

## Physical-chemical characterization and potential for frying of genetic potato (*Solanum tuberosum*) materials

## Caracterización físico-química y potencial para fritura de materiales genéticos de papa (*Solanum tuberosum*)

Ana Cecilia Silveira<sup>1\*</sup>; Francisco Vilaró<sup>2</sup>; María Florencia Kvapil<sup>3</sup>; Silvia del Carmen Rodríguez<sup>3</sup>; Fernanda Zaccari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía. Avda. Gral. Eugenio Garzón núm. 780, Montevideo, C. P. 12900, URUGUAY.

<sup>2</sup>Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía, Centro Regional Sur. Camino Folle km 35,500, Progreso, Canelones, C. P. 15900, URUGUAY.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Santiago del Estero, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Agronomía y Agroindustria. R 9, km 1125, El Zanjón, Santiago del Estero, C. P. 4206, ARGENTINA.

\*Corresponding author: [acsilver@fagro.edu.uy](mailto:acsilver@fagro.edu.uy), tel. 598 2359 7191.

### Abstract

Breeding programs should consider, in addition to agronomic aspects (yield, crop cycle, resistance to diseases and pests, among others), aspects related to suitability for use and quality of the final product, since consumer acceptance depends on them. Therefore, the objective of this research was to characterize 24 potato (*Solanum tuberosum*) genetic materials, considered promising for frying, and a commercial control based on physical (dry matter content, specific gravity and color) and chemical (total polyphenols, total antioxidant capacity and polyphenol oxidase activity) quality parameters. Differences were found in dry matter content, where three genetic materials (07032.3, 10025.1 and 07062.1), with values less than 20 %, would not be suitable for frying, but for cooking. Specific gravity was similar among genetic materials, proving to be a parameter not as strict for selection as dry matter content. Differences were observed in polyphenol oxidase activity (2.1 to 101.43 U·g<sub>protein</sub><sup>-1</sup> in dry weight [DW]) and frying color. Of all materials analyzed, 10 are promising for frying, while the rest have problems with low dry matter content (15.5 to 17.19 %), high polyphenol oxidase activity (> 45 U·g<sub>protein</sub><sup>-1</sup> in DW) and non-golden or dark color, which would make them less attractive to both industry and consumers.

**Keywords:** potato chips, dry matter, specific gravity, polyphenols, antioxidant capacity, polyphenol oxidase.

### Resumen

Los programas de mejoramiento genético deben considerar, además de los aspectos agronómicos (rendimiento, ciclo del cultivo, resistencia a enfermedades y plagas, entre otros), aspectos vinculados con la aptitud de uso y la calidad del producto final, ya que de ellos depende la aceptación por parte de los consumidores. Por ello, el objetivo de este trabajo fue caracterizar 24 materiales genéticos de papa (*Solanum tuberosum*), considerados promisorios para la obtención de fritura, y un testigo comercial a partir de parámetros de calidad física (contenido de materia seca, gravedad específica y color) y química (polifenoles totales, capacidad antioxidante total y actividad de la polifenol oxidasa). Se encontraron diferencias en el contenido de materia seca, donde tres materiales genéticos (07032.3, 10025.1 y 07062.1), con valores menores 20 %, no serían aptos para la obtención de fritura, sino para cocción. La gravedad específica fue similar entre los materiales genéticos, demostrando ser un parámetro no tan estricto para la selección como lo es el contenido de materia seca. Se observaron diferencias en la actividad de la polifenol oxidasa (2.1 a 101.43 U·g<sub>proteína</sub><sup>-1</sup> en peso seco [PS]) y el color de la fritura. Del total de materiales analizados, 10 son promisorios para la fritura, mientras que los restantes presentan problemas de bajo contenido de materia seca (15.5 a 17.19 %), alta actividad de la polifenol oxidasa (> 45 U·g<sub>proteína</sub><sup>-1</sup> en PS) y color no dorado u oscuro, que los haría menos atractivos tanto para la industria como para los consumidores.

**Palabras clave:** papa frita, materia seca, gravedad específica, polifenoles, capacidad antioxidante, polifenol oxidasa.



## Introduction

Potatoes, with a global production of about 380 million tons, are among the most consumed agricultural products worldwide, along with rice, barley and wheat (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016). From a nutritional point of view, this tuber is an important source of carbohydrates, but it is also a source of protein, vitamins (C, B3 and B6), minerals (potassium, phosphorus and magnesium) and compounds with antioxidant characteristics of a phenolic nature that contribute to its functional quality (Andre et al., 2007; Burlingame, Mouillé, & Charrondièrre, 2009). Intake of these compounds helps prevent oxidative tissue damage, which is linked to the development of diseases such as cancer, diabetes, and neurodegenerative disorders (Ezekiel, Singh, Sharma, and Kaur, 2013). Although the presence of phenolic compounds is considered important from a functional point of view, some of them constitute the substrate of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) enzymes. These enzymes are responsible for enzymatic browning, the end product of which is melanins, dark high molecular weight pigments that degrade the quality of the final product (Yoruk & Marshall, 2003).

The potato has an important capacity for adaptation, being able to grow and develop in very diverse environments due to its great genetic variability, which influences agronomic traits, productivity and resistance to diseases and pests, among other aspects (Navarre, Goyer, & Shakya, 2009). In addition to these features, genetic variability also manifests itself in composition, affecting carbohydrates, proteins, vitamins, amount and type of phenolic compounds, and enzyme activity (Ezekiel et al., 2013).

It is very important to have genetic materials adapted to the place where they are grown; therefore, the development of local breeding programs becomes essential (Rodríguez-Galdón et al., 2012). In these programs, in addition to the agronomic traits of the potato, its composition must be considered, since the suitability for use of the different genetic materials, as well as the quality of the product obtained after processing, largely depend on it (Burlingame et al., 2009; Silveira, Oyarzún, Sepúlveda, & Escalona, 2017).

In the case of potato materials intended for frying, the attributes with the greatest impact are dry matter content and specific gravity, since they are indicative of the amount of starch in the potato, which will determine the quality of the frying process. In potato, the highest dry matter content ( $\geq 20\%$ ), which corresponds to the highest specific gravity ( $\geq 1.080$ ) and low levels of reducing sugars ( $\leq 250\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  of fresh weight [FW]), result in chips with lower oil content,

## Introducción

La papa, con una producción mundial de unas 380 millones de toneladas, se encuentra dentro de los productos agrícolas de mayor consumo a nivel mundial, junto con el arroz, la cebada y el trigo (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016). Desde el punto de vista nutricional, este tubérculo realiza un importante aporte de carbohidratos, pero además es fuente de proteínas, vitaminas (C, B3 y B6), minerales (potasio, fósforo y magnesio) y compuestos con características antioxidantes de naturaleza fenólica que contribuyen a su calidad funcional (Andre et al., 2007; Burlingame, Mouillé, & Charrondièrre, 2009). La ingesta de este tipo de compuestos ayudan en la prevención del daño tisular oxidativo, vinculado con el desarrollo de padecimientos como cáncer, diabetes y enfermedades neurodegenerativas (Ezekiel, Singh, Sharma, y Kaur, 2013). Si bien la presencia de compuestos fenólicos se considera importante desde el punto de vista funcional, algunos de ellos constituyen el sustrato de las enzimas polifenol oxidasa (PFO) y las peroxidases (POD). Dichas enzimas son responsables del pardeamiento enzimático, cuyo producto final son las melaninas, pigmentos oscuros de alto peso molecular que demeritan la calidad del producto final (Yoruk & Marshall, 2003).

La papa tiene una importante capacidad de adaptación, pudiendo crecer y desarrollarse en ambientes muy diversos debido a su gran variabilidad genética, que influye tanto en las características agronómicas como en la productividad, resistencia a enfermedades y plagas, entre otras (Navarre, Goyer, & Shakya, 2009). Además de estas características, la variabilidad genética también se manifiesta en la composición, afectando a los carbohidratos, proteínas, vitaminas, cantidad y tipo de compuestos fenólicos, y actividad de las enzimas (Ezekiel et al., 2013).

Es de suma importancia contar con materiales genéticos adaptados al lugar donde se cultivan; por ello, el desarrollo de los programas de mejoramiento genético locales se vuelve fundamental (Rodríguez-Galdón et al., 2012). En dichos programas, además de las características agronómicas de la papa, se debe considerar su composición, pues de ella depende, en gran medida, la aptitud de uso de los diferentes materiales genéticos, así como la calidad del producto obtenido luego del procesamiento (Burlingame et al., 2009; Silveira, Oyarzún, Sepúlveda, & Escalona, 2017).

En el caso de los materiales de papa destinados para fritura, los atributos de mayor impacto son el contenido de materia seca y la gravedad específica, ya que son indicativos de la cantidad de almidón que tiene la papa, lo que será determinante en la calidad

more crispness and no dark color (Gallego, Miguez, & de la Montaña, 2006; Morales-Fernández et al., 2015).

Considering the above, the objective of this paper was to characterize 24 genetic potato materials, selected for frying, and a commercial control, in terms of physical (dry matter, specific gravity and color) and chemical (total polyphenols, total antioxidant capacity and polyphenol oxidase activity) quality attributes.

## Materials and methods

### Plant material

In the work, 25 genetic materials, 24 from the National Agricultural Research Institute's (INIA, Las Brujas, Canelones, Uruguay) Genetic Improvement Program and a commercial variety (Challenger), were analyzed. The 24 materials were selected based on their good agronomic performance, mainly considering productivity and disease resistance, while 'Challenger', of Dutch origin, is suitable for frying and highly valued by the Uruguayan agroindustry. The materials were obtained from the spring cycle (southern hemisphere), for which they were sown in September and harvested in early December.

After harvest, the tubers were cured (18 °C, 85 % relative humidity, 12 days), a process by which harvest wounds heal, due to periderm formation, which reduces tuber dehydration and the entry of pathogens. After curing, the materials were characterized considering their shape and color of peel, pulp and chip (Figure 1); for this, three replications of 10 tubers each were used.

### Potato frying

Three mm thick flakes were obtained with a kitchen mandoline (Tescoma®, Spain) and placed in water to avoid oxidation until frying, prior to which the flakes were removed from the water, centrifuged (Ilko®, Chile) and dried with a paper towel. Frying was done in a domestic fryer (model AF101932, Moulinex®, Spain), with sunflower oil (Optimo, Cousa, Uruguay), at 180 °C for 3 min.

### Specific gravity

This variable was determined from the relationship between weight in air and weight in water, according to the methodology proposed by the International Potato Center (CIP, 2007). The determination was made in triplicate, with 10 tubers for each genetic material and replica. The formula used was as follows:

$$\text{Specific weight} = \frac{\text{Weight in air}}{\text{Weight in air} - \text{Weight in water}}$$

del proceso de fritura. En papa, el mayor contenido de materia seca ( $\geq 20$  %), que corresponde con una mayor gravedad específica ( $\geq 1.080$ ) y bajos niveles de azúcares reductores ( $\leq 250$  mg·100 g<sup>-1</sup> de peso fresco [PF]), da como resultado frituras con menor contenido de aceite, más crocantes y sin coloración oscura (Gallego, Miguez, & de la Montaña, 2006; Morales-Fernández et al., 2015).

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar 24 materiales genéticos de papa, seleccionados en primera instancia para la fritura, y un testigo comercial, a partir de atributos de calidad física (materia seca, gravedad específica y color) y química (polifenoles totales, capacidad antioxidante total y actividad de la polifenol oxidasa).

## Materiales y métodos

### Material vegetal

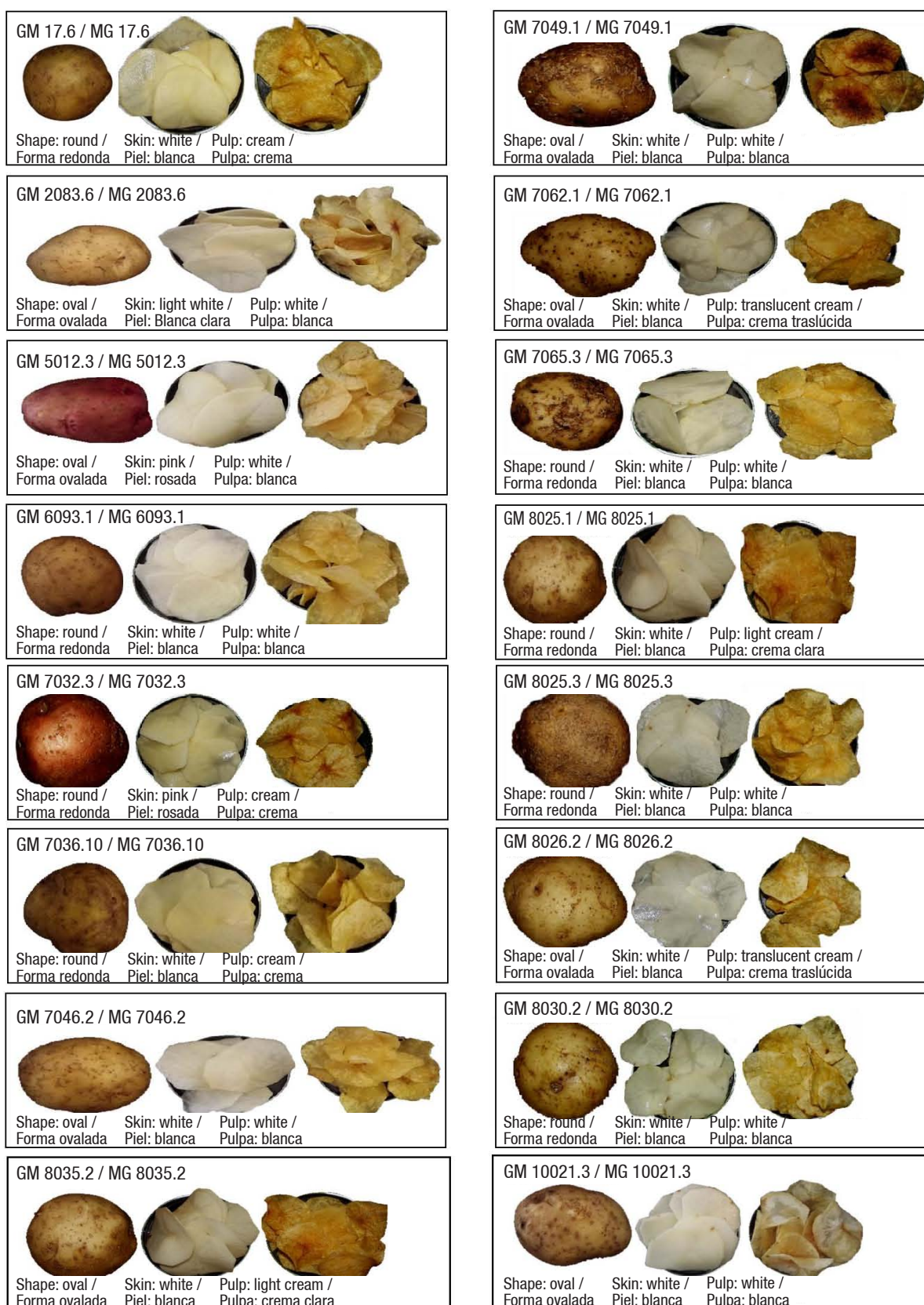
Se trabajó con 25 materiales genéticos, 24 procedentes del Programa de Mejoramiento Genético del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA, Las Brujas, Canelones, Uruguay) y una variedad comercial (Challenger). Los 24 materiales se seleccionaron con base en su buen comportamiento agronómico, considerando principalmente la productividad y resistencia a enfermedades, mientras que 'Challenger', de origen holandés, es apta para fritura y muy apreciada por la agroindustria uruguaya. Los materiales se obtuvieron del ciclo primavera (hemisferio sur), para lo cual se sembraron en setiembre y se cosecharon en los primeros días de diciembre.

Después de la cosecha, los tubérculos se sometieron a curado (18 °C, 85 % de humedad relativa, 12 días), proceso por el cual cicatrizan las heridas de cosecha, debido a la formación de peridermis, lo que reduce la deshidratación del tubérculo y el ingreso de patógenos. Luego del curado, los materiales se caracterizaron considerando su forma y color de cáscara, pulpa y de fritura (Figura 1); para ello, se utilizaron tres repeticiones de 10 tubérculos cada una.

### Fritado de la papa

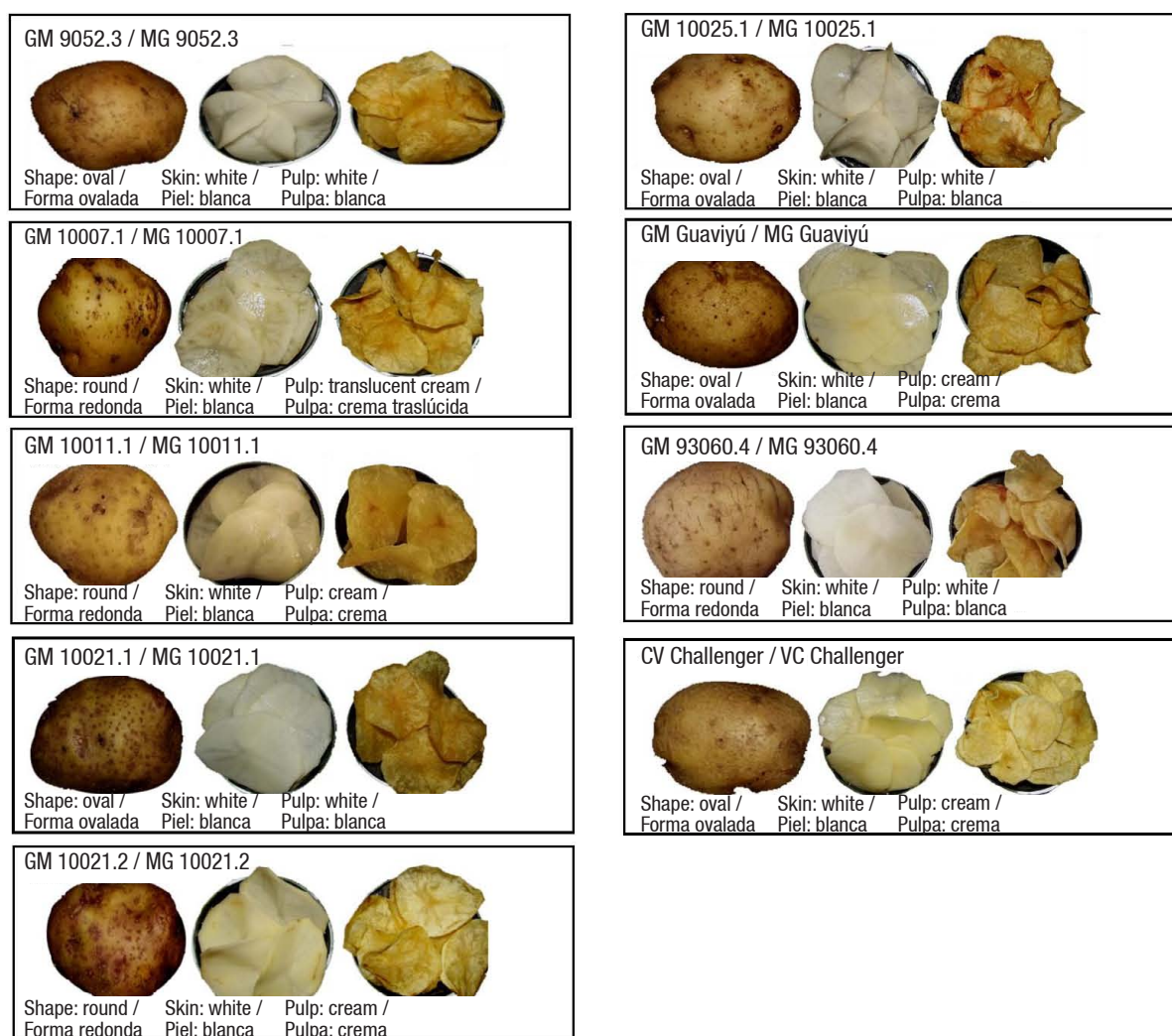
Las hojuelas de 3 mm de espesor se obtuvieron con un mandolina de cocina (Tescoma®, España), y se colocaron en agua para evitar la oxidación hasta el momento de realizar la fritura; previo al fritado, las hojuelas se retiraron del agua, se centrifugaron (Ilko®, Chile) y se secaron con papel de cocina. La fritura se realizó en una freidora doméstica (modelo AF101932, Moulinex®, España), con aceite de girasol (Optimo, Cousa, Uruguay), a 180 °C durante 3 min.





**Figure 1. Potato shape, peel color, pulp and potato chips from 25 genetic materials (GM = genetic material; CV = commercial variety).**

**Figura 1. Forma de la papa, color de la cáscara, pulpa y papas fritas de 25 materiales genéticos (MG = material genético; VC = variedad comercial).**



**Figure 1. Potato shape, peel color, pulp and potato chips from 25 genetic materials (GM = genetic material; CV = commercial variety). (Cont.)**

**Figura 1. Forma de la papa, color de la cáscara, pulpa y papas fritas de 25 materiales genéticos (MG = material genético; VC = variedad comercial). (Cont.)**

### Dry matter content

To estimate the dry matter content, 20 g of pulp from a composite sample consisting of 10 tubers (this for each material) were weighed, placed in Petri dishes and kept in an oven (model GO 27, Blue M, USA) at 80 °C until constant weight (Silveira et al., 2017). The measurement was made in triplicate and the values were expressed as a percentage. The following formula was used for the calculation:

$$\text{Dry matter (\%)} = \frac{\text{Dry weight}}{\text{Fresh weight}} \times 100$$

### Color

Color was measured in 90 slices of each genetic material, both in raw and fried potatoes, with a colorimeter (model TCR 200, PCE Instruments, China).

### Gravedad específica

Esta variable se determinó a partir de la relación entre el peso en aire y el peso en agua, de acuerdo con la metodología propuesta por el Centro Internacional de la Papa (CIP, 2007). La determinación se realizó por triplicado, con 10 tubérculos por cada material genético y réplica. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso en aire}}{\text{Peso en aire} - \text{Peso en agua}}$$

### Contenido de materia seca

Para estimar el contenido de materia seca, se pesaron 20 g de pulpa de una muestra compuesta por 10 tubérculos (esto para cada material), se colocaron en cajas de Petri y se mantuvieron en estufa (modelo GO 27, Blue M, EUA) a 80 °C hasta peso constante (Silveira

In the case of raw potato, the measurement was made before the frying of each genetic material. The parameters measured were  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , from the CIELab system, which were used to calculate the values of the hue angle [Hue =  $\arctan b^* \times (a^*)^{-1}$ ] and chroma (Chroma:  $C_{ab^*} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ ).

### Polyphenol oxidase (PPO) enzyme activity

The activity of the enzyme was determined by spectrophotometry (Unico, S-2150, USA), as reported by Cabezas-Serrano, Amodio, Cornacchia, Rinaldi, and Colelli (2009), with some modifications. Four grams of pulp lyophilized with a freeze dryer (model LGJ 12, NanBei Instrument Equipment, China) were taken from a composite sample just like that of dry matter. Eight mL of cold acetone were added to this sample and homogenized for 2 min; the residue was recovered and treated again with acetone. Next, the acetone was volatilized using a vacuum pump. Once dry, it was homogenized for 30 min with the extraction buffer (0.1 M and pH 6.6), containing 20 mmol of ascorbic acid, 5 g·L<sup>-1</sup> of Triton and 10 g·L<sup>-1</sup> of polyvinylpyrrolidone, and then centrifuged at 8,000 g, 4 °C for 30 min. For the determination, 0.1 mL of the supernatant, 0.9 mL of sodium phosphate buffer (0.05 M, pH 7) and 0.1 mL of a 0.2 M catechol solution prepared in the same buffer were used. Absorbance at 420 nm was measured with readings every 5 s for 4 min. Total protein content was estimated by the Bradford test (Bradford, 1976), using bovine serum albumin as standard. Values were expressed as a unit of enzyme activity per gram of protein ( $U \cdot g_{\text{protein}}^{-1}$  in dry weight [DW]).

### Total polyphenol (TP) content and total antioxidant capacity (TAC)

TP and TAC was determined in an extract obtained by homogenizing 0.8 g of lyophilized pulp (also from a composite sample) with 5 mL of 70 % methanol. The sample was then centrifuged at 1050 g, at 4 °C for 20 min, and the supernatant used as extract was separated. TPs were obtained using the methodology proposed by Singleton and Rossi (1965), with slight modifications. Values were expressed as milligrams of gallic acid equivalent per gram in DW ( $mg \text{ GAE} \cdot g^{-1}$  in DW).

TAC was obtained using the ferric reducing antioxidant power (FRAP) methodology established by Silveira et al. (2017). First, 900  $\mu\text{L}$  of reagent (10 mM 2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine in 40 mM HCl, 20 mM FeCl<sub>3</sub> and 300 mM acetate buffer at a ratio of 1:1:10 v/v at pH 3.6) were mixed with 90  $\mu\text{L}$  of distilled water and 30  $\mu\text{L}$  of extract. After 1 h, absorbance was measured at 595 nm. Values were expressed as milligrams of Trolox equivalents per gram in DW ( $mg \text{ TE} \cdot g^{-1}$  in DW).

et al., 2017). La medición se realizó por triplicado y los valores se expresaron en porcentaje. Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Materia seca (\%)} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \times 100$$

### Color

La medición del color se realizó en 90 hojuelas de cada material genético, tanto en papa cruda como en papa frita, con un colorímetro (modelo TCR 200, PCE Instruments, China). En el caso de la papa cruda, la medición se realizó previo a la elaboración de la fritura de cada material genético. Los parámetros medidos fueron  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , del sistema CIELab, los cuales se utilizaron para calcular los valores del tono o ángulo hue [Hue =  $\arctan b^* \times (a^*)^{-1}$ ] y la saturación o cromina (Croma:  $C_{ab^*} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ ).

### Actividad de la enzima polifenol oxidasa (PFO)

La actividad de la enzima se determinó por espectrofotometría (Unico, S-2150, EUA), de acuerdo con lo reportado por Cabezas-Serrano, Amodio, Cornacchia, Rinaldi, y Colelli (2009), con algunas modificaciones. Se tomaron 4 g de pulpa liofilizada en un equipo de liofilización marca NanBei Instrument Equipment (modelo LGJ 12, China), procedentes de una muestra compuesta igual que la de materia seca. A dicha muestra se le agregaron 8 mL de acetona fría y se homogeneizó por 2 min; se recuperó el residuo y se trató nuevamente con acetona. Posteriormente, se volatilizó la acetona con la ayuda de una bomba de vacío. Una vez seca, se homogeneizó durante 30 min con el buffer de extracción (0.1 M y pH 6.6), que contenía 20 mmol de ácido ascórbico, 5 g·L<sup>-1</sup> de tritón y 10 g·L<sup>-1</sup> de polivinilpirrolidona, y se centrifugó a 8,000 g, 4 °C durante 30 min. Para la determinación se utilizaron 0.1 mL del sobrenadante, 0.9 mL de buffer fosfato de sodio (0.05 M, pH 7) y 0.1 mL de una solución de catecol 0.2 M preparada en el mismo buffer. Se midió la absorbancia a 420 nm con lecturas cada 5 s durante 4 min. El contenido total de proteínas se estimó mediante el ensayo de Bradford (Bradford, 1976), utilizando albúmina de suero bovino como estándar. Los valores se expresaron como unidad de actividad de la enzima por gramo de proteína ( $U \cdot g_{\text{proteína}}^{-1}$  en peso seco [PS]).

### Contenido de polifenoles totales (PT) y capacidad antioxidante total (CAT)

La determinación de los PT y la CAT se realizó en un extracto obtenido al homogeneizar 0.8 g de pulpa liofilizada (también de una muestra compuesta), con



## Statistical analysis

A randomized complete block design was established. When significant differences were found in the analysis of variance, the means were subjected to Tukey's multiple comparison test ( $P \leq 0.05$ ). Additionally, the linear regression coefficient and Pearson's correlation coefficient between the analyzed variables were calculated. Data processing was performed with Infostat statistical software version 2017.

## Results and discussion

### Dry matter content

Most of the genetic materials evaluated (21 clones), and the commercial variety Challenger, had a dry matter content of between 20.0 and 23.5 %, and in four materials analyzed this content was between 15.5 and 19.9 % (Table 1).

The percentage of dry matter is one of the most important quality parameters, as it defines the suitability of the potato for use. This is because higher dry matter content results in lower oil absorption during the frying process, and therefore allows for a better textured product. According to Cacace, Huarte, and Monti (1994), the materials with good suitability for frying are those with more than 20 % dry matter. Materials with average dry matter values (18 to 20 %) are

5 mL de metanol al 70 %. Posteriormente, la muestra se centrifugó a 1,050 g, a 4 °C durante 20 min, y se separó el sobrenadante que se utilizó como extracto. Los PT se obtuvieron a partir de la metodología propuesta por Singleton y Rossi (1965), con ligeras modificaciones. Los valores se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo en PS (mg EAG·g<sup>-1</sup> en PS).

La CAT se obtuvo a partir de la metodología del poder antioxidante reductor del hierro (FRAP, por sus siglas en inglés), establecida por Silveira et al. (2017). Se mezclaron 900 µL de reactivo (2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazina 10 mM en HCl 40 mM, FeCl<sub>3</sub> 20 mM y tampón acetato 300 mM en proporción 1:1:10 v/v a pH 3.6) con 90 µL de agua destilada y 30 µL de extracto. Después de 1 h se midió la absorbancia a 595 nm. Los valores se expresaron como miligramos equivalentes de Trolox por gramo en PS (mg ET·g<sup>-1</sup> en PS).

### Análisis estadístico

Para cada variable, se estableció un diseño de bloques completos al azar. Cuando se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza, los valores se sometieron a una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Adicionalmente, se calculó el coeficiente de regresión lineal y el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables analizadas. El procesamiento de los datos se realizó con el programa estadísticos Infostat versión 2017.

**Table 1. Comparison of means of dry matter obtained in 25 genetic potato materials.**

**Cuadro 1. Comparación de medias de la materia seca obtenida en 25 materiales genéticos de papa.**

Clone/Clon	Dry matter (%) / Materia seca (%)	Clone/Clon	Dry matter (%) / Materia seca (%)
17.6	21.36 ± 1.08 ab <sup>z</sup>	8035.2	21.85 ± 0.26 a
2083.6	21.82 ± 0.42 a	9052.3	21.67 ± 0.27 ab
5012.3	20.83 ± 0.66 ab	10007.1	21.01 ± 0.92 ab
6093.1	22.56 ± 0.97 a	10011.1	23.04 ± 0.25 a
7032.3	17.19 ± 0.45 bcd	10021.1	22.64 ± 0.63 a
7036.1	23.44 ± 0.49 a	10021.2	23.01 ± 1.54 a
7046.2	22.04 ± 1.18 a	10021.3	22.20 ± 0.92 a
7049.1	21.63 ± 1.06 a	10025.1	16.31 ± 1.01 cd
7062.1	15.50 ± 0.62 d	793101.3	22.24 ± 0.42 a
7065.3	23.53 ± 0.64 a	93060.4	20.92 ± 0.79 ab
8025.1	21.62 ± 0.34 ab	Challenger	20.72 ± 1.59 abc
8025.3	21.26 ± 0.29 ab	LSD <sup>1</sup> / DMSH <sup>1</sup>	4.14
8026.2	19.95 ± 0.09 abc	CV (%)	6.22
8030.2	21.13 ± 0.84 ab		

LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. <sup>z</sup>Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). The values are means (n = 90) ± standard error of the mean.

DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación. <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Los valores son medias (n = 90) ± error estándar de la media.

more suitable for baking or mashing, and those with a lower content (15 to 17 %) are suitable for cooking. Considering the above, most of the materials analyzed (83.8 %), including the commercial variety, are suitable for frying, and a few (07032.3, 10025.1 and 07062.1) are suitable for cooking.

The materials were grown in the same season (spring), and in experimental plots with the same soil type and management; therefore, the differences in dry matter content are not due to an environmental effect, but rather to genetics, as stated by Martínez and Ligarreto (2005).

### Specific gravity

Specific gravity, like dry matter content, is related to the suitability of the potato for use. This is due to the high and positive correlation between the two variables (Ochsenbein, Hoffmann, Escher, Kneubühler, & Keiser, 2010). No statistical differences were found between the measured specific gravity values, which were between 1.05 and 1.11 (data not shown), indicating that, with the exception of clones 7062.1 and 10025.1, all materials would be suitable for frying. According to CIP (2007), specific gravity values should be between 1.09 and 1.11, in order to have low oil absorption (considered to be 30 to 40 %).

A linear correlation was found between the percentage of dry matter and specific gravity ( $P < 0.0001$ ), with a value of  $R^2 = 0.49$ , with the equation being as follows: dry matter (%) =  $-180.81 + 188.63$  (specific gravity). Kumar, Ezekiel, Singh, and Ahmed (2005), who obtained a linear regression value of  $R^2 = 0.93$ , report the following equation: dry matter (%) =  $-238.5 + 0.02$  (specific gravity); these values can be considered from medium to low.

Specific gravity is a widely used parameter at the industrial level to define the frying suitability of a raw material. However, in this case, it has been shown that it is not as accurate as using dry matter content, although both parameters should be considered together, especially in breeding programs.

### Color

According to the luminosity ( $L^*$ ) parameter of the raw pulp, the analyzed clones can be divided into two groups ( $P < 0.0001$ ): one of more luminous pulp with values from 66 to 67 and the other with values from 60 to 65 (Table 2). These values are lower than those recorded by Garcia, Lopes-do Carmo, Gonçalves-de Padua, and Leonel (2015), who report  $L^*$  figures greater than 76. The pulp of the analyzed materials had yellow tones ( $P < 0.0001$ ), being lighter in materials 8026.2 and 10025.1, with Hue values of 79.62 and 83.08,

## Resultados y discusión

### Contenido de materia seca

La mayoría de los materiales genéticos evaluados (21 clones), y la variedad comercial Challenger, tuvieron un contenido de materia seca de entre 20.0 y 23.5 %, y en cuatro materiales analizados dicho contenido estuvo entre 15.5 y 19.9 % (Cuadro 1).

El porcentaje de materia seca es uno de los parámetros de calidad más importantes, ya que define la aptitud de uso de la papa. Esto se debe a que el mayor contenido de materia seca determina una menor absorción de aceite durante el proceso de obtención de la fritura, y por lo tanto permite obtener un producto de mejor textura. Según Cacace, Huarte, y Monti (1994), los materiales con buena aptitud para el fritado son los que presentan más de 20 % de materia seca. Los materiales con valores medios de materia seca (18 a 20 %) son más apropiados para la preparación al horno o como puré, y los de menor contenido (15 a 17 %) son adecuados para la cocción. Considerando lo anterior, la mayoría de los materiales analizados (83.8 %), incluyendo la variedad comercial, son aptos para fritura, y unos pocos (07032.3, 10025.1 y 07062.1) son aptos para cocción.

Los materiales fueron cultivados en la misma estación (primavera), y en parcelas experimentales con el mismo tipo de suelo e igual manejo; por lo tanto, las diferencias en el contenido de materia seca no se deben a un efecto ambiental, sino a la genética, tal como lo mencionan Martínez y Ligarreto (2005).

### Gravedad específica

La gravedad específica, al igual que el contenido de materia seca, está relacionada con la aptitud de uso de la papa. Esto se debe a la correlación alta y positiva que existe entre ambas variables (Ochsenbein, Hoffmann, Escher, Kneubühler, & Keiser, 2010). No se encontraron diferencias estadísticas entre los valores de gravedad específica medidos, que estuvieron entre 1.05 y 1.11 (datos no mostrados), lo que indica que, a excepción de los clones 7062.1 y 10025.1, todos los materiales serían aptos para preparar frituras. De acuerdo con el CIP (2007), los valores de gravedad específica deben estar comprendidos entre 1.09 y 1.11, para que la absorción de aceite sea baja (considerándose como baja a valores de 30 a 40 %).

Se encontró una correlación lineal entre el porcentaje de materia seca y la gravedad específica ( $P < 0.0001$ ), con un valor de  $R^2 = 0.49$ , ajustando la ecuación quedaría de la siguiente manera: materia seca (%) =  $-180.81 + 188.63$  (gravedad específica). Kumar, Ezekiel, Singh, y Ahmed (2005), quienes obtuvieron un valor de regresión lineal de  $R^2 = 0.93$ , reportan la siguiente ecuación: materia seca



respectively, and more yellow in the materials with Hue values  $\geq 90$ . Regarding the intensity of the color (Chroma), the observed variation is greater ( $P < 0.0001$ ), finding materials with very low values, between 2.74 and 3.50, indicating a grayish and not very pure color, and materials with values between 9.26 and 10.10, indicating a more vivid color.

In potato chips, highly significant differences were also found. The lowest  $L^*$  values (between 51 and 55) were measured in materials 10021.3, 7049.1, 93060.4, 5012.3 and 7065.3. The highest  $L^*$  corresponded to materials 10021.2, 7062.1 and 8030.2, with values between 60 and 63 (Table 3). According to previous works,  $L^*$  values  $\geq 55$  are considered acceptable (Wiberley-Bradford, Busse, & Bethke, 2016; Wiberley-Bradford & Bethke, 2017); therefore, those in the

(%) =  $-238.5 + 0.02$  (gravedad específica); estos valores se pueden considerar de medios a bajos.

La gravedad específica es un parámetro muy utilizado a nivel industrial para definir la aptitud de fritura de su materia prima. Sin embargo, en este caso, queda demostrado que no es tan preciso como utilizar el contenido de materia seca, aunque ambos parámetros deberían ser considerados de manera conjunta, en especial en los programas de mejoramiento genético.

### Color

De acuerdo con el parámetro luminosidad ( $L^*$ ) de la pulpa cruda, los clones analizados pueden dividirse en dos grupos ( $P < 0.0001$ ): uno de pulpa más luminosa con valores de 66 a 67 y otro con valores de

**Table 2. Comparison of means of raw potato pulp color parameters measured in 25 genetic materials.**

**Cuadro 2. Comparación de medias de los parámetros de color de la pulpa de papa cruda medidos en 25 materiales genéticos.**

Clone/Clon	$L^*$	Hue	Chroma/Croma
17.6	66.31 $\pm$ 0.18 bcdef <sup>z</sup>	90.19 $\pm$ 0.15 bcde	9.72 $\pm$ 0.12 a
2083.6	65.32 $\pm$ 0.25 fghij	85.76 $\pm$ 0.56 l	4.80 $\pm$ 0.10 ghi
5012.3	64.87 $\pm$ 0.23 hijk	90.97 $\pm$ 0.26 abc	6.63 $\pm$ 0.13 bc
6093.1	66.37 $\pm$ 0.2 abcdef	89.56 $\pm$ 0.44 cdefgh	2.74 $\pm$ 0.05 j
7032.3	66.47 $\pm$ 0.15 abcde	90.16 $\pm$ 0.26 bcdef	5.92 $\pm$ 0.12 cde
7036.1	67.50 $\pm$ 0.15 abc	89.78 $\pm$ 0.38 bcdefgh	10.1 $\pm$ 0.16 a
7046.2	65.56 $\pm$ 0.24 defghi	87.69 $\pm$ 0.41 ghijkl	5.13 $\pm$ 0.13 efg
7049.1	64.41 $\pm$ 0.24 jk	87.45 $\pm$ 0.23 hijkl	5.74 $\pm$ 0.20 cde
7062.1	66.22 $\pm$ 0.20 cdefg	87.82 $\pm$ 0.26 fghijkl	4.19 $\pm$ 0.06 fghi
7065.3	66.17 $\pm$ 0.22 cdefg	89.79 $\pm$ 0.26 bcdefgh	5.11 $\pm$ 0.15 efg
8025.1	64.37 $\pm$ 0.20 jk	88.59 $\pm$ 0.35 defghij	3.07 $\pm$ 0.06 j
8025.3	64.97 $\pm$ 0.19 k	86.29 $\pm$ 0.75 jkl	2.98 $\pm$ 0.05 j
8026.2	67.46 $\pm$ 0.32 a	79.62 $\pm$ 0.76 n	3.52 $\pm$ 0.18 hij
8030.2	66.56 $\pm$ 0.18 abcd	92.84 $\pm$ 0.13 a	9.26 $\pm$ 0.13 a
8035.2	65.94 $\pm$ 0.21 defgh	85.94 $\pm$ 0.32 l	5.8 $\pm$ 0.11 ef
9052.3	65.61 $\pm$ 0.2 deffghi	86.17 $\pm$ 0.57 kl	3.32 $\pm$ 0.05 ij
10007.1	65.84 $\pm$ 0.21 defghi	88.9 $\pm$ 0.24 cdefghi	7.61 $\pm$ 0.13 b
10011.1	65.36 $\pm$ 0.21 efg hij	89.97 $\pm$ 0.27 bcdefg	6.33 $\pm$ 0.15 cd
10021.1	64.80 $\pm$ 0.17 ijk	88.01 $\pm$ 0.44 efg hijkl	3.14 $\pm$ 0.05 j
10021.2	67.21 $\pm$ 0.17 abc	90.34 $\pm$ 0.57 bcde	9.64 $\pm$ 0.23 a
10021.3	65.54 $\pm$ 0.27 defghi	88.28 $\pm$ 0.35 defghijk	5.16 $\pm$ 0.23 efg
10025.1	65.13 $\pm$ 0.25 ghijk	83.08 $\pm$ 0.57 m	5.54 $\pm$ 0.11 de
793101.3	67.35 $\pm$ 0.17 ab	87.13 $\pm$ 0.50 ijkl	6.08 $\pm$ 0.16 cde
93060.4	62.32 $\pm$ 0.23 l	90.59 $\pm$ 0.84 abcd	4.51 $\pm$ 0.67 fgh
Challenger	60.56 $\pm$ 0.30 m	91.97 $\pm$ 0.41 ab	9.76 $\pm$ 0.19 a
LSD/DMSH	1.12	2.34	0.99
CV (%)	3.14	4.85	31.33

LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. <sup>z</sup>Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). The values are means ( $n = 90$ )  $\pm$  standard error of the mean.

DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación. <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Los valores son medias ( $n = 90$ )  $\pm$  error estándar de la media.

first group are not considered acceptable because they are darker. In this case, the tone values are very diverse, as shown in the same table ( $P < 0.0001$ ), since materials with more reddish-yellow tones (10025.1, 7049.1, 7036.1 and 7062.1) and materials with more yellowish tones, with values above 75, appear. The clones with the purest color were 7046.2, 8025.1, 7049.1, 17.6 and 7062.1, and the opposites in color were 7065.3, 5012.3, 100021.3 and 2083.6 ( $P < 0.0001$ ). On the other hand, no correlation was found between the color parameters measured, both in raw and fried potatoes, and the other variables evaluated (data not shown).

60 a 65 (Cuadro 2). Estos valores son menores a los registrados por Garcia, Lopes-do Carmo, Gonçalves-de Padua, y Leonel (2015), quienes reportan cifras de  $L^*$  mayores a 76. La pulpa de los materiales analizados presentó tonalidades amarillas ( $P < 0.0001$ ), siendo más clara en los materiales 8026.2 y 10025.1, con valores de 79.62 y 83.08 en Hue, respectivamente, y más amarilla en los materiales con valores de Hue  $\geq 90$ . En cuanto a la intensidad del color (Croma), la variación observada es mayor ( $P < 0.0001$ ), encontrándose materiales con valores muy bajos, de entre 2.74 y 3.50 indicando un color grisáceo y poco puro, y valores de entre 9.26 y 10.10, indicando un color más vívido.

**Table 3. Comparison of means of potato chip pulp color parameters measured in 25 genetic materials.**

**Cuadro 3. Comparación de medias de los parámetros de color de la pulpa de papa frita medidos en 25 materiales genéticos.**

Clone/Clon	$L^*$	Hue	Chroma/Croma
17.6	57.87 $\pm$ 0.72 cdefg <sup>z</sup>	70.67 $\pm$ 0.66 hi	24.8 $\pm$ 0.47 ab
2083.6	58.75 $\pm$ 1.25 bcdef	77.29 $\pm$ 1.44 bcde	16.45 $\pm$ 0.88 l
5012.3	51.82 $\pm$ 1.58 k	80.51 $\pm$ 1.16 a	17.48 $\pm$ 0.57 kl
6093.1	59.11 $\pm$ 0.75 bcde	72.82 $\pm$ 0.80 fgh	20.7 $\pm$ 0.53 fghi
7032.3	58.16 $\pm$ 0.95 bcdef	76.7 $\pm$ 0.76 cde	21.54 $\pm$ 0.46 cdefg
7036.1	59.36 $\pm$ 0.98 bcd	61.98 $\pm$ 1.31 j	21.77 $\pm$ 0.57 cdefg
7046.2	59.42 $\pm$ 0.86 bcd	70.77 $\pm$ 0.78 hi	23.24 $\pm$ 0.46 bc
7049.1	53.98 $\pm$ 0.86 ijk	64.52 $\pm$ 1.16 j	24.67 $\pm$ 0.49 ab
7062.1	60.91 $\pm$ 0.8 ab	57.22 $\pm$ 1.34 k	26.07 $\pm$ 0.47 a
7065.3	51.18 $\pm$ 1.02 k	76.01 $\pm$ 1.55 cdef	18.78 $\pm$ 0.55 jk
8025.1	58.72 $\pm$ 0.86 bcdef	71.84 $\pm$ 0.9 gh	24.56 $\pm$ 0.52 ab
8025.3	55.12 $\pm$ 0.85 ghij	75.98 $\pm$ 0.85 def	20.89 $\pm$ 0.58 efgh
8026.2	57.73 $\pm$ 0.73 cdefgh	71.54 $\pm$ 0.81 ghi	22.34 $\pm$ 0.54 cdef
8030.2	60.48 $\pm$ 1.04 abc	80.26 $\pm$ 0.71 ab	20.42 $\pm$ 0.53 ghij
8035.2	57.27 $\pm$ 0.73 defgh	72.17 $\pm$ 0.72 gh	22.69 $\pm$ 0.46 cd
9052.3	57.43 $\pm$ 0.93 defgh	71.47 $\pm$ 0.83 ghi	21.78 $\pm$ 0.45 cdefg
10007.1	56.12 $\pm$ 0.79 fghi	79.18 $\pm$ 0.96 abcd	20.82 $\pm$ 0.68 efghi
10011.1	57.50 $\pm$ 0.87 defgh	79.15 $\pm$ 0.99 abcd	21.48 $\pm$ 0.58 defg
10021.1	56.25 $\pm$ 0.91 efghi	75.59 $\pm$ 0.97 ef	21.72 $\pm$ 0.59 cdefg
10021.2	62.75 $\pm$ 1.10 a	69.71 $\pm$ 1.27 hi	22.09 $\pm$ 0.67 cdefg
10021.3	54.89 $\pm$ 1.32 hij	74.65 $\pm$ 1.64 efg	16.96 $\pm$ 1.02 l
10025.1	59.44 $\pm$ 0.96 bcd	68.35 $\pm$ 1.02 i	22.48 $\pm$ 0.53 cde
793101.3	58.65 $\pm$ 0.78 bcdef	79.21 $\pm$ 0.77 abc	20.9 $\pm$ 0.58 efgh
93060.4	53.53 $\pm$ 1.38 jk	77.22 $\pm$ 1.22 bcde	19.3 $\pm$ 0.63 hij
Challenger	56.63 $\pm$ 1.13 defghi	75.65 $\pm$ 1.23 ef	19.09 $\pm$ 0.46 ijk
LSD/DMSH	2.97	3.20	1.75
CV (%)	9.47	4.01	15.05

LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. <sup>z</sup>Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). The values are means ( $n = 90$ )  $\pm$  standard error of the mean.

DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación. <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Los valores son medias ( $n = 90$ )  $\pm$  error estándar de la media.

### Total polyphenols (TP) and total antioxidant capacity (TAC)

TP content was between 0.12 and 0.40 mg GAE·g<sup>-1</sup> in DW, as shown in Table 4. The main differences ( $P < 0.0244$ ) were recorded between materials 7046.2 and 10021.2 (0.4 and 0.38 mg GAE·g<sup>-1</sup> in DW, respectively), and materials 8025.3 and 8035.2 (with values of 0.13 and 0.12 mg GAE·g<sup>-1</sup> in DW, respectively). The commercial Challenger variety had a low value, which would explain, in part, its low susceptibility to enzymatic browning and its suitability for frying.

En la papa frita, también se encontraron diferencias altamente significativas. Los valores menores de L\* (entre 51 y 55) fueron medidos en los materiales 10021.3, 7049.1, 93060.4, 5012.3 y 7065.3. La mayor L\* correspondió a los materiales 10021.2, 7062.1 y 8030.2, con valores de entre 60 y 63 (Cuadro 3). De acuerdo con trabajos previos, se consideran aceptables valores de  $L^* \geq 55$  (Wiberley-Bradford, Busse, & Bethke, 2016; Wiberley-Bradford & Bethke, 2017); por lo tanto, los del primer grupo no se consideran aceptables por ser más oscuros. En este caso, los valores de tono son muy diversos, tal como se muestra en el mismo cuadro

**Table 4. Comparison of means of total polyphenols, polyphenol oxidase activity and total antioxidant capacity in dry weight of 25 genetic potato materials.**

**Cuadro 4. Comparación de medias de polifenoles totales, actividad de la polifenol oxidasa y capacidad antioxidante total en peso seco de 25 materiales genéticos de papa.**

Clone/ Clon	Total polyphenols (mg·g <sup>-1</sup> )/ Polifenoles totales (mg·g <sup>-1</sup> )	Polyphenol oxidase activity (U·g <sub>protein</sub> <sup>-1</sup> )/ Actividad de la polifenol oxidasa (U·g <sub>proteína</sub> <sup>-1</sup> )	Total antioxidant capacity (mg·g <sup>-1</sup> )/ Capacidad antioxidante total (mg·g <sup>-1</sup> )
17.6	0.26 ± 2.16 ab <sup>z</sup>	32.79 ± 1.29 defgh	0.91 ± 0.16 abcd
2083.6	0.30 ± 4.03 ab	36.4 ± 2.79 cdefgh	0.85 ± 0.1 bcde
5012.3	0.20 ± 5.34 ab	61.93 ± 4.51bc	0.48 ± 0.1 de
6093.1	0.28 ± 4.9 ab	38.79 ± 4.89 cdefg	0.71 ± 0.17 bcde
7032.3	0.27 ± 4.64 ab	11.25 ± 2.36 hij	0.64 ± 0.13 bcde
7036.1	0.22 ± 3.72 ab	9.84 ± 3.67 hij	0.44 ± 0.06 de
7046.2	0.40 ± 4.86 ab	45.80 ± 6.60 cdef	1.02 ± 0.22 abcd
7049.1	0.22 ± 5.85 ab	85.68 ± 9.8 ab	1.22 ± 0.15 abc
7062.1	0.28 ± 1.21 ab	54.28 ± 2.17 cde	0.70 ± 0.03 bcde
7065.3	0.28 ± 3.65 ab	45.03 ± 6.06 cdefg	0.77 ± 0.07 bcde
8025.1	0.30 ± 3.51 ab	101.43 ± 1.91 a	0.80 ± 0.15 bcde
8025.3	0.13 ± 4.38 b	21.95 ± 0.81 fghij	0.29 ± 0.05 e
8026.2	0.23 ± 2.43 ab	22.06 ± 1.68 fghij	0.51 ± 0.05 cde
8030.2	0.34 ± 9.44 ab	30.27 ± 2.4 efghi	1.06 ± 0.18 abc
8035.2	0.12 ± 1.49 b	18.4 ± 1.67 ghij	0.37 ± 0.06 de
9052.3	0.25 ± 6.79 ab	2.10 ± 0.78 j	0.74 ± 0.19 bcde
10007.1	0.30 ± 0.37 ab	58.64 ± 5.70 cd	0.57 ± 0.03 bcde
10011.1	0.23 ± 4.24 ab	57.94 ± 6.36 cd	0.56 ± 0.09 bcde
10021.1	0.30 ± 4.07 ab	5.74 ± 1.08 ij	0.67 ± 0.15 bcde
10021.2	0.38 ± 4.11 a	48.23 ± 6.32 cdef	1.06 ± 0.08 abc
10021.3	0.21 ± 5.5 ab	26.90 ± 4.17 fghij	1.63 ± 0.29 a
10025.1	0.24 ± 1.02 ab	41.43 ± 2.95 cdef	1.24 ± 0.15 ab
793101.3	0.17 ± 2.6 ab	46.25 ± 3.54 cdef	0.50 ± 0.05 de
93060.4	0.22 ± 5.22 ab	30.97 ± 6.78 efghi	0.72 ± 0.1 bcde
Challenger	0.12 ± 2.14 b	2.73 ± 0.06 j	0.46 ± 0.03 de
LSD/DMSH	24.23	27.33	0.73
CV (%)	30.98	23.18	30.67

LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. <sup>z</sup>Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). The values are means ( $n = 90$ ) ± standard error of the mean.

DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación. <sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Los valores son medias ( $n = 90$ ) ± error estándar de la media.



TAC values were between 0.29 and 1.63 mg TE·g<sup>-1</sup> in DW (Table 4), and in this case two groups were also identified ( $P < 0.0001$ ). The group with the highest values consists of materials with values between 1.06 and 1.63 mg TE·g<sup>-1</sup> in DW, where 10021.3 stands out. The group with the lowest values includes the materials 5012.3, 7036.1, 7055.1, 8025.3, 8035.2 and Challenger, with contents between 0.29 and 0.48 mg TE·g<sup>-1</sup> in DW. These values represent between 33 and 40 % less TAC compared to the materials in the first group, so they would have a lower functional quality.

The variability observed in both components may be due to factors such as degree of maturity, environmental conditions and genotype (Hu, Tsao, Liu, Sullivan, & McDonald, 2012; Ezekiel et al., 2013). In this case, as in dry matter, the differences may correspond to the genetic component. The fact that phenolic compounds are substrates for PPO indicates, *a priori*, that materials with lower content are less susceptible to enzymatic browning. In this regard, materials 8025.3 and 8035.2, which did not differ from the commercial control, are recommended.

A linear correlation was found between TAC and TP ( $P < 0.0001$ ), with a Pearson's correlation coefficient of 0.67, and by adjusting the equation it would be as follows:  $TAC = 0.1802 + 0.0205 (TP)$ , with a value of  $R^2 = 0.44$ . Although TP is one of the components of TAC, the materials with the highest TP content are not in all cases those with the highest TAC. The TP content includes flavonoids, other phenolic acids, and all compounds with phenolic features, but the specific composition of these phenolic compounds can vary among genetic materials, thus contributing differently to antioxidant activity (Pinheiro et al., 2016). The values measured in the analyzed materials and the correlation between the variables confirm this situation.

TAC indicates that there are materials that make a greater potential contribution of beneficial compounds to the health of consumers, although it should be considered that their components, especially vitamins, are affected during cooking.

#### Polyphenol oxidase (PPO) activity

PPO activity was the variable with the largest range of variation ( $P < 0.0001$ ). The measured values were found between 101.43 and 2.00 U·g<sub>protein</sub><sup>-1</sup> in DW. In the materials analyzed, 8025.1 and 7049.1 stood out, with the highest values (101.43 and 85.68 U·g<sub>protein</sub><sup>-1</sup> in DW, respectively), and 7032.3, 7036.1, 10021.1 and 9052.3, with the lowest values (between 2 and 11 U·g<sub>protein</sub><sup>-1</sup> in DW) (Table 4). The commercial variety Challenger exhibited an activity of 2.73 U·g<sub>protein</sub><sup>-1</sup> in DW, placing it in the group with the least activity, this being the other factor that would explain its low susceptibility to enzymatic browning and its suitability for frying.

( $P < 0.0001$ ), ya que aparecen materiales con tonalidades más amarillo-rojizas (10025.1, 7049.1, 7036.1 y 7062.1) y materiales con tonalidades más amarillas, con valores superiores a 75. Los clones con color más puro fueron 7046.2, 8025.1, 7049.1, 17.6 y 7062.1, y los opuestos en color fueron 7065.3, 5012.3, 100021.3 y 2083.6 ( $P < 0.0001$ ). Por otro lado, no se encontró correlación entre los parámetros de color medidos, tanto en la papa cruda como en la fritura, con las otras variables evaluadas (datos no mostrados).

#### Polifenoles totales (PT) y capacidad antioxidante total (CAT)

El contenido de PT estuvo entre 0.12 y 0.40 mg EAG·g<sup>-1</sup> en PS, tal como se muestra en el Cuadro 4. Las principales diferencias ( $P < 0.0244$ ) se registraron entre los materiales 7046.2 y 10021.2 (0.4 y 0.38 mg EAG·g<sup>-1</sup> en PS, respectivamente), y los materiales 8025.3 y 8035.2 (con valores de 0.13 y 0.12 mg EAG·g<sup>-1</sup> en PS, respectivamente). La variedad comercial Challenger presentó un valor bajo, lo que explicaría, en parte, su baja susceptibilidad al pardeamiento enzimático y su aptitud para fritura.

Los valores de CAT estuvieron entre 0.29 y 1.63 mg ET·g<sup>-1</sup> en PS (Cuadro 4), y en este caso también se identificaron dos grupos ( $P < 0.0001$ ). En el grupo de los valores más altos están los materiales con valores entre 1.06 y 1.63 mg ET·g<sup>-1</sup> en PS, donde destaca 10021.3. En el grupo de los valores más bajos están los materiales 5012.3, 7036.1, 7055.1, 8025.3, 8035.2 y Challenger, con contenidos entre 0.29 y 0.48 mg ET·g<sup>-1</sup> en PS. Estos valores representan entre el 33 y 40 % menos CAT en comparación con los materiales del primer grupo, por lo que tendrían una menor calidad funcional.

La variabilidad observada en ambos componentes puede deberse a factores como grado de madurez, condiciones ambientales y genotipo (Hu, Tsao, Liu, Sullivan, & McDonald, 2012; Ezekiel et al., 2013). En este caso, así como en la materia seca, las diferencias pueden corresponder al componente genético. El hecho de que los compuestos fenólicos sean sustrato para la PFO indica, *a priori*, que los materiales con menor contenido son menos susceptibles al pardeamiento enzimático. En este sentido, se recomiendan los materiales 8025.3 y 8035.2, que no se diferenciaron del testigo comercial.

Se encontró una correlación lineal entre la CAT y los PT ( $P < 0.0001$ ), con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.67, y ajustando la ecuación quedaría de la siguiente manera:  $CAT = 0.1802 + 0.0205 (PT)$ , con un valor de  $R^2 = 0.44$ . Si bien los PT son uno de los componentes de la CAT, no en todos los casos los materiales con mayor contenido de PT son los de mayor CAT. El contenido de PT incluye flavonoides, otros ácidos fenólicos, y todos los compuestos con características fenólicas,

The measured values are within the range reported by other authors, but at the lower end. In this regard, Cabezas-Serrano et al. (2009), in assessing the suitability for minimum processing of five commercial potato varieties, found an activity of between 10 and 14  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{protein}}^{-1}$  in FW, which according to the dry matter content reported by the authors corresponds to 52 and 105  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{protein}}^{-1}$ , respectively. Dario-Vitti, Fumi-Sasaki, Miguel, Kluge, and Moretti (2011) report an activity of between 12 and 22  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{protein}}^{-1}$  in FW for the Agata, Monalisa and Asterix varieties. These values would correspond to those measured in the low activity group of the present study.

Differences between materials were also reported by the authors mentioned above and by others in previous works. In this regard, Thygesen, Dry, and Robison (1995) conducted a comprehensive study linked to potato PPO. Among other aspects, these authors report the existence of variation in PPO activity in different genetic materials, where the tubers of the Saturna variety had between 3 and 4 times more activity than those of the Atlantic variety.

In general, the higher activity of the PPO enzyme indicates that materials 8025.1 and 7049.1 materials are more susceptible to enzymatic browning.

## Conclusions

Ten genetic potato materials were identified as promising for frying, and should thus continue within the breeding program. However, materials 5012.3 and 7049.1 (due to their high PPO activity and dark brown flake color defects), 7062.1 and 10025.1 (due to low dry matter content and unfavorable frying color), 7036.1, 7065.1 and 7065.3 (due to flake color problems), and 7032.3 (due to low dry matter) would not be suitable and should be considered for withdrawal from the program. However, since the results are for one year, it would be appropriate to consider at least two more years of evaluation.

### End of English version

## References / Referencias

- Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., Herrera, M. R., Hoffmann, L., Hauseman, J. F., Larondelle, Y. E., & Evers, D. (2007). Andean potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 366-378. doi: 10.1021/jf062740i
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254. doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3

pero la composición específica de éstos puede variar entre materiales genéticos, contribuyendo de manera diferente a la actividad antioxidante (Pinheiro et al., 2016). Los valores medidos en los materiales analizados y la correlación entre las variables confirman dicha situación.

La CAT indica que hay materiales que realizan un mayor aporte potencial de compuestos benéficos para la salud de los consumidores; aunque se debe considerar que sus componentes, en especial las vitaminas, son afectados durante la cocción.

## Actividad de la polifenol oxidasa (PFO)

La actividad de la PFO fue la variable que presentó el mayor rango de variación ( $P < 0.0001$ ). Los valores medidos se encontraron entre 101.43 y 2.00  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{proteína}}^{-1}$  en PS. En los materiales analizados destacaron 8025.1 y 7049.1, con los valores más altos (101.43 y 85.68  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{proteína}}^{-1}$  en PS, respectivamente), y 7032.3, 7036.1, 10021.1 y 9052.3, con los valores más bajos (entre 2 y 11  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{proteína}}^{-1}$  en PS) (Cuadro 4). La variedad comercial Challenger presentó una actividad de 2.73  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{proteína}}^{-1}$  en PS, situándose en el grupo de los de menor actividad, siendo este el otro factor que explicaría su baja susceptibilidad al pardeamiento enzimático y su aptitud para la fritura.

Los valores medidos están dentro del rango reportado por otros autores, pero en el extremo más bajo. En este sentido, Cabezas-Serrano et al. (2009), al evaluar la aptitud para el procesamiento mínimo de cinco variedades comerciales de papa, encontraron una actividad de entre 10 y 14  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{proteína}}^{-1}$  en PF, que de acuerdo con el contenido de materia seca reportado por los autores corresponde a 52 y 105  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{proteína}}^{-1}$ , respectivamente. Por su parte, Dario-Vitti, Fumi-Sasaki, Miguel, Kluge, y Moretti (2011) reportan una actividad de entre 12 y 22  $\text{U}\cdot\text{g}_{\text{proteína}}^{-1}$  en PF para las variedades Agata, Monalisa y Asterix. Estos valores corresponderían con los medidos en el grupo de baja actividad del presente trabajo.

Las diferencias entre materiales también fueron reportadas por los autores mencionados anteriormente y por otros en trabajos previos. En este sentido, Thygesen, Dry, y Robison (1995) realizaron un estudio completo vinculado con la PFO de la papa. Entre otros aspectos, estos autores mencionan la existencia de variación en la actividad de la PFO en diferentes materiales genéticos, donde los tubérculos de la variedad Saturna presentaron entre 3 y 4 veces más actividad que los de Atlantic.

De manera general, la mayor actividad de la enzima PFO indica que los materiales 8025.1 y 7049.1 son más susceptibles al pardeamiento enzimático.

- Burlingame, B., Mouillé, B., & Charrondiére, R. (2009). Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6) 494-502. doi: 10.1016/j.jfca.2009.09.001
- Cabezas-Serrano, A. B., Amodio, M. L., Cornacchia, R., Rinaldi, R., & Colelli, G. (2009). Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 38-144. doi: 10.1016/j.postharvbio.2009.03.009
- Cacace, J. E., Huarte, M. A., & Monti, M. C. (1994). Evaluation of potato cooking quality in Argentina. *American Journal of Potato Research*, 71(3), 145-153. doi: 10.1007/BF02849049
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2007). *Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones*. Lima, Perú: International Potato Center. Retrieved from <https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/14942262/ICG.pdf?version=1>
- Dario-Vitti, M. C., Fumi-Sasaki, F., Miguel, P., Kluge, R. A., & Moretti, C. L. (2011). Activity of enzymes associated with the enzymatic browning of minimally processed potatoes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(5), 983-990. doi: 10.1590/S1516-89132011000500016
- Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., & Kaur, A. (2013). Beneficial phytochemicals in potato - a review. *Food Research International*, 50(2), 487-496. doi: 10.1016/j.foodres.2011.04.025
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). *Statistical databases FAOSTAT*. Retrieved November 26, 2018 from <http://faostat3.fao.org/>
- Gallego, E. M., Miguez, M., & de la Montaña, J. (2006). Aptitud de variedades de patata para su transformación en barritas prefritas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(3), 189-194. doi: 10.1080/11358120609487691
- Garcia, E. L., Lopes-do Carmo, E., Gonçalves-de Padua, J., & Leonel, M. (2015). Potencialidade de processamento industrial de cultivares de batatas. *Ciência Rural*, 45(10), 1742-1747. doi: 10.1590/0103-8478cr20140072
- Hu, C., Tsao, R., Liu, R., Sullivan, J. A., & McDonald, R. (2012). Influence of cultivar and year on phytochemical and antioxidant activity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 485-493. doi: 10.4141/cjps2011-212
- Kumar, D., Ezekiel, R., Singh, B., & Ahmed, I. (2005). Conversion table for specific gravity, dry matter and starch content from under water weight of potatoes grown in north-Indian plains. *Potato Journal*, 32(1-2), 79-84. Retrieved from <https://docplayer.net/22055553-Conversion-table-for-specific-gravity-dry-matter-and-starch-content-from-under-water-weight-of-potatoes-grown-in-north-indian-plains.html>
- Martínez, N., & Ligarreto, G. (2005). Evaluación de cinco genotipos promisorios de papa *Solanum tuberosum* sp. *andígena* según desempeño agronómico y calidad industrial. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 17-27. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316951003.pdf>
- Morales-Fernández, S. D., Mora-Aguilar, R., Salinas-Moreno, Y., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., & Lozoya-Saldaña, H. (2015). Growth, yield and sugar content of

## Conclusiones

Se identificaron 10 materiales genéticos que se consideran promisorios para la elaboración de fritura, y que deberían continuar dentro del programa de mejoramiento genético. Por su parte, los materiales 5012.3 y 7049.1 (por su alta actividad de la PFO y defectos en el color de las hojuelas: marrón oscuro), 7062.1 y 10025.1 (por su bajo contenido de materia seca y color desfavorable de las frituras), 7036.1, 7065.1 y 7065.3 (por problemas en el color de las hojuelas), y 7032.3 (por bajo contenido de materia seca) no serían adecuados y se debería considerar su retiro del programa. No obstante, como los resultados corresponden a un año, sería conveniente considerar al menos dos años más de evaluación.

## Fin de la versión en español

- potato tubers at different physiological ages. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(2), 129-146. doi: 10.5154/rchsh.2014.06.031
- Navarre, D. A., Goyer, A., & Shakya, R. (2009). Nutritional value of potatoes: vitamin, phytonutrient, and mineral content. In: Singh, J., & Kaur, L. (Eds.), *Advances in potato chemistry and technology* (pp. 395-424). London, United Kingdom: Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-374349-7.00014-3
- Ochsenbein, C., Hoffmann, T., Escher, F., Kneubühler, H., & Keiser, A. (2010). Methods to routinely predict the texture quality of potatoes by tuber specific gravity. *Journal of Texture Studies*, 41(1), 1-16. doi: 10.1111/j.1745-4603.2009.00209.x
- Pinhero, R. G., Tsao, R., Liu, Q., Sullivan, J. A., Bizimungu, B., & Yada, R. Y. (2016). Protein and phenolic contents and antioxidant activities of 14 early maturing potatoes as affected by processing. *American Journal of Plant Sciences*, 7(1), 69-81. doi: 10.4236/ajps.2016.71008
- Rodríguez-Galdón, B., Hernández-Rodríguez, L., Ríos-Mesa, D., Lorenzo-León, H., Luna-Pérez, N., Rodríguez-Rodríguez, E. M., & Díaz-Romero, C. (2012). Differentiation of potato cultivars experimentally cultivated based on their chemical composition and by applying linear discriminant analysis. *Food Chemistry*, 133(4), 1241-1248. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.10.016
- Silveira, A. C., Oyarzún, D., Sepúlveda, A., & Escalona, V. H. (2017). Effect of genotype, raw-material storage time and cut type on native potato suitability for fresh-cut elaboration. *Postharvest Biology and Technology*, 128, 1-10. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.01.011
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. Retrieved from <https://www.ajevonline.org/content/16/3/144>
- Thygesen, P., Dry, I. B., & Robinson, S. P. (1995). Polyphenol oxidase in potato. *Plant Physiology*, 109, 525-531. Retrieved from <http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/109/2/525.full.pdf>



- Wiberley-Bradford, A. E., & Bethke, P. C. (2017). Rate of cooling alters chip color, sugar contents, and gene expression profiles in stored potato tubers. *American Journal Potato Research*, 94, 534-543. doi: 10.1007/s12230-017-9591-3
- Wiberley-Bradford, A. E., Busse, J. S., & Bethke, P. C. (2016). Temperature-dependent regulation of sugar metabolism in wild type and low-invertase transgenic chipping potatoes during and after cooling for low-temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 115, 60-71. doi: 10.1016/j.postharvbio.2015.12.020
- Yoruk, R., & Marshall, M. R. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a Review. *Journal of Food Biochemistry*, 27(5), 361-422. doi: 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00289.x