

EFFECT OF ROASTING-DRYING PROCESS ON PHYSICOCHEMICAL AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF ROASTED-DRIED PEPPERS (*Capsicum annuum* L.)

EFFECTO DEL PROCESO DE TOSTADO-DESHIDRATADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y ESTRUCTURALES DE CHILES TOSTADOS-SECOS (*Capsicum annuum* L.)

Miguel Á. Sánchez-Madrigal¹, Nydia V. Rentería-Ríos¹, Armando Quintero-Ramos^{1*}, Armando Segovia-Lerma², Hilda A. Piñón-Castillo¹, Paola A. Olivas-Hernández¹, Martha G. Ruiz-Gutiérrez¹, Gerardo Méndez-Zamora³

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas, Circuito Universitario s/n, Campus Universitario #2. 31125, Chihuahua, Chihuahua, México. ²Servicios Empresariales en Genética S.P.R. de R.L., Ciudad Meoqui, Chihuahua, México. ³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Francisco I. Madero s/n, ExHacienda el Cañada. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México (aquara60@gmail.mx)

ABSTRACT

Roasted-dried peppers (*Capsicum annuum* L.), known as “chile pasado”, are a common food item consumed in Mexico. During processing, physicochemical changes affect the quality of this foodstuff; these changes are related to the pepper varieties used. The objective of this study was to evaluate the effect of three green peppers (*Capsicum annuum* L.) varieties (Anaheim, Mirasol and a G1 hybrid from a cross between Anaheim and Mirasol) on their physicochemical and structural properties during the roasting-drying process. The hypothesis was that using new and more suitable pepper varieties during the roasting-drying process, would result in better yields and quality of roasted-dried peppers. The experimental design was completely randomized with two replicates per treatment and the experimental unit was a sample of each pepper variety. Peppers were roasted under fixed conditions and dried at 75 °C. Yield, water activity (a_w), moisture content, texture, pH, acidity, microstructural analysis, antioxidant activity, phenolic and capsaicinoid content, pungency, and the rehydration ratios were evaluated. Data were statistically analyzed by one-way ANOVA and a mean comparison using the Tukey’s test. The physical, chemical, and structural characteristics of hybrid G1 were similar to those of Mirasol. Roasting caused texture loss and increased antioxidant activity and phenolic and capsaicinoid contents. During drying, Mirasol and hybrid G1 showed decreased phenolic content and antioxidant

RESUMEN

Los chiles (*Capsicum annuum* L.) tostados secos, conocidos como “chile pasado” son un alimento de consumo común en México. Durante su proceso, los cambios fisicoquímicos afectan la calidad de este producto y estos cambios están relacionados con las variedades de chile usadas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres variedades (Anaheim, Mirasol y un híbrido G1 de una cruce entre Anaheim y Mirasol) de chiles verdes (*Capsicum annuum* L.) en sus propiedades fisicoquímicas y estructurales durante el proceso de tostado-deshidratado. La hipótesis fue que el uso de variedades nuevas y más adecuadas de chile durante el proceso de tostado-deshidratado resultaría en mejores rendimientos y calidad de chiles tostados-deshidratados. Los chiles se tostaron bajo condiciones fijas y se secaron a 75 °C. El diseño experimental fue totalmente al azar con dos réplicas por tratamiento y la unidad experimental fue una muestra de cada variedad de chile. Las mediciones realizadas fueron rendimiento, actividad de agua (a_w), contenido de humedad, textura, pH, acidez, análisis microestructural, actividad antioxidante, contenido fenólico y de capsaicinoides, pungencia, y las relaciones de rehidratación. Los datos se analizaron estadísticamente por un ANDEVA de una vía y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las características físicas, químicas y estructurales del híbrido G1 fueron similares a las de Mirasol. El tostado causó pérdida de textura y aumentó la actividad antioxidante, así como los contenidos fenólicos y de capsaicinoides. Durante la deshidratación, Mirasol y el híbrido G1 presentaron una reducción en contenido fenólico y actividad antioxidante y un aumento en contenido de capsaicina. La reducción en la firmeza de tejidos deshidratados-rehidrata-

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2018. Aprobado: junio, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 319-335. 2019.

activity and increased capsaicin content. The loss of firmness in dried-rehydrated tissues was 94.1-96.8 %. Hybrid G1 had improved yield compared with Mirasol; however, Anaheim peppers showed the highest yield. Additionally, phenolic and capsaicinoid content were higher in hybrid G1 than in Anaheim. Hybrid G1 exhibited advantageous functional characteristics that could be used in roasting and drying processes for the production of food ingredients.

Key words: *Capsicum annuum* L., hybrid pepper, roasting-drying, antioxidants, capsaicinoids.

INTRODUCTION

Pepper (*Capsicum annuum* L.) is an important and valuable agricultural crop cultivated worldwide (Ornelas-Paz *et al.*, 2010; Rameshwaran *et al.*, 2016). In addition to providing flavor, aroma, and color to foods, peppers contain high concentrations of biofunctional and antioxidant compounds, such as phenolics and vitamin C (Ornelas-Paz *et al.*, 2013). The pungency of peppers is due to the presence of capsaicinoids (capsaicin, dihydrocapsaicin, and nordihydrocapsaicin) (Schweiggert *et al.*, 2006; Al Othman *et al.*, 2011). Additionally, peppers contain other bioactive compounds, such as flavonoids and phenolic compounds, which possess antioxidant properties (Xavier and Pérez-Gálvez, 2016). *Capsicum annuum* varieties include a wide diversity of morphotypes, such as Ancho, Serrano, Anaheim, Jalapeño, Mirasol, Pasilla, and Mulato peppers, and these varieties have characteristics such as shape, color, flavor, pungency, and adaptation. Besides, peppers are processed for the production of several products (Gómez-Moriel *et al.*, 2012), including roasted-dried peppers known as “chile pasado”.

“Chile pasado” is a popular product in Northern Mexico, which is obtained by roasting the peppers using a direct flame until the skin surface is roasted, followed by cooling in water. The roasted peppers are then dehydrated to 8-12 % moisture. The roasted-dried peppers, or “pasado”, are rehydrated for incorporation as an ingredient in foods or sauces. The quality of this product (flavor, texture, rehydration, yield, and pungency) is influenced by factors such as pepper type, maturity and the technological aspects and operations of the roasting-drying process.

dos fue de 94.1-96.8 %. El híbrido G1 tuvo un rendimiento mejor en comparación con Mirasol; sin embargo, los chiles Anaheim presentaron el rendimiento más alto. Además, los contenidos fenólicos y de capsaicinoides fueron mayores en el híbrido G1 que en Anaheim. El híbrido G1 presentó características funcionales ventajosas que se podrían aprovechar en los procesos de tostado y deshidratado para la producción de ingredientes alimenticios.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., chile híbrido, tostado-deshidratado, antioxidantes, capsaicinoides.

INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum annuum* L.) es un producto agrícola importante y valioso, cultivado en todo el mundo (Ornelas-Paz *et al.*, 2010; Rameshwaran *et al.*, 2016). Además de brindar sabor, aroma y color a los alimentos, el chile contiene altas concentraciones de compuestos biofuncionales y antioxidantes, tales como fenólicos y vitamina C (Ornelas-Paz *et al.*, 2013). La pungencia de los chiles se debe a la presencia de capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina y nordihydrocapsaicina) (Schweiggert *et al.*, 2006; Al Othman *et al.*, 2011). Además, el chile contiene otros compuestos bioactivos, tales como flavonoides y compuestos fenólicos, que poseen propiedades antioxidantes (Xavier y Pérez-Gálvez, 2016). Las variedades de *C. annuum* incluyen una amplia diversidad de morfotipos: los chiles Ancho, Serrano, Anaheim, Jalapeño, Mirasol, Pasilla, y Mulato, los cuales tienen características como forma, color, sabor, pungencia y adaptación. Además, los chiles se procesan para la producción de varios productos (Gómez-Moriel *et al.*, 2012), incluyendo chiles tostados-deshidratados, conocidos como “chile pasado”.

El “chile pasado” es un producto popular en el norte de México, se obtiene tostando los chiles directamente sobre el fuego hasta que la piel del fruto quede tostada, se enfrían con agua, y los chiles tostados se deshidratan hasta alcanzar una humedad de 8-12 %. Los chiles tostados-deshidratados, o “pasados”, son rehidratados para su incorporación como ingrediente en alimentos o salsas. La calidad de este producto (sabor, textura, rehidratación, rendimiento y pungencia) es influida por factores como tipo de chile, madurez y aspectos tecnológicos y por las operaciones del proceso de tostado-deshidratado.

Green Mirasol and Anaheim (chilaca) peppers are typically used for production of roasted-dried peppers. Mirasol is a Mexican native pepper with a fruity flavor is used in typical plates of Mexican cuisine. The fruit of green Mirasol pepper is enlarged-triangle shaped, with a light green color; a length of 15 cm and width of 3-4 cm, being slightly sharpened on their ending segment. The fruit skin is thick and not waxy, with a bit tough, but smooth in texture. Mirasol peppers exhibit a greater pungency and flavor, but have low yields, whereas Anaheim peppers are characterized by their elongated curved green pod and a mild and sweet flavor. Their skin is waxy, glossy and semi thick. Fresh Anaheim peppers are bright and succulent presenting higher yields, because of their thicker pericarp, but exhibit lower pungency. Processing methods, such as cooking, blanching, roasting and drying, cause physicochemical changes in the final product (Ahmed *et al.*, 2002; Heredia-León *et al.*, 2004; Ornelas-Paz *et al.*, 2010). Thus, the yield and chemical changes associated with the sensory attributes of roasted peppers depend on the pepper type (Ornelas-Paz *et al.*, 2010; 2013), and the roasting-drying process using appropriate pepper types possessing both attributes is necessary. The objective of this study was to evaluate through the roasting-drying process three peppers varieties: Anaheim, Mirasol, and a hybrid pepper (resulting from a cross between the Anaheim and Mirasol pepper types), through the roasting-drying process, comparing their physicochemical and structural characteristics.

MATERIALS AND METHODS

Plant materials

Anaheim, the Mirasol cultivar of *C. annuum*, and a hybrid variety (G1) resulting from a cross between the Anaheim and Mirasol pepper types, provided by a local producer in Chihuahua, Mexico, were used in this study. Peppers were stored at 5 °C with 90 % relative humidity for five days prior to processing. Peppers were sanitized and characterized according to size, weight, and color (L^* , a^* , and b^* parameters) and by chemical analysis.

Chemical reagents

Capsaicin, dihydrocapsaicin, Folin-Ciocalteu's phenol reagent, 2, 2'-azobis-(2-amidinopropane) dihydrochloride

El uso típico de los chiles verdes Mirasol y Anaheim (chilaca) es para la producción de chiles tostados-deshidratados. El chile Mirasol es nativo de México con sabor frutal y se usa en platillos típicos de la cocina mexicana. El fruto de chile verde Mirasol es de forma triangular y grande, con un color verde claro, 15 cm de largo y 3-4 cm de ancho, y una punta ligeramente puntiaguda. La piel del fruto es gruesa y no cerosa, con una textura suave, y un poco duro. Los chiles Mirasol presentan una mayor pungencia y sabor, pero tienen rendimientos bajos, mientras que los chiles Anaheim se caracterizan por su vaina larga y verde y un sabor suave y dulce, y su piel es cerosa, lustrosa y semigruesa. Los chiles frescos Anaheim son brillantes y succulentos, su rendimiento es mayor debido a su pericarpio más grueso, y su pungencia es menor. Los métodos de procesamiento, como cocción, escaldado, tostado y deshidratación, causan cambios físico-químicos en el producto final (Ahmed *et al.*, 2002; Heredia-León *et al.*, 2004; Ornelas-Paz *et al.*, 2010). Por ello, el rendimiento y los cambios químicos relacionados con los atributos sensoriales de los chiles tostados dependen del tipo de chile (Ornelas-Paz *et al.*, 2010; 2013) y es necesario usar los tipos adecuados en el proceso de tostado-deshidratado. El objetivo de este estudio fue evaluar, por medio del proceso de tostado-deshidratado, tres variedades de chile: Anaheim, Mirasol y un chile híbrido (resultante de una cruce entre los tipos de chile Anaheim y Mirasol), a través del proceso de tostado-deshidratado, comparando sus características físico-químicas y estructurales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales vegetales

En este estudio se usaron tres tipos de chile, Anaheim, el cultivar Mirasol de *C. annuum* y una variedad híbrida (G1) resultante de una cruce entre los tipos de chile Anaheim y Mirasol, proporcionados por un productor local en Chihuahua, México. Los chiles se almacenaron a 5 °C con una humedad relativa de 90 % por 5 d previos al procesamiento. Los chiles se lavaron y caracterizaron en tamaño, peso y color (parámetros L^* , a^* y b^*), y por análisis químicos.

Reactivos químicos

Capsaicina, dihidrocapsaicina, reactivo de Folin-Ciocalteu, 2, 2'-azobis-(2-amidinopropano) dihidrocloruro (AAPH),

(AAPH), fluorescein, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox), and acid fuchsin were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis MO, USA). High-performance liquid chromatography (HPLC)-grade solvents (water, acetic acid, methanol, and acetonitrile), analytical grade solvents used for extractions and other reagents were obtained from J.T. Baker (Mexico City, Mexico).

Roasting-drying process

Peppers were roasted using a rotatory roaster, at 220 °C for 20 min for all treatments. Roasted peppers were immersed in cold water (5 °C) for skin removal and then dried at 75 °C in a forced convection tray dryer at an air speed of 4.6 m s⁻¹, until a moisture content of 0.101-0.199 kg water kg dry solid⁻¹ was obtained. Dried peppers were stored at room temperature (25 °C) in hermetically sealed plastic bags until analysis.

Morphological and physicochemical characterization of fresh, roasted, and dried peppers

Proximate composition

The moisture, protein, fat, fiber, and ash contents of the fresh peppers were measured according to AOAC methods 950.02, 960.52, 920.39, 962.09, and 923.03, respectively, and carbohydrates were calculated by difference (AOAC, 1998).

Size and weight

The width and length of 15 fresh peppers randomly selected from each variety were measured. Next, the peppers were cut and the peduncle, seeds, and pericarp were separated and weighed.

Color measurements

The color of the fresh peppers was measured using a Konica Minolta CR-400/410 (Minolta Co., Osaka, Japan) colorimeter. The L* (luminosity), a* (green to red) and b* (blue to yellow) parameters were determined by 20 measurements for each sample.

Physicochemical analysis

The pH and titratable acidity (expressed as % citric acid) of fresh, roasted, and dried peppers were analyzed following AOAC methods 981.12 and 942.15 (AOAC, 1996). Water activity (a_w) was measured using a Decagon (model Pawkit model; Aqualab, USA) at 25 °C. Yield was determined by calculating

fluoresceína, ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-carboxílico (Trolox), y fucsina ácida se adquirieron de Sigma-Aldrich (St. Louis MO, USA). Los solventes de grado de cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) (agua, ácido acético, metanol y acetonitrilo), solventes de grado analítico usados para extracciones y otros reactivos se obtuvieron de J. T. Baker (Ciudad de México, México).

Proceso de tostado-deshidratado

Todos chiles se tostaron en un tostador rotatorio a 220 °C por 20 min. Los chiles tostados se sumergieron en agua a 5 °C para remover la piel y se deshidrataron a 75 °C en un secador de bandejas de convección forzada a una velocidad del aire de 4.6 m s⁻¹, hasta un contenido de humedad de 0.101-0.199 kg agua kg⁻¹ sólido seco. Los chiles deshidratados se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) en bolsas de plástico con sellado hermético hasta su análisis.

Caracterización morfológica y fisicoquímica de chiles frescos, tostados y deshidratados

Composición proximal

Los contenidos de humedad, proteína, grasa, fibra y ceniza de los chiles frescos se midieron de acuerdo con los métodos AOAC 950.02, 960.52, 920.39, 962.09, y 923.03, respectivamente, y los carbohidratos se calcularon por diferencia (AOAC, 1998).

Tamaño y peso

El largo y ancho se midieron en 15 chiles frescos elegidos de manera aleatoria de cada variedad. Después, los chiles se cortaron y el pedúnculo, las semillas, y el pericarpio se separaron y pesaron.

Mediciones de color

El color de los chiles frescos se midió con un colorímetro Konica Minolta CR-400/410 (Minolta Co., Osaka, Japón). Los parámetros L* (luminosidad), a* (verde a rojo) y b* (azul a amarillo) se determinaron con 20 mediciones para cada muestra.

Análisis fisicoquímicos

El pH y la acidez titulable (expresada como % ácido cítrico) de chiles frescos, tostados y deshidratados se analizaron de acuerdo con los métodos AOAC 981.12 y 942.15 (AOAC, 1996). La

roasted pepper weight/fresh pepper weight (yield for the roasting process), dried pepper weight/roasted pepper weight (yield for the drying process), and dried pepper weight/fresh pepper weight (global yield).

Rehydration ratio

The rehydration ratio (RR) of treated peppers was measured according to Heredia-León *et al.* (2004). The dried samples were placed in distilled water at 70 °C using a solid/liquid ratio of 1:50. An evaluation of weight gain was performed by recording the weight of the peppers every 10 min for 1 h and then every 30 min until 4 h. Samples were collected from each dried pepper variety, drained using a steel mesh, and weighed. RR kinetics were measured in duplicate. Means were calculated for each sample using the RR calculation at each time point. The RR was determined based on the weight ratio of the product following rehydration and the initial weight of the product.

Texture

The texture, as maximum puncture force (MPF) of fresh, roasted, and rehydrated peppers was determined using a texturometer (TA-XT2, Texture Analyzer plus, UK) and a cylindrical flat-end punch with 2.38 mm diameter. The punch travelled at 5 mm s⁻¹ for a distance of 12 mm. The MPF of each pepper half was measured by making five punctures throughout the placental tissue. Fifteen fresh and processed pepper halves were used for each variety and an average value was obtained.

Microstructural analysis

To examine fresh, roasted, and rehydrated pepper samples at a cellular level, the pepper tissue was cut into cross-sections (approximately 0.5 mm), placed on glass slides, stained with aqueous 0.01 % (w/v) acid fuchsin (Sigma Chemicals, St. Louis, MO, USA) for 10 min, and analyzed by confocal laser scanning microscopy (LSM 700 model; Zeiss, Heidelberg, Germany).

Extract preparation

Extracts for determining antioxidant activity, phenolic and capsaicin contents, and pungency were obtained as described by Ornelas-Paz *et al.* (2010). One gram of pepper puree was homogenized in 10 mL of 80 % methanol with 0.5 % of sodium bisulfite solution. This mixture was sonicated in an ultrasonic bath (Branson 1800, USA) for 5 min, and then was centrifuged at 3200×g (Thermo IEC model CL3-R, USA) for 10 min. The supernatant was poured into a 10 mL volumetric flask and

actividad de agua (a_w) se midió con un Decagon (modelo Pawkit; Aqualab, EUA) a 25 °C. El rendimiento se determinó al calcular el peso del chile tostado/peso del chile fresco (rendimiento para el proceso de tostado), peso del chile deshidratado/peso del chile tostado (rendimiento para el proceso de deshidratación), y peso del chile deshidratado/peso del chile fresco (rendimiento global).

Relación de rehidratación

La relación de rehidratación (RR) de los chiles tratados se midió de acuerdo con Heredia-León *et al.* (2004). Las muestras deshidratadas se colocaron en agua destilada a 70 °C y con una relación sólido/líquido de 1:50. Para evaluar el aumento de peso se registró el peso de los chiles cada 10 min por 1 h, y luego cada 30 min por 4 h. Las muestras se tomaron de cada variedad de chile seco, colado con una malla de acero y se pesaron. La cinética de RR se midió por duplicado. Las medias se calcularon para cada muestra usando la estimación de RR en cada tiempo determinado. La RR se determinó con base en la relación de peso del producto posterior a la rehidratación y el peso inicial del producto.

Textura

La textura se determinó como la máxima fuerza de punción (MFP) de chiles frescos, tostados y rehidratados, usando un texturómetro (TA-XT2, Texture Analyzer plus, Reino Unido), con un punzón cilíndrico de punta plana con un diámetro de 2.38 mm, a una velocidad de 5 mm s⁻¹ en una distancia de 12 mm. La MFP de cada mitad de chile se midió haciendo cinco perforaciones en el tejido placental. Quince mitades de chiles frescos y procesados se usaron para cada variedad y se obtuvo un valor promedio.

Análisis microestructural

Para examinar las muestras frescas, tostadas y rehidratadas de chile a nivel celular, el tejido de los chiles se cortó de forma transversal (aproximadamente 0.5 mm), se colocó en un portaobjetos de vidrio, se tiñó con fucsina ácida acuosa 0.01 % (p/v) (Sigma Chemicals, St. Louis, MO, USA) durante 10 min, y se analizó con un microscopio confocal de barrido láser (modelo LSM 700; Zeiss, Heidelberg, Alemania).

Preparación del extracto

Los extractos para determinar la actividad antioxidante, los contenidos fenólicos y de capsaicina y pungencia se determinaron según lo descrito por Ornelas-Paz *et al.* (2010). Un gramo de

brought up to a volume with the above mentioned methanol/bisulfite solution. Extracts for capsaicinoid quantification were prepared similarly using 5 g of pure pepper and 25 mL of methanol.

Total phenolic content

Total phenolic content was determined according to the Folin-Ciocalteu colorimetric method as described by Singleton *et al.* (1999) with some modifications; 30 μL of the aqueous extracts were mixed with 3 mL of deionized water and then mixed with 200 μL of Folin-Ciocalteu's phenol reagent. The mixture was incubated for 10 min at room temperature (25 °C). Next, 20 g 100 mL⁻¹ of sodium carbonate solution (600 μL) was added and mixed. The mixture was incubated for 20 min at 40 °C and then cooled in an ice bath at room temperature (25 °C) and the developed color was measured at 760 nm using a Perkin Elmer spectrophotometer (Perkin-Elmer Lambda 25 UV/VIS, USA). The absorbance of the samples was compared with a gallic acid standard curve. The results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents of dried pepper sample (mg GAE 100 g⁻¹ d.m.). This determination was performed in triplicate for each extract.

Antioxidant activity

Antioxidant activity was measured using the oxygen radical absorbance capacity (ORAC) method described by Huang *et al.* (2002). The methanolic extracts (40 μL) of each sample and the Trolox standards were placed in a 96-well micro plate, 200 μL of the 1.4 mM fluorescein stock solution in a phosphate buffer solution (pH 7.4) were added to each well. Following incubation at 37 °C for 20 min, 35 μL of 2, 2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) in the same buffer were added. Fluorescence decay was measured using a micro plate reader (Thermo Scientific, Varioskan Flash, Vantaa, Finland) at 37 °C every minute for 60 min at 485 nm (excitation) and 535 nm (emission). The final ORAC values were calculated using the net area under the decay curves, and the results were expressed as Trolox equivalents of dried pepper sample ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$ d.m.). This determination was performed in triplicate for each extract.

HPLC analysis of capsaicinoids

HPLC analysis was performed using a Thermo Scientific Dionex Ultimate 3000 UHPLC system, equipped with a UV-visible and diode array detector (Thermo Scientific, Dionex, Sunnyvale, CA, USA). Separation was carried out on a Thermo

puré de Chile se homogeneizó en 10 mL de metanol al 80 % con 0.5 % de solución de bisulfito de sodio. Esta mezcla se sonicó en un baño ultrasónico (Branson 1800, USA) por 5 min, y se centrifugó a 3200×g (Thermo IEC modelo CL3-R, EUA) por 10 min. El sobrenadante se vertió en un matraz volumétrico de 10 mL y se llevó a un volumen con la solución de metanol/bisulfito ya descrita. Los extractos para la cuantificación de capsaicinoides se prepararon de manera semejante usando 5 g de puré de Chile y 25 mL de metanol.

Contenido fenólico total

El contenido fenólico total se determinó de acuerdo con el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu según lo descrito por Singleton *et al.* (1999) con algunas modificaciones. De los extractos acuosos 30 μL se mezclaron con 3 mL de agua desionizada, y después con 200 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu. La mezcla se incubó 10 min a temperatura ambiente (25 °C), se agregó 600 μL de solución de carbonato de sodio (20 g 100 mL⁻¹) y se mezcló. Esta mezcla se incubó 20 min a 40 °C y después se enfrió en un baño de hielo a temperatura ambiente (25 °C) y el color obtenido se midió a 760 nm con un espectrofotómetro Perkin Elmer (Perkin-Elmer Lambda 25 UV/VIS, USA). La absorbancia de las muestras se comparó con una curva estándar de ácido gálico. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico de muestra de Chile seco (mg EAG 100 g⁻¹ m.s.). Esta determinación se efectuó por triplicado para cada extracto.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se midió con el método de la capacidad de absorbancia de radical oxígeno (ORAC) descrito por Huang *et al.* (2002). Los extractos metanólicos (40 μL) de cada muestra y de los estándares Trolox se colocaron en una microplaca de 96 pozos y se agregaron a cada pozo 200 μL de la solución 1.4 mM de fluoresceína en amortiguador de fosfato (pH 7.4). Después de incubar a 37 °C por 20 min, se agregaron 35 μL de dihidrocloruro de 2, 2'-azobis(2-amidinopropano) (AAPH) al mismo amortiguador. El decaimiento de la fluorescencia se midió usando un lector de microplacas (Thermo Scientific, Varioskan Flash, Vantaa, Finlandia) a 37 °C cada minuto por 60 min a 485 nm (excitación) y 535 nm (emisión). Los valores finales de ORAC se calcularon usando el área neta bajo las curvas de decaimiento, y los resultados se expresaron como equivalentes Trolox de muestra de Chile seco ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$ m.s.). Esta determinación se efectuó por triplicado para cada extracto.

Scientific Dionex C18 (5 μm , 4.6 \times 150 mm) column. Extracts were filtered through a 0.45 μm membrane filter prior to injection. A gradient consisting of methanol (solvent A), acetonitrile (solvent B), and 1 % acidified water with acetic acid (solvent C) at a ratio of 60:10:30, respectively, was used for 10 min. The flow rate was 1.0 mL min^{-1} , and the injection volume was 8 μL of extract with a column temperature of 30 °C. The detector was set to a wavelength of 228 nm to detect and identify the capsaicinoids by their retention times using capsaicin and dihydrocapsaicin as standards. The concentration of each capsaicinoid in the extracts was calculated from the integrated area of each peak in the chromatogram. For quantification, external calibration curves were prepared for each standard. Peak areas from the chromatogram were plotted against known standard concentrations. Equations generated by linear regression were used to establish the capsaicinoid concentrations in the samples (Ornelas-Paz *et al.*, 2010).

Pungency

Pungency was determined using the Scoville unit (SHU) estimation according to Al Othman *et al.* (2001). This value was calculated by multiplying the capsaicin content in the pepper dry matter by the coefficient of the heat value for pure capsaicin (1.6×10^7).

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized with two replicates per treatment and the experimental unit was a sample of each pepper variety. Data for the three pepper types (Anaheim, Mirasol, and hybrid G1) for each treatment were analyzed using one-way ANOVA, and treatment means were compared by Tukey's test ($p \leq 0.05$). Data analysis was performed using Minitab version 16 software.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical characterization of plant materials

The proximate composition of the three pepper types is shown in Table 1. Moisture and fat contents were higher ($p \leq 0.05$) in Anaheim peppers than in Mirasol and G1 peppers. The highest crude fiber content was observed in Mirasol peppers. Anaheim peppers were the widest (Table 2), followed by G1 and Mirasol ($p \leq 0.05$). Mirasol peppers were the longest (15.2 cm), followed by Anaheim and G1 varieties. The weights of the peduncle and pericarp

Análisis HPLC de capsaicinoides

El análisis HPLC se realizó con un sistema Thermo Scientific Dionex Ultimate 3000 UHPLC, equipado con un detector de UV-visible y de arreglo de diodos (Thermo Scientific, Dionex, Sunnyvale, CA, USA). La separación se realizó en una columna Thermo Scientific Dionex C18 (5 μm , 4.6 \times 150 mm). Los extractos se filtraron a través de una membrana de 0.45 μm , previo a la inyección. El gradiente consistía de metanol (solvente A), acetonitrilo (solvente B), y agua acidificada al 1 % con ácido acético (solvente C) en una proporción de 60:10:30, respectivamente, por 10 min. La velocidad de flujo fue 1.0 mL min^{-1} y el volumen de la inyección fue 8 μL de extracto a una temperatura en la columna de 30 °C. La detección se realizó a una longitud de onda de 228 nm para identificar los capsaicinoides por sus tiempos de retención usando capsaicina y dihidrocapsaicina como estándares. La concentración de cada capsaicinoide en los extractos se calculó del área integrada de cada pico en el cromatograma. Para la cuantificación se prepararon curvas externas de calibración para cada estándar. Las áreas de los picos del cromatograma se graficaron contra las concentraciones conocidas de los estándares. Para establecer las concentraciones de capsaicinoides en las muestras se usaron las ecuaciones generadas por regresión lineal (Ornelas-Paz *et al.*, 2010).

Pungencia

La pungencia se determinó usando la estimación de unidad de Scoville (US), de acuerdo con Al Othman *et al.* (2001). Este valor se calculó multiplicando el contenido de capsaicina en la materia seca del chile por el valor del coeficiente para la capsaicina pura (1.6×10^7).

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue totalmente aleatorio, con dos réplicas por tratamiento y la unidad experimental fue una muestra de cada variedad de chile. Los datos para los tres tipos de chile (Anaheim, Mirasol e híbrido G1) para cada tratamiento se analizaron con un ANDEVA de una vía y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos se analizaron con el software Minitab versión 16.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física de materiales vegetales

La composición proximal de los tres tipos de chile se muestra en el Cuadro 1. Los contenidos de humedad

Table 1. Proximate composition[†] of three pepper varieties.
Cuadro 1. Composición proximal[†] de tres variedades de chiles.

Variety	Moisture (%)	Ash (%)	Fat (%)	Protein (%)	Crude fiber (%)	Carbohydrates (%)
Anaheim	93.39±0.98 ^a	0.07±0.01 ^b	3.65±0.35 ^a	1.29±0.15 ^a	1.36±0.09 ^c	0.65±0.01 ^c
Mirasol	88.72±0.34 ^b	1.04±0.03 ^a	0.35±0.09 ^b	1.68±0.25 ^a	4.73±0.20 ^a	3.45±0.47 ^b
G1	87.98±0.20 ^b	0.90±0.08 ^a	1.16±0.02 ^b	1.66±0.17 ^a	3.35±0.06 ^b	4.93±0.01 ^a

[†]Mean ± standard deviation. Means with different superscript in a column show significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$). ♦ [†]Media ± desviación estándar. Medias con diferentes letras en una columna presentan diferencias significativa (Tukey; $p \leq 0.05$).

differed significantly ($p \leq 0.05$) among the three varieties, with Anaheim peppers having the highest weights. Moreover, pericarp weight was higher in G1 than in Mirasol and peduncle weight was higher in Mirasol than in G1. Placenta weight was highest in Anaheim peppers ($p \leq 0.05$). Additionally, there were significant differences in the L^* , a^* , and b^* parameters among the three varieties ($p \leq 0.05$; Table 2). Taken together, these data indicate that the hybrid G1 pepper showed improvements in structural and color characteristics compared with Anaheim and Mirasol peppers.

The physicochemical properties of the three pepper varieties is shown in Table 3. No differences were observed between the a_w values of fresh, roasted, and dried peppers. The pH and acidity of fresh Mirasol peppers were significantly higher ($p \leq 0.05$) than those of both Anaheim and G1 peppers. Additionally, the pH of roasted and dried peppers decreased; the pH of G1 was the highest, followed by Mirasol and Anaheim. Acidity increased in roasted and dried peppers, with the highest effect in Mirasol variety. Changes in pH and acidity are attributed to the presence of organic acids, which may occur in greater or lesser content in ionized form in the plant tissue (Salisbury and Ross, 1994). This can lead to variety-dependent alterations in these variables.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PEPPERS

Textural changes in peppers

Figure 1 shows the MPF values of the peppers. The MPF of fresh peppers was the highest in Mirasol peppers, followed by G1 and Anaheim peppers, with significant differences between the pepper types ($p \leq 0.05$). In roasted peppers, the MPF values

y grasa fueron mayores ($p \leq 0.05$) en los chiles Anaheim que en los Mirasol y G1. El mayor contenido de fibra cruda se presentó en los chiles Mirasol. Los chiles Anaheim fueron los más anchos (Cuadro 2), seguidos por G1 y Mirasol ($p \leq 0.05$). Los chiles Mirasol fueron los más largos (15.2 cm), seguidos de las variedades Anaheim y G1. Los pesos del pedúnculo y el pericarpio presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las tres variedades, y los chiles Anaheim tuvieron los pesos más altos. Además, el peso del pericarpio fue mayor en G1 que en Mirasol y el peso del pedúnculo fue mayor en Mirasol que en G1. El peso de la placenta fue mayor en los chiles Anaheim ($p \leq 0.05$). Además, hubo diferencias significativas en los parámetros L^* , a^* y b^* entre las tres variedades ($p \leq 0.05$; Cuadro 2). Tomados en conjunto, estos datos indican que el chile híbrido G1 presentó mejoras en características estructurales y de color, en comparación con los chiles Anaheim y Mirasol.

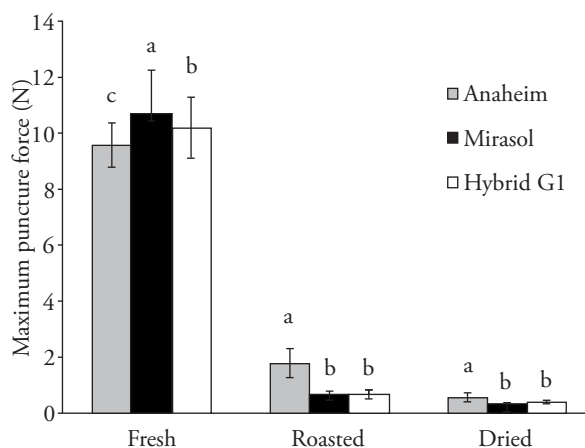


Figure 1. Textural changes during processing.
Figura 1. Cambios de textura durante el proceso.

**Table 2. Physical characterization[†] of three pepper varieties.
Cuadro 2. Caracterización física[†] de tres variedades de chiles.**

Variety	Size			Weight classification				Color		
	Width (cm)	Length (cm)	Peduncle (g)	Seeds (g)	Placenta (g)	Pericarp (g)	L*	a*	b*	
Anaheim	3.43±0.29 ^a	13.0±1.6 ^{ab}	3.5±0.28 ^a	2.0±0.06 ^a	2.04±0.08 ^a	38.0±2.54 ^a	41.42±0.56 ^a	-15.15±0.32 ^b	21.16±0.56 ^c	
Mirasol	1.74±0.31 ^c	15.2±2.9 ^a	2.4±0.05 ^b	2.1±0.01 ^a	0.82±0.01 ^b	11.5±1.13 ^c	38.49±0.50 ^c	-14.60±0.25 ^a	19.25±0.37 ^c	
G1	2.33±0.33 ^b	11.8±1.8 ^b		2.1±0.01 ^a	0.63±0.01 ^b	18.5±0.42 ^b	40.12±0.92 ^b	-15.95±0.72 ^c	20.52±0.90 ^b	

[†]Mean ± standard deviation. Means with different superscript in a column show significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$). ♦ [†]Media ± desviación estándar. Medias con diferentes letras en una columna presentan diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0.05$).

Table 3. Results of physicochemical analysis[†] of three pepper varieties (fresh, roasted and dried).
Cuadro 3. Resultados del análisis fisicoquímico[†] de tres variedades de chiles (fresco, tostado y deshidratado).

Determination	Variety	Fresh	Roasted	Dried
a_w	Anaheim	0.99±0.00 ^a	0.97±0.01 ^a	0.41±0.02 ^a
	Mirasol	0.99±0.00 ^a	0.97±0.01 ^a	0.43±0.01 ^a
	G1	0.99±0.00 ^a	0.96±0.01 ^a	0.40±0.02 ^a
pH	Anaheim	6.13±0.03 ^b	5.03±0.01 ^c	4.89±0.01 ^c
	Mirasol	6.21±0.03 ^a	5.20±0.01 ^b	5.09±0.01 ^b
	G1	6.14±0.02 ^b	5.23±0.01 ^a	5.15±0.01 ^a
Titratable acidity (%)	Anaheim	0.17±0.001 ^b	0.28±0.01 ^b	0.32±0.03 ^b
	Mirasol	0.20±0.005 ^a	0.35±0.01 ^a	0.46±0.03 ^a
	G1	0.18±0.002 ^b	0.29±0.01 ^b	0.30±0.05 ^b

[†]Mean ± standard deviation. Means with different superscript in a column show significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$). a_w : water activity. ♦ [†]Media ± desviación estándar. Medias con diferentes letras en una columna presentan diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0.05$). a_w : actividad de agua.

decreased significantly ($p \leq 0.05$), with noticeable losses of firmness (81.5 % for Anaheim, 93.64 % for Mirasol, and 93.51 % for G1). In roasted and dried-rehydrated peppers (Figure 1), the MPF was significantly higher in Anaheim peppers than in the other two types ($p \leq 0.05$).

Firmness is one of the most desirable attributes of rehydrated peppers (Castro *et al.*, 2008), and it was affected during pepper dehydration, particularly in Mirasol and G1 peppers. Firmness can be decreased by thermal processing due to softening of roasted and dried-rehydrated pepper tissues by turgor loss and solubilization of pectic substances in the cell wall middle lamella, inducing cellular separation and collapse of cell structure (Bourne, 1989; Heredia-León *et al.*, 2004; Vega-Gálvez *et al.*, 2008; Vega-Gálvez *et al.*, 2009; Gómez-Moriel *et al.*, 2012).

Rehydration ratio of roasted-dried peppers

Rehydration rate (Table 4) was the highest for Mirasol peppers, followed by G1 and Anaheim peppers. Figure 2 shows the kinetics of water absorption according to the RR obtained at each time point. Anaheim peppers absorbed the least water, followed by G1 and Mirasol peppers. The higher absorption in the Mirasol variety may be explained by greater collapse and changes in the cell wall and middle lamella permeability during the roasting-drying process, resulting in an increase of RR due water retention in the spaces created by cell damaged (Heredia-León *et al.*, 2004; Vega-Gálvez

Las propiedades fisicoquímicas de las tres variedades de chile se presentan en el Cuadro 3. No se observaron diferencias entre los valores a_w de chiles frescos, tostados y deshidratados. El pH y la acidez de los chiles Mirasol frescos fueron significativamente mayores ($p \leq 0.05$) que los de Anaheim y G1. Además, el pH de los chiles tostados y deshidratados disminuyó; el pH de G1 fue el más alto, seguido del Mirasol y Anaheim. La acidez aumentó en los chiles tostados y deshidratados, con mayor efecto en la variedad Mirasol. Los cambios en pH y acidez se atribuyen a la presencia de ácidos orgánicos que pueden estar en mayor o menor cantidad en forma ionizada en el tejido de la planta (Salisbury y Ross, 1994). Esto puede conducir a alteraciones que dependen de la variedad en estas variables.

Propiedades fisicoquímicas de chiles

Cambios de textura de chiles

La Figura 1 muestra los valores de MFP de los chiles. La MFP de los chiles frescos fue mayor en los chiles Mirasol, seguido de los chiles G1 y Anaheim, con diferencias significativas entre los tipos de chile ($p \leq 0.05$). En los chiles tostados, los valores de MFP disminuyeron significativamente ($p \leq 0.05$), con pérdidas notorias de firmeza (81.5 % para Anaheim, 93.64 % para Mirasol y 93.51 % para G1). En los chiles tostados y deshidratados-rehidratados (Figura 1), la MFP fue significativamente más alta en los chiles Anaheim que en los otros dos tipos ($p \leq 0.05$).

Table 4. Rehydration ratio and yield[†] for treatment of three pepper varieties.**Cuadro 4. Relación de rehidratación y rendimiento[†] para el tratamiento de tres variedades de chiles.**

Variety	RR Dried-rehydrated	Yield		
		Roasted	Dried	Global
Anaheim	6.68±0.43 ^b	86.57±1.17 ^a	14.60±0.93 ^b	12.64±0.97 ^a
Mirasol	9.36±0.58 ^a	51.56±2.63 ^b	14.98±0.99 ^b	7.15±0.04 ^b
G1	6.83±0.12 ^b	47.41±3.66 ^b	18.76±0.57 ^a	8.63±0.17 ^b

[†]Mean ± standard deviation. Means with different superscript by column show significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$). RR: rehydration ratio. ♦ Media ± desviación estándar. Medias con diferentes letras en una columna presentan diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0.05$). RR: relación de rehidratación.

et al., 2008; 2009; Gómez-Moriel *et al.*, 2012). This result is consistent with the MPF results obtained for Mirasol peppers (Figure 1).

Microstructural changes in processed peppers

The pepper tissues of the three pepper varieties for each treatment is shown in Figure 3. Fresh G1 peppers (Figure 3G) were similar to Mirasol peppers (Figure 3D), exhibiting a compact structure that could explain the high MPF values (Figure 1).

Besides, structural damage with cellular disorganization and loss of intracellular spaces was

La firmeza es uno de los atributos más deseables de los chiles rehidratados (Castro *et al.*, 2008), y fue afectada durante la deshidratación, en especial en los chiles Mirasol y G1. La firmeza puede disminuir por el procesamiento térmico debido a la suavización de los tejidos de chiles tostados y deshidratados-rehidratados por la pérdida de turgencia y la solubilización de sustancias pécticas en la laminilla media de la pared celular, induciendo a la separación celular y el colapso de la estructura celular (Bourne, 1989; Heredia-León *et al.*, 2004; Vega-Gálvez *et al.*, 2008; Vega-Gálvez *et al.*, 2009; Gómez-Moriel *et al.*, 2012).

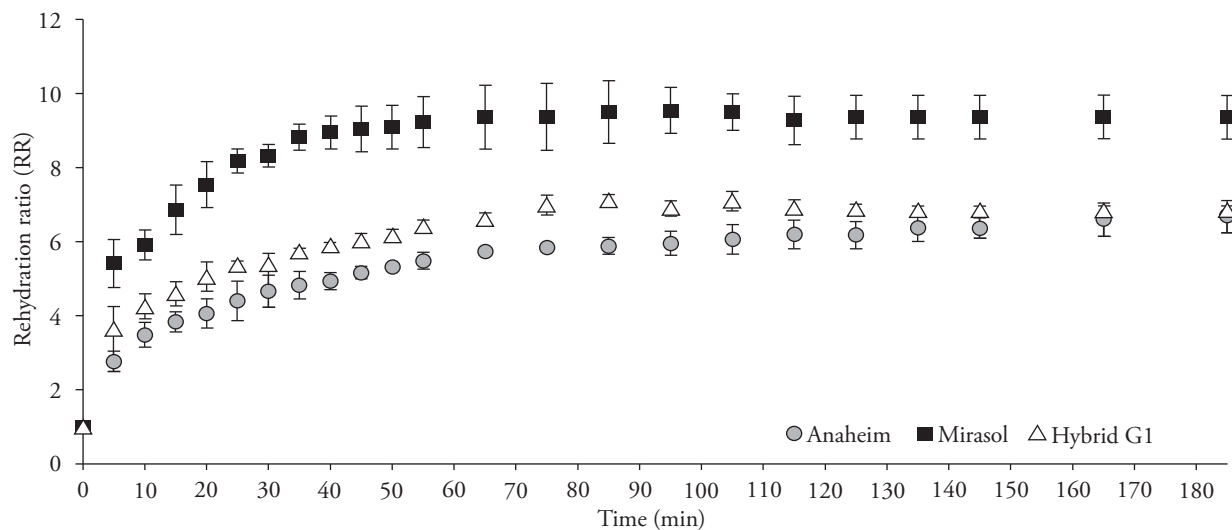


Figure 2. Rehydration ratio kinetics of the three pepper types.
Figura 2. Cinéticas de relación de rehidratación de los tres tipos de chiles.

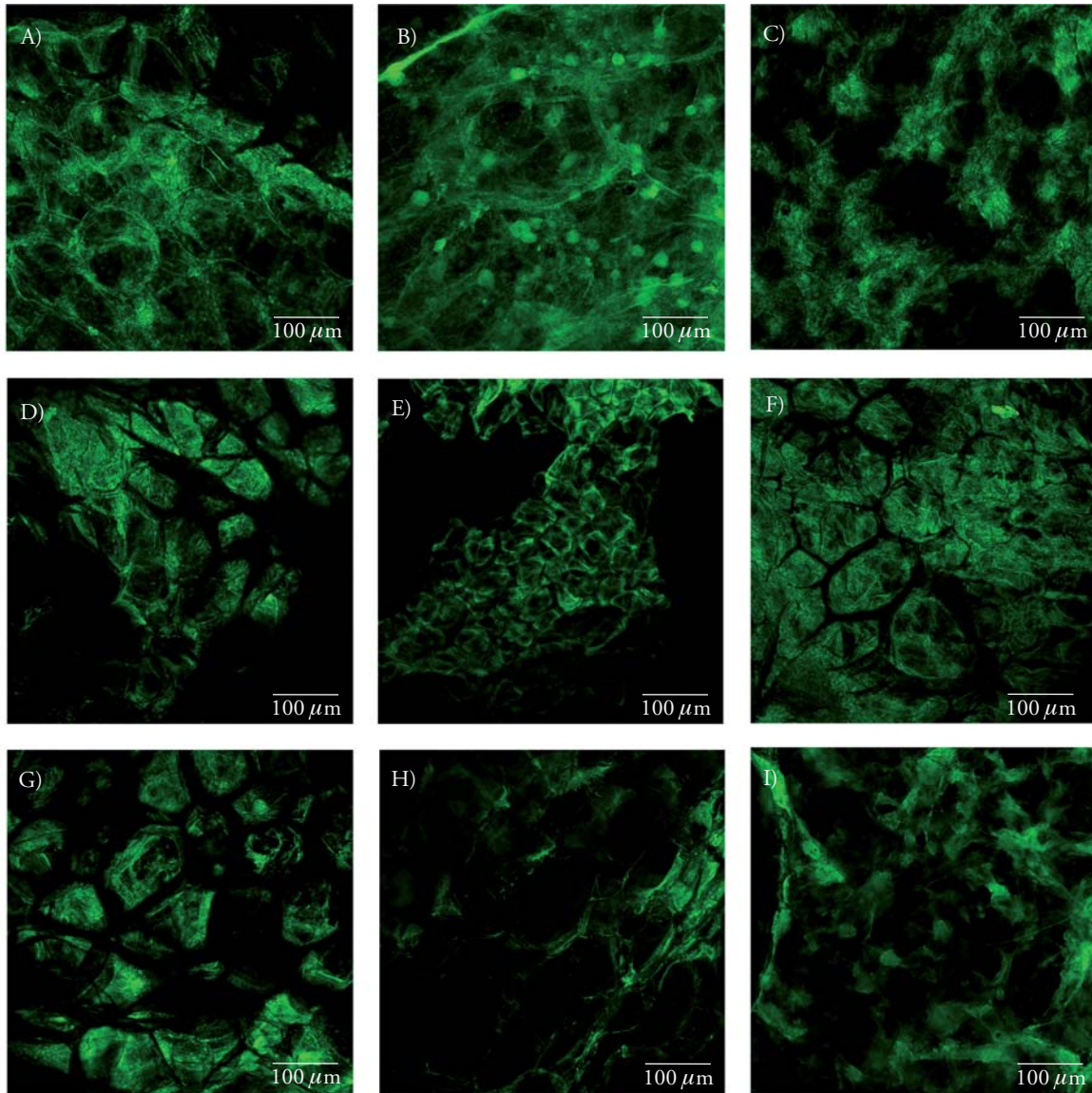


Figure 3. Confocal laser scanning microscopy micrographs of transverse tissue sections from peppers (fresh, roasted and dried-rehydrated). A) Fresh Anaheim; B) roasted Anaheim; C) dried-rehydrated Anaheim; D) fresh Mirasol; E) roasted Mirasol; F) dried-rehydrated Mirasol; G) fresh G1; H) roasted G1; I) dried-rehydrated G1. Magnification: 10 X.

Figura 3. Micrografías de microscopía confocal de barrido láser de cortes de tejido trasversal de chiles (frescos, tostados y deshidratados-rehidratados). A) Anaheim fresco; B) Anaheim tostado; C) Anaheim deshidratado-rehidratado; D) Mirasol fresco; E) Mirasol tostado; F) Mirasol deshidratado-rehidratado; G) G1 fresco; H) G1 tostado; I) G1 deshidratado-rehidratado. Magnificación: 10 X.

observed in roasted and dried-rehydrated peppers. Fresh Anaheim peppers (Figure 3A) exhibited larger cells; resulting in reduced damage during roasting (Figure 3B) compared with Mirasol (Figure 3E) and G1 peppers (Figure 3H). These data were consistent with the MPF results (Figure 1) and the RR results; Anaheim peppers had a lower RR than

Relación de rehidratación de chiles tostados-deshidratados

La velocidad de rehidratación (Cuadro 4) fue mayor en los chiles Mirasol, seguidos de G1 y Anaheim. La Figura 2 muestra las cinéticas de absorción de agua según la RR obtenida en cada tiempo determinado.

Mirasol peppers because of higher water retention and damage to the cell structure (Figure 3F). The RR of Anaheim and G1 peppers were similar (Table 4 and Figure 2), consistent with microscopic findings (Figure 3C and 3I).

Processed peppers yields

Anaheim peppers exhibited significantly higher post roasting yields ($p \leq 0.05$) and global yields compared with Mirasol and G1 peppers (Table 4). Additionally, Mirasol peppers showed higher post roasting yields after roasting than G1 peppers, whereas the global yield of G1 peppers was higher than of Mirasol peppers. These results could be attributed in part to the higher proportion of pericarp in Anaheim peppers (Table 2) and to the greater physical damage occurring during processing in Mirasol and G1 peppers.

Phenolic content and antioxidant activity of roasted-dried peppers

The phenolic content of fresh peppers (Table 5) ranged from 3224.3 to 5114.4 mg EAG 100 g⁻¹ d.m. Anaheim peppers showed significantly higher phenolic contents ($p \leq 0.05$) than Mirasol and G1 peppers. Phenolic content increased in roasted peppers for all varieties, with a significantly higher increase in Mirasol peppers (166.9 %) than in Anaheim (118.7 %) and G1 peppers (110 %). Increases in the phenolic content of thermally treated vegetables can be attributed to food matrix dehydration; thus, better extraction of phenolic compounds from foods and

Los chiles Anaheim absorbieron la menor cantidad de agua, seguidos de los chiles G1 y Mirasol. La absorción mayor en la variedad Mirasol puede deberse a un colapso más alto y cambios en la permeabilidad de la pared celular y la laminilla media durante el proceso de tostado-deshidratado, lo cual aumenta la RR debido a la retención de agua en los espacios creados por células dañadas (Heredia-León *et al.*, 2004; Vega-Gálvez *et al.*, 2008; 2009; Gómez-Moriel *et al.*, 2012). Este resultado es consistente con los valores de MFP obtenidos para los chiles Mirasol (Figura 1).

Cambios microestructurales en chiles procesados

Los tejidos de los chiles de las tres variedades para cada tratamiento se presentan en la Figura 3. Los chiles G1 frescos (Figura 3G) fueron similares a los chiles Mirasol (Figura 3D) y presentan una estructura compacta que podría explicar los valores altos de MFP (Figura 1).

Además, se observó daño estructural con desorganización celular y pérdida de espacios intracelulares en chiles deshidratados-rehidratados. Los chiles Anaheim frescos (Figura 3A) presentaron células más grandes y resultaron en daños menores durante el tostado (Figura 3B), en comparación con los chiles Mirasol (Figura 3E) y G1 (Figura 3H). Estos datos son consistentes con los resultados de MFP (Figura 1) y de RR; los chiles Anaheim tuvieron una RR menor que los chiles Mirasol debido a una mayor retención de agua y daños a la estructura celular (Figura 3F). La RR de los chiles Anaheim y G1 fueron similares (Cuadro 4 y Figura 2), consistente con los hallazgos de microscopía (Figuras 3C y 3I).

Table 5. Results of antioxidant properties[†] of three pepper varieties (fresh, roasted and dried).

Cuadro 5. Resultados de las propiedades antioxidantes[†] de tres variedades de chiles (frescos, tostados y deshidratados).

Determination	Variety	Fresh	Roasted	Change (%)	Dried	Change (%)
Phenolic content (mg GAE 100 g ⁻¹ d.m.)	Anaheim	5114.4±38.7 ^a	6073.2±60.2 ^a	118.7	1310.00±46.6 ^b	-74.38
	Mirasol	3251.3±17.1 ^b	5425.7±140.4 ^b	166.9	2142.70±143.7 ^a	-30.78
	G1	3224.3±83.3 ^b	3548.5±159.2 ^c	110.0	2109.00±40.2 ^a	-30.99
Antioxidant activity (mmol TE g ⁻¹ d.m.)	Anaheim	1123.5±52.7 ^a	1380.0±146.1 ^a	22.8	65.66±4.87 ^b	-94.15
	Mirasol	719.1±74.4 ^b	975.7±193.7 ^b	35.7	109.62±14.42 ^a	-84.75
	G1	710.2±30.7 ^b	729.3±56.6 ^b	2.7	103.18±11.57 ^a	-85.47

[†]Mean ± standard deviation. Means with different superscript by column show significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$). ♦ [†]Medias ± desviación estándar. Medias con diferentes letras por columna presentan diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0.05$).

inhibition of polyphenol degradation by inactivation of polyphenol oxidase enzyme occurred (Schweiggert *et al.*, 2006; Ornelas-Paz *et al.*, 2010; 2013; Qin *et al.*, 2016). The drying process decreased the phenolic contents in all varieties. A greater loss was found in Anaheim peppers (-74.38 %), whereas the phenolic contents of Mirasol (-30.78 %) and G1 (-30.99 %) was similar, but significantly different ($p \leq 0.05$) from that of Anaheim peppers.

Antioxidant activity showed similar trends (Table 5). Anaheim exhibited the highest antioxidant activity, followed by Mirasol and G1 varieties. The roasting process increased antioxidant activity by 35.7 % in Mirasol peppers, 22.8 % in Anaheim peppers, but only 2.7 % in G1 peppers, while the drying process decreased antioxidant activity in all peppers by 84.75 to 94.15 %.

Capsaicinoid content and pungency of roasted-dried peppers

The capsaicin and dihydrocapsaicin content of fresh peppers (Table 6) ranged from 386.9 to 1605.7 mg g⁻¹ d.m., and 2.32 to 649.9 mg g⁻¹ d.m., respectively, with the highest content in Mirasol peppers, followed by G1 and Anaheim peppers ($p \leq 0.05$). Based on capsaicin and dihydrocapsaicin content, G1 peppers are clearly were more similar to Mirasol peppers. The capsaicin and dihydrocapsaicin content in peppers varies according to variety and environmental factors, including the temperature at which the plant is grown, age or maturity of the plant, light, and position of the pepper on the plant

Rendimientos de chiles procesados

Los chiles Anaheim presentaron rendimientos postostado y globales mayores ($p \leq 0.05$) en comparación con los chiles Mirasol y G1 (Cuadro 4). Además, los chiles Mirasol presentaron rendimientos postostado mayores que los chiles G1, mientras que el rendimiento global de los chiles G1 fue mayor al de los chiles Mirasol. Estos resultados se pueden atribuir, en parte, a la proporción más alta de pericarpio en los chiles Anaheim (Cuadro 2) y al mayor daño físico ocurrido durante el proceso en los chiles Mirasol y G1.

Contenido fenólico y actividad antioxidantes de chiles tostados-deshidratados

El contenido fenólico de los chiles frescos (Cuadro 5) osciló entre 3224.3 y 5114.4 mg EAG 100 g⁻¹ m.s. Los chiles Anaheim presentaron contenidos fenólicos mayores ($p \leq 0.05$) que los chiles Mirasol y G1. El contenido fenólico aumentó en los chiles tostados de todas las variedades, con un aumento significativo mayor en los chiles Mirasol (166.9 %) que en los chiles Anaheim (118.7 %) y G1 (110 %). Aumentos en el contenido fenólico de vegetales tratados térmicamente se pueden atribuir a la deshidratación de la matriz alimenticia, por lo cual ocurre una mejor extracción de compuestos fenólicos de los alimentos y una inhibición de la degradación de polifenoles por la inactivación de la enzima de polifenol oxidasa (Schweiggert *et al.*, 2006; Ornelas-Paz *et al.*, 2010; 2013; Qin *et al.*, 2016). El proceso de deshidratación

Table 6. Capsaicinoid content and pungency[†] of three pepper varieties (fresh, roasted and dried).

Cuadro 6. Contenido de capsaicinoides y pungencia[†] de tres variedades de chiles (frescos, tostados y deshidratados).

Determination	Variety	Fresh	Roasted	Change (%)	Dried	Change (%)
Capsaicin (mg g ⁻¹ d.m.)	Anaheim	386.9±3.16 ^c	417.6±1.55 ^c	7.9	351.47±23.50 ^c	-9.17
	Mirasol	1605.7±45.0 ^a	2628.5±47.4 ^a	63.7	2608.1±32.86 ^a	62.4
	G1	1033.5±29.3 ^b	1252.7±6.33 ^b	21.2	1222.6±26.33 ^b	18.3
Dihydrocapsaicin (mg g ⁻¹ d.m.)	Anaheim	2.32±1.55 ^c	35.6±4.2 ^c	1434.4	16.4±3.18 ^c	606.8
	Mirasol	649.9±12.1 ^a	1470.0±76.4 ^a	126.18	230.6±0.52 ^a	-64.5
	G1	538.4±7.98 ^b	333.0±2.06 ^b	-38.15	106.5±10.41 ^b	-80.2
Pungency (SU)	Anaheim	6230.3±50.92 ^c	6723.6±25.05 ^c	7.9	5658.6±378.4 ^c	-9.17
	Mirasol	25 851.8±724.9 ^a	42 318.8±763.2 ^a	63.7	41 990.6±529.1 ^a	62.4
	G1	16 639.2±472.3 ^b	20 168.5±102.05 ^b	21.2	19 684.4±423.9 ^b	18.3

[†]Mean ± standard deviation. Means with different superscript by column show significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$). SU: Scoville heat units. ♦ [†]Media ± desviación estándar. Medias con diferentes letras en cada columna presentan diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0.05$). US: Unidades Scoville.

(Al Othman *et al.*, 2011; González-Zamora *et al.*, 2013).

The capsaicin content during the roasting process increased 63.7 % for Mirasol, 21.2 % for G1, and 7.9 % for Anaheim, with significant differences ($p \leq 0.05$). Besides, dihydrocapsaicin content increased 1434.4 % and 126.18 % in Anaheim and Mirasol varieties, respectively, following the roasting process; however, dihydrocapsaicin content decreased 38.15 % in G1 peppers. Increments in capsaicinoid content in thermally treated peppers can be attributed to dehydration of the food matrix, cell disruption during thermal processes (improving the extraction of the compounds), release of conjugated capsaicinoids, and inactivation of capsaicinoid-destroying. Content of capsaicin in dried peppers ranged from 351.4 to 2608.1 mg g⁻¹ d.m, and the dihydrocapsaicin content ranged from 16.4 to 230.6 mg g⁻¹ d.m. Although these values were lower than that in roasted peppers, capsaicin content increased 62.4 % in Mirasol peppers and 18.3% in G1 peppers, but decreased in Anaheim peppers (-9.17 %).

Dihydrocapsaicin content decreased (Table 6) following the drying process in Mirasol (-64.5 %) and G1 (-80.2 %) peppers, but increased in Anaheim pepper (606.8 %); although this is a considerable increase, the amount dihydrocapsaicin is very low compared to the other two varieties because it is a non-pungent pepper.

González-Zamora *et al.* (2013) reported that high temperatures constitute both a negative factor and a positive factor in the accumulation of capsaicinoids in certain peppers varieties. Thus, capsaicinoids levels increase more in hot peppers varieties than in sweet peppers varieties when the temperature increases; this may explain why capsaicin content decreases during the drying of Anaheim peppers.

Pungency ranged from 6230 to 25851 SU in fresh peppers and showed trends similar to capsaicin content. Mirasol peppers had the highest SU values in fresh, roasted, and dried forms, followed by G1 peppers and the less-pungent Anaheim pepper.

CONCLUSIONS

The new hybrid G1 pepper showed physical and chemical similitude with Mirasol, although with an improvement in pericarp content. Also, the structural and color characteristics were better compared

redujo el contenido fenólico en todas las variedades. Una mayor pérdida ocurrió en los chiles Anaheim (-74.38 %), mientras que los contenidos fenólicos de los chiles Mirasol (-30.78 %) y G1 (-30.99 %) fueron similares, aunque diferentes ($p \leq 0.05$) a los chiles Anaheim.

La actividad antioxidante presentó tendencias similares (Cuadro 5). Anaheim mostró la mayor actividad antioxidante, seguido de las variedades Mirasol y G1. El proceso de tostado aumentó la actividad antioxidante por 35.7 % en los chiles Mirasol, 22.8 % en chiles Anaheim, pero sólo 2.7 % en chiles G1, mientras que el proceso de deshidratación redujo la actividad antioxidante en todos los chiles en un rango de 84.75 a 94.15 %.

Contenido de capsaicinoides y pungencia de chiles tostados-deshidratados

El contenido de capsaicina y dihidrocapsaicina de los chiles frescos (Cuadro 6) varió de 386.9 a 1605.7 mg g⁻¹ m.s., y de 2.32 a 649.9 mg g⁻¹ m.s., respectivamente, con el contenido más alto en los chiles Mirasol, seguido de los chiles G1 y Anaheim ($p \leq 0.05$). Con base en los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina, los chiles G1 fueron claramente más similares a los chiles Mirasol. Los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina en chiles varía de acuerdo con la variedad y a factores ambientales, incluyendo la temperatura en la que se siembra la planta, su edad o madurez, iluminación y posición del chile en la planta (Al Othman *et al.*, 2011; González-Zamora *et al.*, 2013).

El contenido de capsaicina durante el proceso de tostado aumentó 63.7 % para Mirasol, 21.2 % para G1, y 7.9 % para Anaheim, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Además, el contenido de dihidrocapsaicina aumentó 1434.4 % y 126.18 % en las variedades Anaheim y Mirasol, respectivamente, tras el proceso de tostado, pero el contenido de dihidrocapsaicina se redujo 38.15 % en los chiles G1. Los incrementos en el contenido de capsaicinoides en chiles tratados térmicamente se pueden atribuir a la deshidratación de la matriz alimenticia, a la interrupción celular durante los procesos térmicos (mejora la extracción de los compuestos), a la liberación de capsaicinoides conjugados y a la inactivación de destructores de capsaicinoides. Los contenidos de capsaicina

with Anaheim and Mirasol peppers. Capsaicin and dihydrocapsaicin content were similar in both G1 and Mirasol peppers. Additionally, roasting caused large losses of firmness in all varieties, concurrent with increased antioxidant activity and phenolic, capsaicin, and dihydrocapsaicin content. Drying also caused loss of firmness in dried-rehydrated peppers. Overall, our data indicate that the G1 hybrid could have advantageous biological properties in terms of physical and functional characteristics; besides, they suggest that hybrid G1 pepper could be used in roasting and drying processes for producing food ingredients.

LITERATURE CITED

- Ahmed, J., U. S. Shivhare, and S. Debnath. 2002. Colour degradation and rheology of green chilli puree during thermal processing. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37: 57-63.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1996. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. (16th ed.). Washington, D.C.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1998. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Washington, D.C.
- Al Othman, Z. A., Y. B. Ahmed, M. A. Habila, and A. A. Ghafar. 2011. Determination of capsaicin and dihydrocapsaicin in *Capsicum* fruit samples using high performance liquid chromatography. *Molecules*. 16: 8919-8929.
- Bourne, M. C. 1989. Application of chemical kinetic theory to the rate of thermal softening of vegetables tissue. *In*: Jen, J. J. (ed). *Quality Factors of Fruits and Vegetables and Technology*. American Chemical Society, Washington. pp: 98-100.
- Castro, S. M., J.A. Saraiva, J. A. Lopes-da-Silva, I. Delgado, A. Van Loey, C. Smout, and M. Hendrickx. 2008. Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Food Chem.* 107: 1436-1449.
- Gómez-Moriél, C. B., A. Quintero-Ramos, A. Camacho-Dávila, M. G. Ruiz-Gutiérrez, R. Talamás-Abbud, R. Olivás-Vargas, R., and J. Barnard. 2012. Optimization of chipotle pepper smoking process using response surface methodology. *J. Food Qual.* 35: 21-33.
- González-Zamora, A., E. Sierra-Campos, J. Luna-Ortega, R. Pérez-Morales, J. C. Rodríguez-Ortiz, and J. García-Hernández. 2013. Characterization of different capsicum varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, determination of pungency and effect of high temperature. *Molecules*. 18: 13471-13486.
- Heredia-León, J. C., R. Talamás-Abbud, V. Mendoza-Guzmán, F. Solís-Martínez, J. Jiménez-Castro, J. Barnard, and A. Quintero-Ramos. 2004. Structural and physical properties of dried Anaheim chilli peppers modified by low-temperature blanching. *J. Sci. Food Agric.* 84: 59-65.
- Huang, D., B. Ou, M. Hampsch-Woodill, J. A. Flanagan, and R. L. Prior. 2002. High-throughput assay of oxygen radical en chiles deshidratados variaron de 351.4 a 2608.1 mg g⁻¹ m.s, y los contenidos de dihidrocapsaicina variaron de 16.4 a 230.6 mg g⁻¹ m.s. Si bien estos valores fueron menores que en los chiles tostados, el contenido de capsaicina aumentó 62.4 % en chiles Mirasol y 18.3% en chiles G1, pero se redujeron en los chiles Anaheim (-9.17 %).
- El contenido de dihidrocapsaicina (Cuadro 6) disminuyó tras el proceso de deshidratación en los chiles Mirasol (-64.5 %) y G1 (-80.2 %), pero aumentó en los chiles Anaheim (606.8 %). Este aumento fue considerable, pero la cantidad de dihidrocapsaicina es muy baja en comparación con las otras dos variedades, ya que no es un chile picante.
- González-Zamora *et al.* (2013) reportaron que las temperaturas altas son un factor tanto negativo como positivo en ciertas variedades de chile. Por consiguiente, los niveles de capsaicinoides aumentan más en variedades de chiles picantes que en variedades de chiles dulces cuando aumenta la temperatura, lo cual podría explicar por qué el contenido de capsaicina disminuye durante la deshidratación de los chiles Anaheim.
- La pungencia varió entre 6230 y 25851 US en chiles frescos y presentó tendencias similares a las del contenido de capsaicina. Los chiles Mirasol tuvieron el mayor valor US, tanto en su forma fresca, tostada y deshidratada, seguidos de los chiles G1 y el menos picante el chile Anaheim.

CONCLUSIONES

El nuevo chile híbrido G1 tuvo similitud física y química con Mirasol, aunque con una mejora en el contenido de pericarpio. Además, las características estructurales y de color fueron mejores en comparación con los chiles Anaheim y Mirasol. Los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina fueron similares para los chiles G1 y Mirasol. Además, el tostado causó pérdidas grandes de firmeza en todas las variedades, lo cual coincide con el aumento de la actividad antioxidante y de los contenidos fenólicos, de capsaicina y dihidrocapsaicina. La deshidratación también causó pérdida de firmeza en chiles deshidratados-rehidratados. Nuestros datos indican que el híbrido G1 podría tener propiedades biológicas ventajosas en características físicas y funcionales; además, sugieren que el chile híbrido G1 se podría usar en los procesos de tostado y deshidratado para la producción de ingredientes alimenticios.

- absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4437-4444.
- Minitab. 2010. Statistical Software 16. State College: Minitab. PA, USA.
- Rameshwaran, P., A. Tepe, A. Yazar, and R. Ragab. 2016. Effects of drip-irrigation regimes with saline water on pepper productivity and soil salinity under greenhouse conditions. *Sci. Hort.* 199: 114-123.
- Salisbury, F. B., y C. W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana S.A. de C.V., México. pp: 71-441.
- Schweiggert, U., A. Schieber, and R. Carle. 2006. Effects of blanching and storage on capsaicinoid stability and peroxidase activity of hot chili peppers (*Capsicum frutescens* L.). *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 7: 217-224.
- Singleton, V. L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.
- Ornelas-Paz, J., J. Martínez-Burrola, S. Ruiz-Cruz, V. Santana-Rodríguez, V. Ibarra-Junquera, G. Olivas, and D. Pérez-Martínez. 2010. Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers. *Food Chem.* 119: 1619-1625.
- Ornelas-Paz, J. J., L. A. Cira-Chávez, A. A. Gardea-Béjar, J. C. Guevara-Arauz, D. R. Sepúlveda, J. Reyes-Hernández, and S. Ruiz-Cruz. 2013. Effect of heat treatment on the content of some bioactive compounds and free radical-scavenging activity pungent and non-pungent peppers. *Food Res. Int.* 50: 519-525.
- Qin, Y., Y. Zhuang, Y. Wu, and L. Li. 2016. Quality evaluation of hot peppers stored in biodegradable poly (lactic acid)-based active packaging. *Sci. Hort.* 202: 1-8.
- Vega-Gálvez, A., R. Lemus-Mondaca, C. Bilbao-Sáinz, P. Fito, and A. Andrés. 2008. Effect of drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *J. Food Eng.* 85: 42-50.
- Vega-Gálvez, A., K. Di Scala, K. Rodríguez, R. Lemus-Mondaca, M. Miranda, J. López, and M. Perez-Won. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum* L. var. Hungarian). *Food Chem.* 117: 647-653.
- Xavier, A. A. O., and A. Pérez-Gálvez. 2016. Peppers and Chilies. *Encyclopedia of Food and Health*. pp: 301-306.

