fritura, color, *Solanum tuberosum* L.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en México es de gran importancia económica y social, sobre todo en regiones como los estados del noroeste y centro (Santiago y García, 2001). El 77 % de la producción de papa en el país se destina al consumo fresco, 15 % a la industria de la fritura y 8 % para semilla (Parga *et al.*, 2009). Uno de los principales problemas para los productores de papa es la enfermedad punta morada de la papa (PMP), que disminuye los rendimientos (30 a 95 %) y la calidad comercial de la semilla y el tubérculo debido al pardeamiento interno de los tubérculos (Alarcón *et al.*, 2009) que se intensifica al freír las papas son freídas (Munyanza *et al.*, 2007). Esta enfermedad se distribuye en las principales zonas productoras de papa del país (Orona *et al.*, 2009). La incidencia de la PMP en el Estado de México depende de la altura; los lugares altos y fríos tienen la menor incidencia de esta enfermedad (Cadena *et al.*, 2003; Rubio *et al.*, 2006). Es un cultivo sembrado más en zonas de clima templado y frío, lo que induce la acumulación de azúcares en el tubérculo (Yuanyuan *et al.*, 2009); por tanto no son aptos para su procesamiento como papas fritas. En alturas superiores a 3200 m disminuye la población del psílido de la papa y por lo tanto la enfermedad (Yuanyuan *et al.*, 2009). Además de las dificultades usuales relacionadas con las plagas y enfermedades, los productores de papa de la región Centro de México también se enfrentan a problemas abióticos, como deficiencias de agua, heladas y granizo. Ante los cambios de las condiciones climáticas, los productores de papa toman diferentes medidas, según la vulnerabilidad de la región, como el abandono de las tierras, cambio de cultivo o cambio de las zonas de producción (Hijmans, 2003). Por esta razón el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través del Programa Nacional de Papa, se ha enfocado al mejoramiento genético y desarrollo de genotipos con productividad agronómica alta y que se adapten a las condiciones agroclimáticas de los Valles Altos del Centro de México.

La calidad externa de los tubérculos de papa está determinada por el cultivar, efecto del ambiente,

INTRODUCTION

Potato (*Solanum tuberosum* L.) farming in México is of great economic and social importance, especially in regions such as states of the northwest and the center (Santiago and García, 2001). Seventy-seven percent of potato production in the country is assigned to fresh consumption, 15 % to fried food industry, and 8 % to seed production (Parga *et al.*, 2009). One of the main problems to be faced by potato producers is the disease potato purple top (PPT), which diminishes yields (30-95 %) and commercial quality of seed and tuber due to internal tuber browning (Alarcón *et al.*, 2009), which becomes more intense when the potatoes are fried (Munyanza *et al.*, 2007). This disease is in the principal potato-producing zones of the country (Orona *et al.*, 2009). PPT incidence in the Estado de México depends on altitude; high and cold places have the least incidence of this disease (Cadena *et al.*, 2003; Rubio *et al.*, 2006). This crop is mostly sown in temperate and cold climate zones, which induces accumulation of sugars in the tuber (Yuanyuan *et al.*, 2009); therefore, they are not suitable for being processed as chips. At altitudes higher than 3200 m potato psyllid population and hence the disease decreases (Yuanyuan *et al.*, 2009). Besides the usual difficulties, related with pests and diseases, potato producers of the Central Mexican region also have to face abiotic problems, such as water deficiency (drought), frosts, and hailstorms. In view of the change of climatic conditions, potato producers take several steps according to the vulnerability of the region, such as abandoning lands, or changing of crop or production zones (Hijmans, 2003). Therefore the National Institute of Forest, Agriculture, and Livestock Research (INIFAP), through the National Potato Program, has focused on genetic improvement and on development of genotypes with high agronomic productivity, which adapt to the agro-climatic conditions of the Highlands of Central México.

The external quality of potato tubers is determined by the cultivar, environmental effects, tuber deformations, shape, size, and color of skin and flesh (Stark and Love, 2003). The inner quality is defined by the chemical condition of the tuber. Starch contents, dry matter, and reducing sugars (glucose and fructose) are the most important components

deformaciones de los tubérculos, forma, tamaño y color de la piel y pulpa (Stark y Love, 2003). La calidad interna está determinada por la composición química del tubérculo. Los componentes más importantes para la industria de las papas fritas son los contenidos de almidón, materia seca y azúcares reductores (glucosa y fructosa) (Andrade, 1997). Los principales factores que determinan la aceptabilidad y calidad de las papas fritas son la textura, el color y el sabor. El color es afectado principalmente por la formación de colores pardos debido a la reacción de Maillard, que se produce por la reacción de los azúcares reductores, principalmente D-glucosa, y algún aminoácido libre, en la papa principalmente asparagina (Pedreschi, 2009).

El objetivo del estudio fue evaluar las variables físicoquímicas y la calidad de fritura de nuevos clones de papa desarrollados por el INIFAP.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 35 clones y cuatro cultivares comerciales. Los genotipos fueron identificados como se muestra en el Cuadro 1.

Estos clones fueron evaluados durante 3 años en la comunidad de Raíces y en el Campo Experimental de Metepec, Estado de México. De 450 clones se seleccionaron los sobresalientes por mejor rendimiento en ambas localidades pero también los clones con mayor precocidad y con mejores características del tubérculo. En esta última variable se dio preferencia a clones con tubérculos de piel lisa, ojos superficiales y forma bien definida: redonda, oblonga o alargada. El rendimiento fue el primer factor de selección; así, los clones con rendimiento mayor que la variedad Fianna, la cual fue el testigo, pasaron el primer tamiz de selección. Los rendimientos fueron muy variables en cada año, dependiendo de la condiciones climáticas, de la incidencia de

for fried potato industry (Andrade, 1997). The main factors determining acceptance and quality of chips are texture, color, and flavor. Color is mainly affected by the formation of brownish-gray colors, due to Maillard's reaction, which is produced by reaction of reducing sugars, mainly D-glucose and a free amino acid, in the case of potato, principally asparagines (Pedreschi, 2009).

The objective of this study was to evaluate physicochemical variables and quality of chips of new potato clones, developed by INIFAP.

MATERIALS AND METHODS

Thirty-five clones and five commercial cultivars were evaluated. Genotypes were identified as shown in Table 1.

These clones were assessed in the community of Raíces and in the Metepec Experimental Field, Estado de México during 3 years. Out of 450 clones, the ones outstanding for better yield in both localities were selected, but also those with the highest precociousness and the best tuber characteristics. In the latter variable, the clones having tubers with smooth skin, superficial eyes, and well defined shape, being round, oblong, or elongated, were given preference. Yield was the first factor of selection, the clones with greater yield than the Fianna variety being used as control, moved past the selection sieve first of all. Every year, the yields were very variable, depending on climatic conditions, incidence of diseases, and soil properties due to the place where the plants had been sown. The yield of the selected clones was always higher than the mean of the Estado de México, which is 25 t ha⁻¹. The clonal selection out of all the clones included in this study started in 2006 in the community of Raíces, Zinacantepec, Estado de México. The clones come from crosses of various generations between genotypes of INIFAP and commercial varieties. The prevalent cross is that of Tollocan with

Cuadro 1. Clones y cultivares de papa evaluados (Primavera-Verano 2009, Raíces, Zinacantepec, Estado de México).
Table 1. Evaluated clones and potato cultivars (Spring-Summer 2009, Raíces, Zinacantepec, Estado de México).

Clon	Clave	Clon	Clave	Clon	Clave	Clon	Clave	Cultivar	Clave
00-144	A	02-18	J	02-73	S	981401	b	Alpha	j
00-193	B	02-4	K	02-75	T	99-1	c	Lupita	k
00-99	C	02-42	L	02-76	U	99-13	d	Malinche	l
02-101	D	02-4R	M	02-93	V	99-23	e	Montserrat	m
02-103	E	02-54	N	02-95	W	99-30	f		
02-104	F	02-55	O	03-05	X	99-32	g		
02-129	G	02-59	P	05-10	Y	99-37	h		
02-156	H	02-7	Q	8-29	Z	99-4	i		
02-16	I	02-72	R	90-30	a				

enfermedades y de las características de los suelos donde fueron sembrados. El rendimiento de los clones seleccionados siempre fue mayor que la media del Estado de México, la cual es 25 t ha^{-1} . La selección clonal de todos los clones incluidos en este estudio, se inició en 2006 en la comunidad de Raíces, Zinacantan, Estado de México. Los clones provienen de cruzamientos por varias generaciones entre genotipos del INIFAP y variedades comerciales. La cruzada que predomina es la Tollocan con Alpha, cuya progenie tiene la clave que inicia con 02 en la nomenclatura especificada en los clones incluidos en este estudio. Todos los clones tienen un progenitor derivado de la especie silvestre *Solanum demissum*, la cual tiene resistencia contra el tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) (Pérez *et al.*, 2007).

Los tubérculos se produjeron en el ciclo primavera-verano 2009, bajo condiciones de temporal en Raíces, a 3500 msnm, según las recomendaciones para la producción de papa en Valles Altos (Rubio *et al.*, 2000). La precipitación media anual en el área es 850 mm y la temperatura media anual $7.8 \text{ }^\circ\text{C}$. Los clones fueron generados por el Programa Nacional de Papa del INIFAP. Alpha fue considerada como testigo porque es la más cultivada por la mayoría de los productores del Estado de México (Pérez *et al.*, 2007). Se seleccionaron tubérculos uniformes en tamaño, forma, color, y libres de daños físicos y patógenos, los cuales fueron lavados e identificados. Estos tubérculos fueron sometidos a evaluaciones fisicoquímicas y de calidad de fritura.

Características fisicoquímicas

Las determinaciones se hicieron en cuatro tubérculos tomados al azar. El peso específico se determinó por el método de soluciones salinas de densidades variables (Burton, 1989); el porcentaje de humedad se determinó por el método 934.06 de la AOAC (2000). El contenido de materia seca se determinó por pérdida de humedad (Hasbún *et al.*, 2009). Se evaluó la susceptibilidad al pardeamiento enzimático (Gil *et al.*, 2005), cada tubérculo se cortó transversalmente para determinar el color en pulpa, inmediatamente después del corte y 30 min después. se usó un colorímetro Hunter Lab, Mini Scan XE Plus (Modelo 45/0-L, USA) que da los valores de luminosidad (L^*), a^* y b^* ; la luminosidad es un variable de 0 a 100, donde 0 es un color negro y 100 el color blanco; la variable " a^* " va del color rojo al verde, los valores positivos son rojos y los negativos verdes; la variable " b^* " va de azul a amarillo, los valores positivos son amarillos y los valores negativos son azules; en ambos casos el cero es neutro (McGuire, 1992). Los valores de a^* y b^* sirven para determinar el ángulo de tono "hue" ($\text{hue} = \tan^{-1} [b^*/a^*]$) que es el espectro de colores y, está entre 0 y 360° ; y la pureza de color "croma" ($\text{croma} = [a^2 + b^2]^{1/2}$), variables que ubican el color del material en el plano dentro de las diferentes tonalidades del color rojo

Alpha, whose progeny has the code that initiates with 02 in the specific nomenclature in the clones included in this study. All the clones have a parent derived from the wild species *Solanum demissum*, which is resistant to potato late blight (*Phytophthora infestans*) (Pérez *et al.*, 2007).

The tubers were produced under rainfed conditions in the spring-summer cycle of 2009 in Raíces, at 3500 m above sea level, according to the recommendations for potato production in Highlands (Rubio *et al.*, 2000). Annual mean precipitation in the area is 850 mm and annual mean temperature is $7.8 \text{ }^\circ\text{C}$. The clones were generated by the National Potato Program of INIFAP. Alpha was considered as control, since is frequently grown by most of the producers of the Estado de México (Pérez *et al.*, 2007). Tubers uniform in size, shape, color, and without physical damage and pathogens were selected; they were washed and identified. These tubers were subjected to physicochemical assessment and evaluation of potato chips quality.

Physicochemical characteristics

The determinations were made in four tubers, taken at random. Specific gravity was determined by the method of saline solutions of variable density, (Burton, 1989); moisture percentage was determined by the 934.06 method of AOAC (2000); dry matter content was determined through loss of moisture (Hasbún *et al.*, 2009). In order to assess susceptibility to enzymatic browning (Gil *et al.*, 2005) a cross section was made through each tuber to define the flesh color, immediately after the cut and again 30 min later, using a Hunter Lab colorimeter Mini Scan XE Plus (Model 45/0-L, USA) to obtain luminosity values (L^*), a^* and b^* ; luminosity is a variable from 0 to 100, where 0 is black and 100 white; the variable a^* goes from red to green, the positive values being red, and the negative values green; variable b^* goes from blue to yellow, the positive values are yellow and the negative values are blue; in both cases, zero is neutral (McGuire, 1992). The values of a^* and b^* serve to determine the hue angle [$\text{hue} = \arctan (b^*/a^*)$] which is the spectrum of colors and is between 0 and 360° and the chroma [$\text{chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$], variables which situate the color of the material in the plane within the different tonalities of red (0°), yellow (90°), green (180°), and blue (270°) (McGuire, 1992). The quantification of glucose, fructose, and sucrose was conducted using the enzymatic method, (Scholes *et al.*, 1994) and of starch with the method described by Galicia *et al.* (2009).

Elaboration of potato chips

The process utilized was the one described by Hasbún *et al.* (2009). The slices were 1.2 mm thick. Edible vegetal oil was

(0°), amarillo (90°), verde (180°) y azul (270°) (McGuire, 1992). La cuantificación de glucosa, fructosa y sacarosa se realizó por el método enzimático (Scholes *et al.*, 1994) y el almidón por el método descrito por Galicia *et al.* (2009).

Elaboración de las papas fritas

El proceso usado fue el descrito por Hasbún *et al.* (2009), el grosor de las hojuelas fue de 1.2 mm. En una freidora doméstica (T-FAL, modelo FF100652, China) se calentó aceite vegetal comestible a 180 °C, en el que se vertieron las rodajas, permaneciendo durante 3 min (Hasbún *et al.*, 2009). Para eliminar un poco del aceite absorbido por las rodajas, previo escurrido, se colocaron sobre bandejas con papel para absorber el aceite adherido dentro de un deshidratador (Excalibur, modelo ED-700, USA) con corriente de aire durante 30 min, se sacaron y se pesaron.

Evaluación de la calidad de las frituras

El rendimiento de las hojuelas se calculó con la fórmula: rendimiento (%) = (peso de la fritura/peso inicial del tubérculo) 100. Como variable de textura se evaluó la fracturabilidad, que determina el grado de crujencia o la fuerza necesaria para que el material se fracture, usando un texturómetro (Brookfield, modelo CT3 25k, USA), y un aditamento de acero inoxidable de 3.5 cm de longitud con una punta esférica de ½" de diámetro, cuyo desplazamiento fue de 1 mm s⁻¹, con una distancia de penetración de 3 mm. La hojuela frita se colocó sobre una base con perforación central circular de 2.5 cm de diámetro. Se evaluaron 10 hojuelas de papa fritas por cada tubérculo. Los resultados se expresan en g fuerza (g_f) requeridos para fracturar la rodaja. El color de las hojuelas fritas se determinó con un colorímetro Hunter Lab, Mini Scan XE Plus (Modelo 45/0-L, USA), como lo describe Hasbún *et al.* (2009). El color de las frituras se evaluó con la carta de color recomendada por el Centro Internacional de la Papa (CIP) (Bonierbale *et al.*, 2010), con una escala del 1 al 5, donde 1 es un color amarillo aceptable y 5 es un color amarillo muy oscuro o marrón.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis multivariado para obtener grupos de clones con características semejantes. Se realizó un agrupamiento basado en las distancias estadísticas cuadradas con los datos estandarizados; el método para elaborar del dendrograma fue el de la mínima varianza de Ward (Johnson, 2000). La altura de corte para definir grupos se determinó con base en el criterio cúbico de conglomerados (CCC) y la pseudoestadística T² (PST2). Para corroborar la pertinencia de los

heated up in a domestic deep fryer (T-FAL, model FF100652, China), at 180°C, where the slices were scattered for 3 min (Hasbún *et al.*, 2009). Having drip-dried, the slices were drained on trays covered with kitchen paper in order to eliminate some of the oil, the remaining oil could be absorbed inside a dehydrator (Excalibur, model ED-700, USA) under a draft of air for 30 min; subsequently, the slices were removed and weighed.

Evaluation of chip quality: Chip

Yield was calculated with the following formula: yield (%) = (weight of chips /initial weight of the tuber) 100. Fracturability was assessed as variable of texture, since it determines the degree of crunchiness or the strength needed to fracture the material. For this purpose a Brookfield texturometer (model CT3 25k, USA) with a 3.5 cm long stainless steel accessory was utilized, having a ball point of ½" diameter, whose displacement was of 1 mm s⁻¹ with a penetration distance of 3 mm. The fried slice was placed on a base with circular central perforation of 2.5 cm diameter. Ten fried potato chips per tuber were assessed. The results are reported as g force (g_f), required to fracture the slice. The color of chips was determined using a Hunter Lab, Mini Scan XE Plus colorimeter (Model 45/0-L, USA), described by Hasbún *et al.* (2009). Chip color was evaluated by means of the color chart, recommended by the International Potato Center (CIP) (Bonierbale *et al.*, 2010), with a scale from 1 to 5, where 1 is an acceptable yellow color and 5 stands for a very dark yellow or brown color.

Statistical analysis

The data obtain were subjected to a multivariate analysis in order to obtain groups of clones with similar characteristics. We made a grouping based on Mahalanobis distances, starting from the standardized data; the method for the dendrogram construction was that of Ward's minimum variance criterion (Johnson, 2000). Cut height for the defining of groups was determined on the basis of the cubic clustering criterion (CCC) and on the pseudo statistical T² (PST2). In order to corroborate the appropriateness of the groups and to establish the responsible variables for this grouping a canonical discriminant analysis was carried out.

RESULTS AND DISCUSSION

Two clusters were made, one according to physicochemical properties and the other according to frying quality.

grupos y determinar las variables responsables de esta agrupación, se realizó un análisis discriminante canónico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron dos agrupaciones, una en función de las características fisicoquímicas y otra en función de la calidad de fritura.

Características fisicoquímicas

Los genotipos se agruparon en cuatro conglomerados en función de las variables fisicoquímicas (peso específico, materia seca, almidón, humedad, glucosa, fructosa y sacarosa). El análisis discriminante mostró diferencias ($p \leq 0.0001$) entre las medias de las funciones discriminantes, por lo que los grupos formados fueron altamente significativos. Dos funciones discriminantes describieron el 87.55 % de la variabilidad de los datos empleados con una participación individual de 61.77 y 25.78 %. La estructura total canónica, que indica el peso de las variables originales sobre las variables canónicas generadas, mostró que todas las variables tuvieron responsabilidad en la formación de los grupos.

Esto significó que los genotipos con valores altos positivos de la variable discriminante canónica 1 (VDC1) presentan una expresión alta en peso específico, materia seca y almidón y un contenido de humedad, glucosa y fructosa bajo. Respecto a la VDC2, valores altos positivos representan genotipos con un contenido alto de sacarosa. La ubicación de los 39 materiales en el espacio bidimensional (Figura 1) permite visualizar la agrupación en función de las características fisicoquímicas del tubérculo.

Los grupos dos (14 genotipos) y tres (nueve genotipos) son semejantes por su peso específico, contenido de materia seca, almidón alto y su contenido bajo de humedad, glucosa y fructosa. Los grupos uno (14 genotipos) y cuatro (dos genotipos) se caracterizan por su peso específico, contenido de materia seca y almidón bajos y por un mayor contenido de humedad, glucosa y fructosa. Tomando como referencia la VDC2, el grupo tres y cuatro tienen un contenido alto de sacarosa, contrario a los grupos uno y dos (Figura 1). Los valores medios de grupo para cada variable fisicoquímica se muestran en el Cuadro 2.

En el grupo tres se concentraron los genotipos con el mayor peso específico medio (1.076), pero los

Physicochemical characteristics

The genotypes were organized in four clusters, according to physicochemical variables (specific gravity, dry matter, starch, moisture, glucose, fructose, and sucrose). The discriminant analysis showed differences ($p \leq 0.0001$) among the means of the discriminant functions; therefore, the formed clusters were highly significant. Two of the functions described 87.55 % of the variability of the employed data with an individual participation of 61.77 and 25.78 %. The total canonical structure, which indicates the weight of the original variables over the generated canonical variables, showed that all the variables were responsible of the clustering.

This meant that the genotypes with high positive values of the discriminant canonical variable 1 (VDC1) present high expression in specific gravity, dry matter, and starch, and low contents of moisture, glucose, and fructose. Regarding VDC2, its genotypes with high positive values have important content of sucrose. The location of the 39 materials in the two-dimensional space (Figure 1) allows visualizing the association according to the physicochemical characteristics of the tuber.

Groups two (14 genotypes) and three (nine genotypes) are similar with respect to their high specific gravity, high dry matter content, and high starch content, and their low contents of moisture, glucose, and fructose. Groups one (14 genotypes) and four (two genotypes) distinguish themselves by their low specific gravity, low content of dry matter and starch, and higher content of moisture, glucose, and fructose. Taking VDC2 as reference, group three and four have high sucrose content, opposite to groups 1 and 2 (Figure 1). The mean values of the group for each physicochemical variable are shown in Table 2.

The genotypes with the highest mean specific gravity (1.076) were concentrated in group three, but clones 02-129(G), 02-4 (K), and 02-59 (P) of group two had specific gravity (1.086; 1.082, and 1.080) adequate for chips industry, which demands values higher than 1.080 (Andreu and Da Silva, 2007). Specific gravity is a factor of quality influenced by climatic conditions, such as temperature, soil type, water availability, and fertilization. But all the genotypes were cultivated in the same place and under the same conditions, so that the differences among

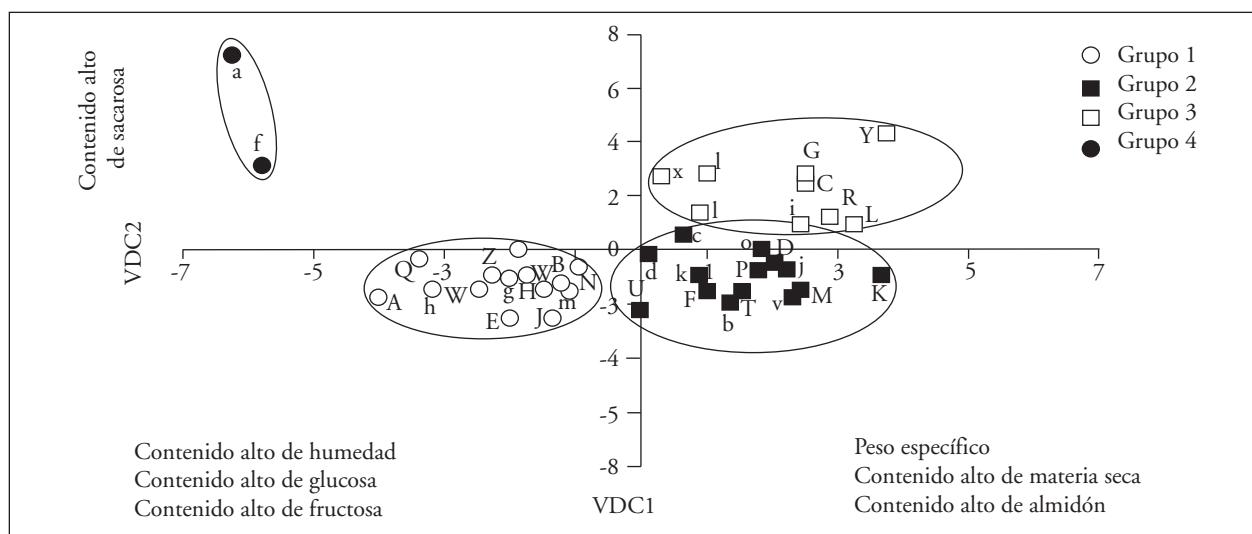


Figura 1. Representación gráfica de las variables discriminantes canónicas de 39 genotipos de papa de acuerdo con las variables fisicoquímicas de los tubérculos.

Figure 1. Graph of canonical discriminant variables of 39 potato genotypes according to tuber physicochemical variables.

clones 02-129 (G), 02-4 (K) y 02-59 (P) del grupo dos presentaron un peso específico (1.086, 1.082 y 1.080) adecuado para la industria de papas fritas, que exige valores superiores a 1.080 (Andreu y Da Silva, 2007). El peso específico es un factor de calidad influenciado por condiciones climáticas como la temperatura, tipo de suelo, disponibilidad de agua y fertilización. Pero todos los genotipos fueron cultivados en el mismo lugar y bajo las mismas condiciones, por lo que las diferencias entre materiales en esta variable son estrictamente varietales, ya que la heredabilidad de esta característica es de moderada a alta (Jansky, 2009).

Álvarez y Canet (2009) afirman que el contenido de materia seca está altamente correlacionado con el peso específico y éste a su vez depende en gran medida del contenido de almidón; al igual que el peso específico la acumulación de almidón es una característica varietal (Jansky, 2009). Los tubérculos destinados a la elaboración de hojuelas fritas debe tener un contenido de materia seca superior al 20 % (Hasbún *et al.*, 2009). Los clones que presentaron más de 20 % de materia seca fueron los del grupo tres, coincidiendo con aquellos que presentaron el mayor peso específico ($r=0.92^{**}$) (Cuadro 2). Un peso específico y contenido de materia seca alto permite que los tubérculos sean menos susceptibles a la ruptura cuando

materiales relacionados a esta variable estrictamente dependen de la variedad, ya que la heredabilidad de esta característica es de moderada a alta (Jansky, 2009).

Álvarez and Canet (2009) point out that dry matter content is highly correlated with specific gravity, and this in turn depends greatly on starch content; likewise, specific gravity and starch accumulation are characteristics depending on variety (Jansky, 2009). The tubers destined for chips must have dry matter content above 20 % (Hasbún *et al.*, 2009). The clones presenting above 20 % dry matter content were those

Cuadro 2. Medias de variables fisicoquímicas de cuatro grupos de genotipos de papa.

Table 2. Means of physicochemical variables of four groups of potato genotypes.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Peso específico	1.063	1.073	1.076	1.057
Materia seca [†] (%)	16.9	19.7	20.6	13.3
Almidón [†] (%)	12.7	15.3	13.3	9.6
Humedad (%)	83.1	80.3	79.4	86.7
Glucosa [‡] (%)	0.554	0.407	0.537	1.387
Fructosa [‡] (%)	0.784	0.485	0.756	2.598
Sacarosa [‡] (%)	0.477	0.460	0.813	1.039

[†]Porcentaje en base húmeda. [‡]Porcentaje en base seca ♦
[†]Percentage in humid base. [‡] Percentage on dry base.

hierven, debido a que los gránulos de almidón al absorber agua se hinchan. Además cuando se hornean o fríen son más carnosos y tienen mejor aspecto que los tubérculos con bajo contenido de materia seca. Durante el freído, el espacio que ocupa el agua es substituido por el aceite; así, los tubérculos con mucha agua, es decir alto contenido de humedad (Cuadro 2) y menor peso específico, absorben más aceite (Aguilera, 1997). Catorce clones del grupo uno y dos del grupo cuatro presentaron un contenido de humedad muy alto y bajo contenido de materia seca, inaceptables en un tubérculo destinado al proceso de freído.

Cantos *et al.* (2002) usaron la luminosidad (L^*) para definir la susceptibilidad de distintos cultivares de papa al pardeamiento enzimático cuando el tubérculo se corta y se expone al oxígeno. Así, en el presente estudio, al evaluar esta variable en dos tiempos diferentes, se observó una disminución de hasta 8 % en la luminosidad en clones como el 02-18 (J), mientras que en los clones 5-10 (Y) y 02-95 (W) prácticamente no se manifestó pardeamiento enzimático en el mismo tiempo, (Figura 2).

Los valores de hue y croma no mostraron variaciones significativas (datos no mostrados); además, en papa fresca no se consideran para evaluar el oscurecimiento enzimático y sólo indican las distintas tonalidades de color amarillo característico de la pulpa de papa (Gil *et al.*, 2005). El oscurecimiento de la pulpa debida al pardeamiento enzimático está relacionado principalmente con la actividad de polifenoloxidasas que catalizan la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas, con la transformación a pigmentos oscuros. Así, genotipos con una disminución drástica de su luminosidad no son aptos para su uso industrial ni para el consumo en fresco.

El contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa) está altamente relacionado con el color de las papas fritas, debido a que con las altas temperaturas utilizadas en el freído, aquéllos se unen a aminoácidos formando compuestos marrón-oscuro por la reacción de Maillard (Pedreschi, 2009). La industria requiere cultivares con contenidos menores al 0.1 % del peso fresco y valores mayores a 0.33 % son inaceptables (Andrade, 1997). En este caso sólo los genotipos agrupados en el grupo dos presentaron contenidos de azúcares reductores inferiores a los límites. La evaluación de la calidad es la prueba definitiva para saber si los tubérculos son aptos para su industrialización como papas fritas.

of group three, coinciding with those that had higher specific gravity ($r=0.92^{**}$) (Table 2). Specific gravity and high dry matter content allow for tubers being less susceptible to breaking when they are cooked, due to the starch granules swelling at soaking up water. Furthermore, when they are baked or fried, they are fleshier and look better than the tubers with less dry matter content. During frying the space occupied by water is substituted by oil, so that the tubers with much water, that is, high moisture content (Table 2) and lower specific gravity, absorb more oil (Aguilera, 1997). Fourteen clones of group 1 and two of group 4 had very high moisture content and less dry matter, unacceptable properties in a tuber destined for the frying process.

Cantos *et al.* (2002) used luminosity (L^*) to define the susceptibility of different potato varieties to enzymatic browning at cutting the tuber and exposing it to oxygen. In the present study assessing this variable at two different times, a diminution of luminosity up to 8 % was observed in clones such as 02-18 (J), whereas in clones, 5-10 (Y) and 02-95 (W), there were practically no signs of enzymatic browning in the same time (Figure 2).

The values of hue and chrome did not show significant variations (data not shown); besides, they are not considered for evaluating enzymatic browning in fresh potato, just indicating the different tonalities of yellow, typical of potato flesh (Gil *et al.*, 2005). Flesh darkening due to enzymatic browning is mainly related to polyphenol oxidase activity, which catalyzes oxidation of phenolic compounds to quinones, with transformation to dark pigments. Therefore, those genotypes with drastic diminution of luminosity are not apt for being used industrially or for fresh consumption.

The content of reducing sugars (glucose and fructose) is highly related to the color of chips, due to the high temperatures used in frying, which together with amino acids form dark brown compounds because of the Maillard reaction (Pedreschi, 2009). Industry requires cultivars with contents below 0.1% of fresh weight; values above 0.33% are unacceptable (Andrade, 1997). In this case, only genotypes of group two had a content of reducing sugars inferior to the limits. Assessment of quality is the definite test for knowing that tubers are suitable to be used for chip industrialization.

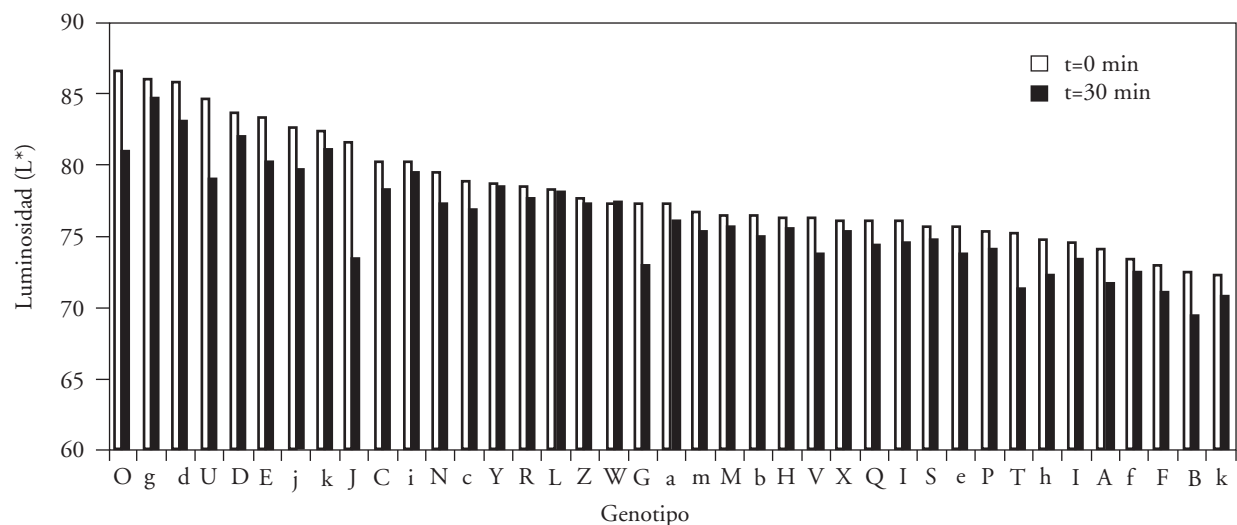


Figura 2. Evaluación del oscurecimiento enzimático mediante la luminosidad en tubérculos de papa frescos cortados. $t=0$: inmediatamente después del corte; $t=30$ min: 30 minutos después del corte.

Figure 2. Enzymatic browning assessment of cut fresh potato tubers through luminosity. $t = 0$ immediately after cutting; $t=30$ min: 30 minutes after cutting.

Calidad de fritura

Un segundo análisis de conglomerados se realizó con el fin de clasificar a los materiales en función de la calidad de las papas fritas (rendimiento, fracturabilidad y color), y se formaron cuatro conglomerados. El análisis discriminante canónico mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.0001$) entre los grupos. Se determinó que dos funciones discriminantes describieron 97.73 % de la variabilidad de los datos, con una participación individual de 81.19 y 16.54 %. La estructura total canónica determinó que la VDC1 se correlacionó positivamente con la variable color en la escala CIP y negativamente con las variables luminosidad, hue y fracturabilidad. La VDC2 se correlacionó positivamente con valores altos de rendimiento y croma (Figura 3).

Los clones con la mejor calidad de frituras se ubicaron en el grupo tres (Figura 2): 02-4 (K), 02-4R (M), 02-93 (V) y 99-4 (i), lo que significa que presentaron las mejores características de procesamiento en este estudio (Cuadro 3).

El rendimiento de hojuelas fritas varió entre 24.0 y 32.4 % (clones 02-73 [S] y 02-129 [G]), y los genotipos en el grupo dos tuvieron el mayor rendimiento. De acuerdo con Borruey *et al.* (2000), el rendimiento en la elaboración de hojuelas fritas debe oscilar entre 25 y 33 %, los rendimientos altos se atribuyen a un

Chip quality

A second cluster analysis was carried out with the purpose of classifying the materials according to chip quality (yield, fracturability, and color) and four clusters were formed. The canonical discriminant analysis showed highly significant differences ($p \leq 0.0001$) among clusters. It was determined that two discriminant functions described 97.73 % of the variability of the data, with individual participation of 81.19 and 16.54 %. The total canonical structure determined that VDC1 was positively correlated to the color variable on the CIP scale, and negatively to the variables luminosity, hue, and fracturability. VDC2 on its part was positively correlated to high values of yield and chrome (Figure 3).

The clones of the best chip quality were located in group 3 (Figure 2): 02-4 (K), 02-4 R (M), 02-93 (V), and 99-4(i), which means that they present the best characteristics of processing in this study (Table 3).

The yield of chips varied between 24.0 and 32.4 % (clones 02-73 and 02-129), the genotypes included in group 2 showing the highest yield. According to Borruey *et al.* (2000), the yield in the elaboration of chips must oscillate between 25 and 33 %, attributed to a high content of dry matter ($r=0.92^{**}$) and high specific gravity, which agrees with the results in our study, since 9 of the 16 genotypes in group 2, had

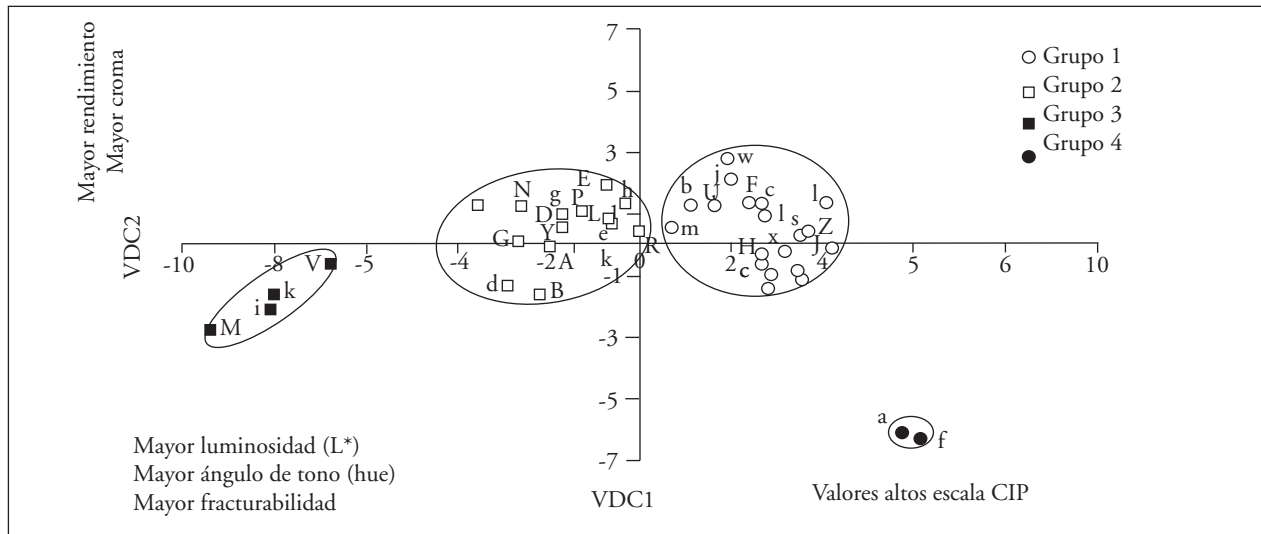


Figura 3. Gráfica de las variables discriminantes de 39 genotipos de papa de acuerdo con las variables de calidad de las papas fritas.

Figure 3. Graph of canonical discriminant variables of 39 potato genotypes according to potato chip quality variables.

contenido elevado de materia seca ($r=0.92^{**}$) y peso específico alto, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio porque 9 de los 16 genotipos en el grupo dos presentaron el mayor contenido de materia seca y un peso específico alto.

El color de las papas fritas es una variable de calidad muy importante y en gran medida el resultado de la reacción de Maillard que depende del contenido de azúcares reductores y aminoácidos, la temperatura y tiempo de freído (Pedreschi *et al.*, 2004). Dado que en esta investigación se usó la misma temperatura y tiempo de freído, los resultados se atribuyen al contenido de azúcares reductores. Los genotipos del grupo tres presentaron el color de hojuelas fritas más aceptable (amarillo claro), debido a sus valores bajos de la escala del CIP, valores altos de luminosidad y valores altos de hue (tonalidad más amarilla); los materiales restantes tuvieron un color oscuro. El color, resultado de la ausencia de la reacción de Maillard en estos cuatro clones [02-4 (K), 02-4R (M), 02-93 (V) y 99-4 (i)], se debe a que presentaron el contenido menor de azúcares reductores en el grupo 3 (Figura 1). Los demás genotipos del grupo tres (Figura 1), entre ellos el testigo Alpha, presentaron un contenido de azúcares reductores bajo, pero el color de las frituras resultó oscuro, lo que podría explicarse por la posible presencia de un contenido alto de otros compuestos. Según Rodríguez *et al.* (1997), los azúcares

the highest content of dry matter and high specific gravity.

The color of chips is a very important variable of quality and to a great extent the result of Maillard's reaction, which depends on the content of reducing sugars and amino acids, temperature, and time of frying (Pedreschi *et al.*, 2004). Given that in this research the same temperature and frying time was used, the results may be attributed to the content of reducing sugars. The genotypes of group three had the most acceptable color of chips (light yellow), due to the low values of the CIP scale, high values of luminosity, and high hue values (tonality of clearest yellow); the remaining materials turned out to be of

Cuadro 3. Valores medios de variables de calidad de papas fritas obtenida para cada grupo.

Table 3. Mean values of potato chip quality variables obtained for each group.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Rendimiento (%)	27.6	29.1	27.8	26.6
Color en escala CIP	4.7	3.7	1.8	5.0
Luminosidad (%)	43.76	51.11	63.12	31.26
Hue (°)	63.57	67.96	76.56	57.06
Cromas	36.37	38.44	38.51	26.18
Fracturabilidad (g _r)	273.00	293.30	300.00	290.20

CIP: Centro Internacional de Papa.

reductores no explican completamente el desarrollo de color en papas fritas cuando su contenido en los tubérculos es bajo, como en este caso. Se ha mostrado que compuestos como el ácido ascórbico y los fenoles reaccionan también con los aminoácidos durante el freído produciendo finalmente colores oscuros en las frituras (Rodríguez y Wroslstad, 1997). La correlación entre el contenido de azúcares reductores y el color de las frituras en la escala CIP y la luminosidad fue $r=0.88^{**}$ y $r=0.91^{**}$, y se generó una ecuación lineal (% azúcares reductores = $-0.0125L^* + 0.8484$) mediante la cual se puede inferir el contenido de azúcares reductores en el tubérculo a partir de una prueba de fritura en la que se evalúe L^* .

La textura es uno de los atributos sensoriales de mayor importancia para la aceptación de las papas fritas y su crujencia está relacionada con el contenido de sólidos totales. Muestras con un contenido de sólidos muy bajo y con alto contenido graso tienen poca crujencia y son más pegajosas (Kita, 2002). En el presente estudio, la fracturabilidad varió de 184.0 a 480.8 g_f y los clones del grupo tres mostraron los valores más altos (Cuadro 3). Considerando que estos clones contienen un porcentaje de materia seca alto (Figura 1) y los clones del grupo uno mostraron los menores, las diferencias en textura se atribuyen al contenido de sólidos totales, resultados similares a los reportados por Hasbún *et al.* (2009).

No obstante las bajas temperaturas en Raíces, (3500 msnm), destacaron los clones 02-4 (K), 02-4R (M), 02-93 (V) y 99-4 (i) por su buena calidad de fritura. Por sus características físicoquímicas y calidad de fritura sobresalientes se muestran en el Cuadro 4 y Cuadro 5.

Gracias a las correlaciones altamente significativas entre peso específico y materia seca ($r = 0.92^{**}$), peso específico y almidón ($r = 0.90^{**}$), materia seca y almidón ($r = 0.92^{**}$), y a la cantidad de muestras se generaron ecuaciones que pueden ser útiles para el programa de mejoramiento genético de papa del INIFAP, por que con estas variables se podrían inferir otras. Las ecuaciones fueron: % materia seca = 299.6 (peso específico) - 301.95 ; % almidón (BH) = 234.98 (peso específico) - 237.07 ; % almidón (BS) = 0.8461 (% materia seca) - 1.6778 .

CONCLUSIONES

Cuatro clones: 02-4 (K), 02-4R (M), 02-93 (V) y 99-4 (i), se identificaron con características físicoquí-

dark color. The color in these four clones [02-4 (K), 02-4R (M), 02-93 (V), and 99-4 (i)], a result of null Maillard's reaction, is due to the fact that they had the lowest content of sugar reducers within the group three (Figure 1). The other genotypes of group three among them the control Alpha, had few reducing sugars but, the color of chips turned out to be dark, which could be explained by possibly considerable presence of other compounds. According to Rodríguez *et al.* (1997), reducing sugars do not completely explain the development of color in chips when its content in tubers is low, like in this case. It has been shown that compounds, such as ascorbic acid and phenols, also react with amino acids during frying, finally producing dark colors in the food (Rodríguez and Wroslstad, 1997). The correlation between reducing sugars and the color of chips on the CIP scale and luminosity was $r=0.88^*$ and $r=0.91^{**}$, and a linear equation was generated (% reducing sugars = $-0.0125L^* + 0.8484$), by which the content of reducing sugars in the tubers may be inferred starting from a frying test, where L^* is assessed.

The texture is one of the sensorial attributes of the greatest importance for the acceptance of potato chips, and their crunchiness is related to the content of total solids. Samples with very low content of solids and high fat content have little crunchiness and are stickier (Kita, 2002). In our study, fracturability varied from 184.0 to 480.8 g_f; and the clones of group 3 had the highest values (Table 3). Considering that these clones contain higher percentage of dry matter (Figure 1) than those of group 1 showing the least percentage, the differences in texture may be attributed to the content of solids, results similar to those reported by Hasbún *et al.* (2009).

In spite of the low temperatures at Raíces, (3500 m above sea level), the clones 02-4(K), 02-4R(M), 02-4(V), and 99-4(i) were outstanding. Because of their excellent chip quality and physicochemical characteristics, they are shown in Table 4 and Table 5.

Thanks to the highly significant correlations between specific gravity and dry matter ($r = 0.92^{**}$), specific gravity and starch ($r = 0.90^{**}$), dry matter and starch ($r = 0.92^{**}$), and to the amount of samples, useful equations could be generated for the potato genetic improvement program of INIFAP, since starting from these variables, others could be deduced. The equations were: % dry matter = 299.6 (specific gravity) - 301.95 ; % starch (BH) = 234.98

Cuadro 4. Características fisicoquímicas de tubérculos de clones de papa sobresalientes producidas en Zinacantepec, Estado de México. Primavera-Verano 2009.**Table 4. Physicochemical tuber characteristics of outstanding potato clones produced at Zinacantepec, Estado de México, Spring-Summer 2009.**

Clon	H [†] %	PE [‡]	MS [§] %	A [¶] %	G [°] %	F ^{††} %	S ^{°°} %	L ^{§§} (0 min) %	L (30 min) %
02-4R (M)	79.4	1.076	20.6	76.0	0.060	0.109	0.442	76.49	75.96
02-93 (V)	78.8	1.071	21.2	85.6	0.076	0.121	0.535	76.32	73.92
02-4 (K)	78.8	1.082	21.2	75.6	0.137	0.221	0.434	82.32	81.22
99-4 (i)	79.2	1.075	20.8	75.2	0.140	0.253	0.869	89.16	79.58
Alpha (j)	80.4	1.078	19.6	74.4	0.208	0.251	0.566	82.63	79.64

[†]H: humedad; [‡]PE: peso específico; [§]MS: materia seca; [¶]A: almidón; [°]G: glucosa; ^{††}F: fructosa; ^{°°}S: sacarosa; ^{§§}L: luminosidad. Los valores de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa están en base seca ♦ [†]H: moisture; [‡]PE: specific gravity; [§]MS: dry matter; [¶]A: starch; [°]G: glucose; ^{††}F: fructose; ^{°°}S: sucrose, ^{§§}L: luminosity. Starch, glucose, fructose, and sucrose values on dry base.

Cuadro 5. Calidad de papas fritas obtenidas de clones de papa sobresalientes producidos en Zinacantepec, Estado de México, Primavera-Verano 2009.**Table 5. Potato chip quality obtained from outstanding potato clones produced at Zinacantepec, Estado de México, Spring-Summer 2009.**

Clon	Rendimiento (%)	Fracturabilidad (g _f [†])	Color (CIP) [‡]	L [§] (%)	Hue (°) [¶]	Croma [°]
02-4R (M)	27.4	295.7	1.2	64.44	77.77	38.33
02-93 (V)	28.1	255.0	2.5	61.75	75.41	38.19
02-4 (K)	26.1	303.5	1.5	63.48	77.28	39.94
99-4 (i)	29.7	348.0	2.0	62.80	75.77	37.58
Alpha (j)	30.5	247.2	5.0	44.77	64.30	37.90

[†]g_f: gramos fuerza; [‡]CIP: escala del Centro Internacional de la Papa; [§]L: luminosidad; [¶]Hue: tan⁻¹ (b/a); Croma [a²+b²]^{1/2} ♦ [†]g_f: gram-force; [‡]CIP: scale of International Potato Center; [§]L: luminosity; [¶]Hue: tan⁻¹ (b/a); Croma [a²+b²]^{1/2}.

micas y calidad de fritura aceptable. Los clones con peso específico mayor también tuvieron rendimiento mayor de papas fritas, lo que se relacionó significativamente con su contenido alto de almidón, pero no fueron los de mejor color y fracturabilidad. La luminosidad es buena para definir la susceptibilidad de los tubérculos al pardeamiento enzimático cuando son cortados. El contenido de azúcares reductores influyó en gran medida en el color de las hojuelas fritas. Los resultados indican que es posible desarrollar genotipos que se adapten a las condiciones climáticas de producción de los Valles Altos de México y cumplan con la calidad exigida por la industria.

LITERATURA CITADA

Aguilera, J. M. 1997. Fritura de Alimentos. Temas de Tecnología de Alimentos. Instituto Politécnico Nacional. Volumen 1. México. pp: 187-214.

(specific gravity) – 237.07; % starch (BS) = 0.8461 (% dry matter) – 1.6778.

CONCLUSIONS

Four clones: 02-4(K), 02-4R (M), 02-93(V), and 99-4(i) were identified with physicochemical characteristics and acceptable chip quality. The clones presenting the highest specific gravity also had higher yield of potato chips, which was significantly related to their important starch content, but they were not of the best color and fracturability. Luminosity is good for defining tuber susceptibility to enzymatic browning when they are cut. The content of reducing sugars considerably influenced the color of chips. The results indicate that it is possible to develop genotypes to be adapted to the climatic conditions for the production of the Highlands of México, fulfilling the quality demanded by industry.

- Alarcón R., N. M., H. Lozoya S., y E. Valadez M. 2009. Caracterización de ADN de clones de papa e identificación de fitoplasmas asociados al síndrome de la punta morada. *Agrociencia* 43: 357-370.
- Alvarez T., M. D., and W. Canet P. 2009. Thermal Processing and Quality Optimization. *In: Singh, J., and L. Kaur (eds). Advances in Potato Chemistry and Technology. Academic Press. USA. pp: 163-219.*
- Andreu, M. A., y A. Da Silva P. 2007. Asociación entre el color de la peridermis de la papa con características de importancia industrial. *Agric. Téc.* 67(1):72-77.
- Andrade, H. B. 1997. Requerimientos cualitativos para la industrialización de la papa. *Revista INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias)* 9(1): 21-23.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official Methods of Analysis. AOAC. 17th edition. Washington, USA. 141 p.
- Bonierbale, M., S. Haan, A. Forbes, y C. Bastos. 2010. Procedimientos para Pruebas de Evaluación Estándar de Clones Avanzados de Papa. Centro Internacional de la Papa. Perú. 153 p.
- Borruey, A., F. Cotrina, J. Mula, y C. Vega. 2000. Calidad industrial y culinaria de las variedades de papa. *In: Pascualena, J., y E. Ritter, E. (eds). Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata. Vitoria-Gasteís, España. pp: 1-15.*
- Burton, W. G. 1989. The Potato. 3th edition. Longman Scientific & Technical. London. 742 p.
- Cadena H., M. A., R. Guzmán P., M. Díaz V., T. E. Zavala Q., O. S. Magaña T., I. H. Almeyda L., H. López D., A. Rivera P., y O. Rubio C. 2003. Distribución, incidencia y severidad del pardeamiento y la brotación anormal en los tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en valles altos y sierras de los estados de México, Tlaxcala y el Distrito Federal. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21(3): 248-259.
- Cantos, E., J. A. Tudela, M. I. Gil, and J. C. Espín. 2002. Phenolic compounds and related enzymes are not rate limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *J Agric. Food Chem.* 50(10):3015-3023.
- Galicia, L., E. Nurit, A. Rosales, and N. Palacios R. 2009. Maize Nutrition Quality and Plant Tissue Analysis Laboratory. CIMMYT. México, D.F. 48 p.
- Gil, M. I., J. A. Tudela, y J. C. Espín. 2005. Pardeamiento. *In: González A., G. A., A. A. Gardea, y F. Cuamena (eds). Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados. Logiprint Digital S. de R.L. de C.V. México, D.F. pp: 155-176.*
- Hasbún, J., P. Esquivel, A. Brenes, y I. Alfaro. 2009. Propiedades físico-químicas y variables de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agron. Costarricense.* 33: 77-89.
- Hijmans, R. J. 2003. The effect of climate change on global potato production. *Am. J. Potato Res.* 80(4): 271-280.
- Johnson, E. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. International Thompson Editores. México, D.F. 566 p.
- Janski, S. 2009. Breeding, Genetics, and Cultivar Development. *In: Singh, J., and L. Kaur (eds). Advances in Potato Chemistry and Technology. Academic Press. USA. pp: 27-62.*
- Kita, A. 2002. The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chem.* 76(2):173-179.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hortscience* 27(12):1254-1255.
- Munyanza, J. E., J. M. Crosslin, and J. E. Upton. 2007. Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with "Zebra Chip," a new potato disease in southwestern United States and Mexico. *J. Econ. Entomol.* 100(3): 656-663.
- Orona C., F., V. Pecina Q., M. A. Cadena H., M. A. Rocha P., F. M. Tucuch C., y I. H. Almeyda L. 2009. Marcadores moleculares asociados con resistencia a la enfermedad punta morada en papa. *Agron. Mesoam.* 20(1): 31-39.
- Parga T., V. M., J. M. Covarrubias R., I. H. Almeyda L., V. M. Zamora V., A. Rivera P., y R. Rocha R. 2009. Nueva variedad de papa para consumo en fresco. *Agric. Téc. Méx.* 35(2):233-236.
- Pedreschi, F., D. Mery, F. Mendoza, and J. M. Aguilera. 2004. Classification of potato chips using pattern recognition. *J. Food Sci.* 69(6):264-270.
- Pedreschi, F. 2009. Fried and Dehydrated Potato Products. *In: Singh, J., and L. Kaur (eds). Advances in Potato Chemistry and Technology. Academic Press. USA. pp: 319-337.*
- Pérez L., D. J., L. M. Vázquez G., J., Sahagún C., A. Rivera P. 2007. Variabilidad y caracterización de diez variedades de papa en tres localidades del Estado de México. *Revista Chapingo Ser. Hort.* 13(1):13-19.
- Rodríguez S., L. E., and R. E. Wrolstad. 1997. Influence of potato composition on chip color quality. *Am. Potato J.* 74:87-106.
- Rodríguez S., L. E., R. E. Wrolstad, and C. Pereira. 1997. Modeling the contribution of sugars, ascorbic acid, chlorogenic acid and amino acids to non-enzymatic browning of potato chips. *J. Food Sci.* 62(5):1001-1010.
- Rubio C., O., I. H. Almeyda L., J. Ireta M., J. A. Sánchez S., R. Fernández S., J. T. Borbón S., C. Díaz H., J. A. Garzón T., R. Rocha R., y M. A. Cadena H. 2006. Distribución de la punta morada y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. *Agric. Téc. Méx.* 32(2): 201-211.
- Rubio C., O. A., J. A. Rangel G., R. Flores L., J. V. Magallanes G., C. Díaz H., T. E. Zavala Q., A. Rivera P., M. Cadena H., R. Rocha R., C. Ortíz T., H. López D., M. Díaz V., y A. Paredes T. 2000. Manual para la Producción de Papa en las Sierras y Valles Altos del Centro de México. Libro técnico No. 1. INIFAP México. 67 p.
- Santiago C., M. J., y J. García S. 2001. Economía de la agroindustrialización de la papa. *Revista Latinoamericana de la Papa Volumen especial:* 21-43.
- Scholes, J. D., P. J. Lee, P. Horton, and D. H. Lewis. 1994. Invertase: understanding changes in the photosynthetic and carbohydrate metabolism of barley leaves infected with powdery mildew. *New Phytol.* 126(2): 213-222.
- Stark, K. C., and S. L. Love. 2003. Potato Production Systems. University of Idaho, Extension. Idaho, USA. 426 p.
- Yuan Yuan, M., Z. Yali, L. Jiang, and S. Hongbo. 2009. Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. *Afr. J. Biotechnol.* 8(10):2004-2010.