

Phenolic profile and nutritional value of *Dahlia x hortorum* flowers

Perfil fenólico y valor nutricional de flores de *Dahlia x hortorum*

Francisca Hernández-Epigmenio¹; María del Rosario García-Mateos¹; Eliseo Sosa-Montes¹; José Merced Mejía-Muñoz¹; Yolanda Leticia Fernández-Pavía²; Oscar Cruz-Álvarez³; María Teresa Martínez-Damián^{1*}

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

²Colegio de postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

³Universidad Autónoma de Chihuahua. Campus 1 s/n, Chihuahua, Chihuahua, C. P. 31350, MÉXICO.

*Corresponding author: teremd13@gmail.com, tel. 595 101 95 86.

Abstract

The consumption of edible flowers has increased the search for new species to improve their nutritional impact. Therefore, the aim of this study was to determine the phenolic profile and nutritional value of the flowers of some *Dahlia x hortorum* clones (C1Var – variegated, C2Gui – cherry, C3Roj – red, C4Nar – orange, C5Ama – yellow, C6Fuc – fuchsia) and C7Ros – pink). The experiment was conducted at the Department of Plant Science, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico, under a completely randomized experimental design with three replications. Phenolic acids (gallic, caffeic and chlorogenic) and flavonoids (quercetin and hesperidin) were detected. Similar contents of gallic acid (between 1.91 and 3.19 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) were found in C7Ros, C1Var, C5Ama and C4Nar, where C1Var also stood out for the presence of quercetin (81.46 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). The highest incidence of caffeic acid and hesperidin was found in C2Gui and C6Fuc. In general, C1Var showed a high percentage of crude fiber, crude fat and protein, although the last one was similar to C7Ros and C5Ama (13.68 and 13.72 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively). Likewise, C2Gui, C4Nar and C3Roj showed variation with respect to total carbohydrates (64.09, 61.64 and 62.37 %, respectively). According to the results, dahlia ligulate flowers have a significant content of phenolic acids, flavonoids, fiber and protein, as well as a variable caloric level, so they can be considered as a functional food and be integrated into daily intake.

Keywords: phenolic acids, flavonoids, proximal composition, floriphagy, plant genetic resources.

Resumen

El consumo de flores comestibles ha incrementado la búsqueda de nuevas especies que permitan mejorar el impacto nutricional. Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar el perfil fenólico y el valor nutricional de flores de algunos clones de *Dahlia x hortorum* (C1Var – variegado, C2Gui – guinda, C3Roj – rojo, C4Nar – naranja, C5Ama – amarillo, C6Fuc – fucsia y C7Ros – rosa). El experimento se realizó en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México, bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Se detectaron ácidos fenólicos (gálico, cafeico y clorogénico) y flavonoides (quercetina y hesperidina). Se encontraron contenidos similares de ácido gálico (entre 1.91 y 3.19 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) en C7Ros, C1Var, C5Ama y C4Nar, donde C1Var también destacó por la presencia de quercetina (81.46 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). La mayor incidencia de ácido cafeico y hesperidina se encontró en C2Gui y C6Fuc. En general, C1Var mostró alto porcentaje de fibra cruda, grasa cruda y proteína, aunque en este último fue similar a C7Ros y C5Ama (13.68 y 13.72 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente). Asimismo, C2Gui, C4Nar y C3Roj mostraron variación con respecto a los carbohidratos totales (64.09, 61.64 y 62.37 %, respectivamente). De acuerdo con los resultados, las flores liguladas de dalia poseen un contenido significativo de ácidos fenólicos, flavonoides, fibra y proteína, así como un nivel calórico variable, por lo que pueden ser consideradas como un alimento funcional y ser integradas en la ingesta diaria.

Palabras clave: ácidos fenólicos, flavonoides, composición proximal, florifagia, recursos fitogenéticos.



Introduction

Worldwide, Mexico is one of the countries with the greatest diversity of flora with 22,000 plant species, of which more than 4,000 have characteristics for ornamental, food or both uses (Mejía-Muñoz et al., 2020). A particular case is the genus *Dahlia* (*Asteraceae: Coreopsidaeae*), considered the national flower of Mexico, consisting of 38 described species, with 90 % being endemic (Reyes-Santiago, Islas-Luna, Macías-Flores, & Castro-Castro, 2018). This genus is well known for its great diversity of petal colors, shapes and sizes, whose use is limited to that of a cut or pot flower, or as a structural element in garden design (Granados-Balbuena et al., 2022). Currently, it is one of the most appreciated ornamental plants, and it is estimated that there are around 50,000 varieties, product of the genetic improvement of *D. coccinea*, *D. pinnata*, *D. merckii* and *D. imperialis*, which dates back to the beginning of the 18th century in France, Italy, Germany and England (Jiménez, 2015; Deguchi, Tatsuzawa, Hosokawa, Doi, & Ohno, 2016).

In the last decade, there has been increased interest in characterizing, revaluing and incorporating flowers and inflorescences from rose (*Rosa hybrida* L.), sunflower (*Helianthus annuus* L.), cempasúchil (*Tagetes erecta* L.), flame coral tree (*Erythrina coralloides* DC.), nopal (*Opuntia ficus-indica*), sávila (*Aloe vera* L.), maguey pulquero (*Agave salmiana* Gentry), and dahlia (*Dahlia* sp.), among others (Lara-Cortés et al., 2014; Rivera-Espejel et al., 2019b; Pensamiento-Niño et al., 2021). These flowers and inflorescences have a number of bioactive compounds, and their intake seeks to promote the care and prevention of the occurrence of various cardiovascular and neurodegenerative diseases and some types of cancer (Deguchi et al., 2016; Avendaño-Arrazate et al., 2021; Martínez-Damián, Mejía-Muñoz, Colinas-León, Hernández-Epigmenio, & Cruz-Álvarez, 2021).

Paleobotanical and historical evidence suggests that the diet among populations settled in Mesoamerica, and other cultural regions of the Americas, was supplemented by the consumption of tuberous roots and inflorescences of various plants, including dahlias (Castro-Castro, Zuno-Delgadillo, Carrasco-Ortiz, Harker, & Rodríguez, 2015; Costa-Silva et al., 2020). *Dahlia* tuberous roots are characterized by having a high content of carbohydrates (inulin), fiber, protein, minerals (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P and Zn^{2+}) and vitamins (B2, B6, B7 and E) (Arenas et al., 2011; Rivera-Espejel et al., 2019a). Also, ligulate flowers, because of their color and shape, were used to improve the appearance, texture and flavor of many traditional dishes (Rivera-Espejel et al., 2019b).

Previous studies by Lara-Cortés et al. (2014), Deguchi et al. (2016), Rivera-Espejel et al. (2019b), Martínez-Damián

Introducción

A nivel mundial, México es uno de los países con mayor diversidad de flora con 22,000 especies de plantas, de las cuales más de 4,000 tienen características para uso ornamental, alimenticio o ambas (Mejía-Muñoz et al., 2020). Un caso particular lo conforman el género *Dahlia* (*Asteraceae: Coreopsidaeae*) con 38 especies descritas, donde el 90 % son endémicas y es considerada como la flor nacional de este país (Reyes-Santiago, Islas-Luna, Macías-Flores, & Castro-Castro, 2018). Este género es muy conocido por su gran diversidad de color, forma y tamaño de sus pétalos, cuyo uso se limita como flor de corte, maceta y elemento estructural en el diseño de jardines (Granados-Balbuena et al., 2022). En la actualidad, se ha posicionado como una de las plantas ornamentales más apreciadas, y se calcula que existen alrededor de 50,000 variedades, producto del mejoramiento genético de *D. coccinea*, *D. pinnata*, *D. merckii* y *D. imperialis*, el cual se remonta a inicios del siglo XVIII en Francia, Italia, Alemania e Inglaterra (Jiménez, 2015; Deguchi, Tatsuzawa, Hosokawa, Doi, & Ohno, 2016).

En la última década, ha incrementado el interés por caracterizar, revalorar e incorporar a la alimentación humana flores e inflorescencias provenientes de rosal (*Rosa hybrida* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.), cempasúchil (*Tagetes erecta* L.), colorín (*Erythrina coralloides* DC.), nopal (*Opuntia ficus-indica*), sávila (*Aloe vera* L.), maguey pulquero (*Agave salmiana* Gentry), dalia (*Dahlia* sp.), entre otras (Lara-Cortés et al., 2014; Rivera-Espejel et al., 2019b; Pensamiento-Niño et al., 2021). Dichas flores e inflorescencias poseen una serie de compuestos bioactivos, y su ingesta busca promover el cuidado y prevención de la ocurrencia de diversos padecimientos cardiovasculares, neurodegenerativos y algunos tipos de cáncer (Deguchi et al., 2016; Avendaño-Arrazate et al., 2021; Martínez-Damián, Mejía-Muñoz, Colinas-León, Hernández-Epigmenio, & Cruz-Álvarez, 2021).

La evidencia paleobotánica e histórica sugiere que la alimentación entre las poblaciones asentadas en Mesoamérica, y otras regiones culturales de América, fue complementada con el consumo de raíces tuberosas e inflorescencias de varias plantas, incluidas las dalias (Castro-Castro, Zuno-Delgadillo, Carrasco-Ortiz, Harker, & Rodríguez, 2015; Costa-Silva et al., 2020). Las raíces tuberosas de dalia se caracterizan por poseer un alto contenido de carbohidratos (inulina), fibra, proteína, minerales (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P y Zn^{2+}) y vitaminas (B2, B6, B7 y E) (Arenas et al., 2011; Rivera-Espejel et al., 2019a). Asimismo, las flores liguladas, por su color y forma, fueron usadas para mejorar la apariencia, textura y sabor de muchos platillos tradicionales (Rivera-Espejel et al., 2019b).

Estudios previos realizados por Lara-Cortés et al. (2014), Deguchi et al. (2016), Rivera-Espejel et al. (2019b),

et al. (2021) and Granados-Balbuena et al. (2022) report the presence of carbohydrates, organic acids, phenolic compounds, anthocyanins, fiber, protein, minerals and vitamins in ligulate flowers of some wild species and varieties of dahlia. Some of the mentioned compounds are directly related to the presence of bright colors (yellow, orange, red, green, violet and variegated), and when consumed fresh or minimally processed they can be beneficial for health care, due to their biological and nutritional activity (Kaisoon, Siriamornpun, Weerapreeyakul, & Meeso, 2011; Kaisoon, Konczak, & Siriamornpun, 2012; Barriada-Bernal et al., 2014; Kumari et al., 2017; Estrada-Beltrán et al., 2021).

Phenolic compounds are the most abundant secondary metabolites in fruit and vegetable products and are related to several aspects, including color, flavor, astringency, nutritional characteristics, and antioxidant properties (Lara-Cortés et al., 2014; Frías-Moreno et al., 2019; Pires et al., 2021). In this sense, the creation of new dahlia varieties should be preceded by their phenotypic, morphological and molecular evaluation. However, it is important to generate basic information that allows knowing the content of some metabolites of interest and nutritional value, in order to diversify their use (medicinal, food or both) and contribute to the efforts made in Mexico for the conservation and utilization of this endemic flower (Castro-Castro et al., 2015; Mejía-Muñoz et al., 2020). Considering the above, the aim of this research was to determine the phenolic profile and nutritional value of ligulate flowers from some different colored *D. x hortorum* clones.

Materials and methods

Experiment location, plant material and crop management

The study was conducted at the Department of Plant Science, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico. The plant material consisted of inflorescences made up of ligulate and tubular flowers (capitula) of seven dahlia (*D. x hortorum*) clones planted in the “San Martín” Experimental Agricultural Field (19° 29’ 23” north latitude and 98° 53’ 37” west longitude, at 2,246 m a. s. l.), with mean annual temperature and precipitation of 15.6 °C and 608 mm, respectively.

The management of the plant material began in January 2020 with the conditioning of the tuberous roots obtained in the 2019 growing season. For this, the material was placed in containers with a mixture of peat and perlite (1:1) for two weeks. After this period, cuttings 10 ± 1 cm in length were selected and rooted; for this, 200-cavity plastic trays with peat and perlite (2:1) as substrate were used. Subsequently, they were transplanted into the open field with a

Martínez-Damián et al. (2021) y Granados-Balbuena et al. (2022) reportan la presencia de carbohidratos, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, antocianinas, fibra, proteína, minerales y vitaminas en flores liguladas de algunas especies silvestres y variedades de dalia. Algunos de los compuestos mencionados se encuentran directamente relacionados con la presencia de colores brillantes (amarillo, naranja, rojo, verde, violeta y variegadas), y al ser consumidos en fresco o mínimamente procesados pueden ser benéficos para el cuidado de la salud, debido a su actividad biológica y nutricional (Kaisoon, Siriamornpun, Weerapreeyakul, & Meeso, 2011; Kaisoon, Konczak, & Siriamornpun, 2012; Barriada-Bernal et al., 2014; Kumari et al., 2017; Estrada-Beltrán et al., 2021).

Los compuestos fenólicos son los metabolitos secundarios con mayor abundancia en los productos hortofrutícolas y están relacionados con varios aspectos, incluidos el color, el sabor, la astringencia, las características nutrimentales y las propiedades antioxidantes (Lara-Cortés et al., 2014; Frías-Moreno et al., 2019; Pires et al., 2021). En este sentido, la creación de nuevas variedades de dalia debe ser precedida por su evaluación fenotípica, morfológica y molecular. No obstante, es importante generar información básica que permita conocer el contenido de algunos metabolitos de interés y valor nutricional, con el propósito de diversificar su aprovechamiento (medicinal, alimenticio o ambas), y contribuir con los esfuerzos realizados en México para la conservación y aprovechamiento de esta flor endémica (Castro-Castro et al., 2015; Mejía-Muñoz et al., 2020). Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el perfil fenólico y valor nutricional de flores liguladas provenientes de algunos clones de *D. x hortorum* de diferente color.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento, material vegetal y manejo del cultivo

El estudio se realizó en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México. El material vegetal consistió en inflorescencias conformadas por flores liguladas y tubulares (capítulos) de siete clones de dalia (*D. x hortorum*) sembradas en el Campo Agrícola Experimental “San Martín” (19° 29’ 23” latitud norte y 98° 53’ 37” longitud oeste, a 2,246 m s. n. m.), con temperatura y precipitación media anual de 15.6 °C y 608 mm, respectivamente.

El manejo del material vegetal inició en enero de 2020 con el acondicionamiento de las raíces tuberosas obtenidas en el ciclo 2019. Para ello, el material se colocó en contenedores con una mezcla de turba y perlita (1:1) por dos semanas. Trascorrido dicho periodo,

distance between plants and rows of 0.5 and 0.9 m, respectively. Water and nutrients were supplied by a drip irrigation system with a frequency of three times per week (1 to 3.5 L per plant), considering the phenological stage and environmental conditions prevailing during the growth and development of the crop. The application of N-P-K (120-0-200) was made prior to transplanting and flower bud formation. Weed and disease control was carried out manually and by phytosanitary pruning, respectively.

For the selection and harvesting of flower heads, the opening of stamens, stems of 15 ± 1 cm in length and the absence of defects caused by biotic (pests and diseases) and abiotic (including wind, precipitation, ambient temperature and relative humidity) factors were considered (Figure 1). The samples were transported in insulated foam containers (20 x 15 x 11 cm). These activities were carried out in the first week of August 2020 during the first hours of the day (between 6:00 and 8:00 am), in order to minimize the impact of solar radiation.

Separation, sorting and freeze-drying of ligulate flowers

Prior to physical separation of the ligulate flowers from the floral disc, they were sorted according to color using a portable sphere colorimeter (X-Rite, SP62[®], USA). The color coordinates (L = lightness, C = chroma and h = hue angle) were as follows: C1Va – variegated L* 80.88, C* 15.69 and h* 20.82; C2Gui – cherry L* 33.26, C* 46.6 and h* 15.27; C3Roj – red L* 32.06, C* 50.96 and h* 26.68; C4Na – orange L* 56.73, C* 34.46 and h* 35.49; C5Ama – yellow L* 71.58, C* 36.78 and h* 46.34; C6Fuc –

se seleccionaron y enraizaron esquejes con 10 ± 1 cm de longitud; para esto, se emplearon charolas de plástico de 200 cavidades con turba y perlita (2:1) como sustrato. Posteriormente, se trasplantaron en campo abierto con una distancia entre plantas e hileras de 0.5 y 0.9 m, respectivamente. El suministro de agua y nutrientes se realizó mediante un sistema de riego por goteo con una frecuencia de tres veces por semana (1 a 3.5 L por planta), para lo cual se consideró la etapa fenológica y condiciones medioambientales prevalecientes durante el crecimiento y desarrollo del cultivo. La aplicación de N-P-K (120-0-200) se realizó previo al trasplante y formación de botones florales. El control de malezas y enfermedades se realizó de forma manual y mediante podas fitosanitarias, respectivamente.

Para la selección y cosecha de los capítulos florales, se consideró la apertura de estambres, tallos de 15 ± 1 cm de longitud y la ausencia de defectos ocasionados por factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (incluidos el viento, la precipitación, la temperatura ambiental y la humedad relativa) (Figura 1). Las muestras se transportaron en contenedores de espuma aislante (20 x 15 x 11 cm). Dichas actividades se realizaron en la primera semana de agosto de 2020 durante las primeras horas del día (entre las 6:00 y 8:00 de la mañana), con el propósito minimizar el impacto de la radiación solar.

Separación, clasificación y liofilización de flores liguladas

Previo a la separación física de las flores liguladas del disco floral, se clasificaron de acuerdo con el color mediante un colorímetro portátil de esfera (X-Rite, SP62[®], EUA). Las coordenadas de color (L = brillantez,



Figure 1. Color of ligulate flowers of *D. x hortorum* clones evaluated in this study: 1) C1Va, 2) C2Gui, 3) C3Roj, 4) C4Na, 5) C5Ama, 6) C6Fuc and 7) C7Ros.

Figura 1. Color de las flores liguladas de los clones de *D. x hortorum* evaluados en este estudio: 1) C1Va, 2) C2Gui, 3) C3Roj, 4) C4Na, 5) C5Ama, 6) C6Fuc y 7) C7Ros.

fuchsia L* 44.82, C* 52.89 and h* 5.81, and C7Ros – pink L* 67.2, C* 31.82 and h* 11.34.

The ligules were freeze-dried in a FreeZone™ 18L console freeze drier (Labconco™, USA); for this, 500 g were placed in 600-mL lyophilized vials and kept at -80 °C in an ultra-low temperature freezer (ULT185, Thermo Fisher, USA) for 4 h. Subsequently, they were lyophilized for 72 h (until constant weight) in the equipment previously stabilized at -50 °C and 0.180 mBar.

Experimental design

The trial was established under a completely randomized experimental design with three replications, where the experimental unit consisted of two inflorescences with stems of 15 ± 1 cm in length.

Parameters evaluated

Extract preparation

The extract was prepared according to the method described by Aguiñiga-Sánchez et al. (2017), with slight modifications. Prior to extraction, the ligulate flowers were ground with a double blade blender (BLST3A-R2T, Oster® Xpert Series™ vaso Tritan™, USA), 1 g of sample was taken and 8 mL of 80 % (v:v) methanol was added. The mixture was stirred for 1 min with a digital vortex (SI-0236 Vortex-Genie 2, Thermo Scientific®, USA), homogenized for 10 min with a sonicator (505, Fisherbrand™, USA) and allowed to stand for 5 min; this process was performed twice. After this time, it was centrifuged at 7 g for 5 min (5427 R, Eppendorf®, Germany). Finally, 1 mL of the supernatant was taken for analysis by high-performance liquid chromatography (HPLC).

Phenolic profile

The content of phenolic compounds was determined in a liquid chromatograph (series 1100®, Agilent Technologies Inc, USA). The stationary phase was a 125 x 4.0 mm column (Hypersil ODS, Hewlett Packard, USA). The analysis was by gradient, with the mobile phase being (A) HPLC-grade water adjusted dropwise to pH 2.5 with trifluoroacetic acid and (B) acetonitrile. The analysis started between 0-10 min, with a ratio of 85 % A and 15 % B for 20 min, and finally 65 % A and 35 % B for 5 min. The flow rate was $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ at 30 °C, the diode array detector was set at 254, 280 and 330 nm, and the injection volume was 20 μL .

Identification and quantification of phenolic compounds

The identification of phenolic acids and flavonoids was performed by verifying the retention time with respect to

C = chroma y h = ángulo de tono) fueron las siguientes: C1Va – variegada L* 80.88, C* 15.69 y h* 20.82; C2Gui – guinda L* 33.26, C* 46.6 y h* 15.27; C3Roj – rojo L* 32.06, C* 50.96 y h* 26.68; C4Na – naranja L* 56.73, C* 34.46 y h* 35.49; C5Ama – amarillo L* 71.58, C* 36.78 y h* 46.34; C6Fuc – fucsia L* 44.82, C* 52.89 y h* 5.81, y C7Ros – rosa L* 67.2, C* 31.82 y h* 11.34.

Las lígulas se liofilizaron en un equipo FreeZone™ 18L (Labconco™, EUA); para ello, se colocaron 500 g en frascos para liofilizadora con capacidad de 600 mL y se mantuvieron a -80 °C en un ultracongelador (ULT185, Thermo Fisher, EUA) por 4 h. Posteriormente, se liofilizaron por 72 h (hasta peso constante) en el equipo previamente estabilizado a -50 °C y 0.180 mBar.

Diseño experimental

El ensayo se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental consistió de dos inflorescencias con tallos de 15 ± 1 cm de longitud.

Parámetros evaluados

Preparación del extracto

La preparación del extracto se realizó de acuerdo con el método descrito por Aguiñiga-Sánchez et al. (2017), con ligeras modificaciones. Previo a la extracción, las flores liguladas se molieron con una licuadora de doble aspa (BLST3A-R2T, Oster® Xpert Series™ vaso Tritan™, EUA), se tomó 1 g de muestra y se le adicionaron 8 mL de metanol al 80 % (v:v). La mezcla se agitó por 1 min con un vortex digital (SI-0236 Vortex-Genie 2, Thermo Scientific®, EUA), se homogeneizó por 10 min con un sonicator (505, Fisherbrand™, EUA) y se dejó en reposo por 5 min; este proceso se realizó en dos ocasiones. Transcurrido este tiempo, se centrifugó a 7 g por 5 min (5427 R, Eppendorf®, Alemania). Finalmente, se tomó 1 mL del sobrenadante para su análisis por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC).

Perfil fenólico

El contenido de compuestos fenólicos se determinó en un cromatógrafo de líquidos (serie 1100®, Agilent Technologies Inc, EUA). La fase estacionaria fue una columna de 125 x 4.0 mm (Hypersil ODS, Hewlett Packard, EUA). El análisis fue por gradiente, siendo la fase móvil (A) agua grado HPLC ajustada gota a gota a pH 2.5 con ácido trifluoroacético y (B) acetonitrilo. El análisis comenzó entre 0-10 min, con una proporción de 85 % de A y 15 % de B durante 20 min, y finalmente 65 % de A y 35 % de B por 5 min. El flujo fue de $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ a 30 °C, el detector de arreglo de diodos se ajustó a 254, 280 y 330 nm, y el volumen de inyección fue de 20 μL .

that of the standards (gallic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, hesperidin and quercetin). Likewise, the absorption spectra of the standards were compared with those of the compounds identified by retention time to ensure the identity of the compounds. Quantification was performed by constructing standard curves of the reference compounds, in a concentration range of 1 to 16 $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ obtained under the same chromatographic conditions. The results were expressed on a dry weight basis ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

Proximal composition

For the determination of moisture, dry matter, crude protein, crude fat and fiber, the AOC procedures (934.01, 2001.11, 954.02 and 962.09) indicated by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016) were used. Nitrogen-free extract (NFE), also known as total carbohydrates, represents sugars and starches, and were calculated by difference. The results were expressed as a percentage.

Statistical analysis

The data obtained were normalized and homogenized with the Kolmogorov-Smirnov and Bartlett tests, respectively (Sokal & Rohlf, 1995). Multiple analysis of variance and Tukey's range test ($P \leq 0.05$) were performed. In all procedures, SAS version 9.0 (SAS Institute, 2002) software was used.

Results and discussion

Phenolic profile

The data obtained from the profile of phenolic compounds in ligulate flowers of *D. x hortorum* are shown in Table 1 and Figure 2. These compounds

Identificación y cuantificación de los compuestos fenólicos

La identificación de ácidos fenólicos y flavonoides se realizó mediante la verificación del tiempo de retención con respecto al de los estándares (ácido gálico, ácido cafeico, ácido clorogénico, hesperidina y quercetina). Asimismo, se compararon los espectros de absorción de los estándares con el de los compuestos identificados por tiempo de retención para asegurar la identidad de los compuestos. La cuantificación se efectuó mediante la construcción de curvas estándar de los compuestos de referencia, en un intervalo de concentración de 1 a 16 $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ obtenido en las mismas condiciones de cromatografía. Los resultados se expresaron con base en peso seco ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

Composición proximal

Para la determinación de humedad, materia seca, proteína cruda, grasa cruda y fibra se emplearon los procedimientos AOC (934.01, 2001.11, 954.02 y 962.09) indicados por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016). El extracto libre de nitrógeno (ELN), también conocido como carbohidratos totales, representa los azúcares y almidones, y se calcula por diferencia. Los resultados se expresaron en porcentaje.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se normalizaron y homogeneizaron con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal & Rohlf, 1995). Se realizó un análisis de varianza múltiple y una comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). En todos los procedimientos, se empleó el programa de análisis estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

Table 1. Phenolic compound content of ligulate flowers of *Dahlia x hortorum*.

Cuadro 1. Contenido de compuestos fenólicos de flores liguladas provenientes de *Dahlia x hortorum*.

Clone/ Clon	Phenolic acids ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)/ Ácidos fenólicos ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			Flavonoids ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)/ Flavonoides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	
	Gallic/ Gálico	Caffeic/ Cafeico	Chlorogenic/ Clorogénico	Quercetin/ Quercetina	Hesperidin/ Hesperidina
C1Var	2.36 ab ²	nd	nd	81.46 a	10.06 de
C7Ros	3.19 a	0.68 b	nd	25.13 c	24.30 c
C3Roj	2.15 ab	0.48 b	4.11 c	3.49 d	14.34 d
C5 ^a ma	2.34 ab	nd	14.72 ab	57.62 b	34.39 b
C6Fuc	1.00 b	nd	17.53 a	23.73 c	111.55 a
C4Nar	1.91 ab	nd	7.57 bc	22.79 c	14.84 d
C2Gui	1.59 b	2.29 a	1.36 c	27.97 c	9.31 e

²Means with the same letter within each column do not differ statistically ($P \leq 0.05$, Tukey). nd = not determined. Data are expressed on a dry weight basis ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$, Tukey). nd = no determinado. Los datos son expresados con base en peso seco ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

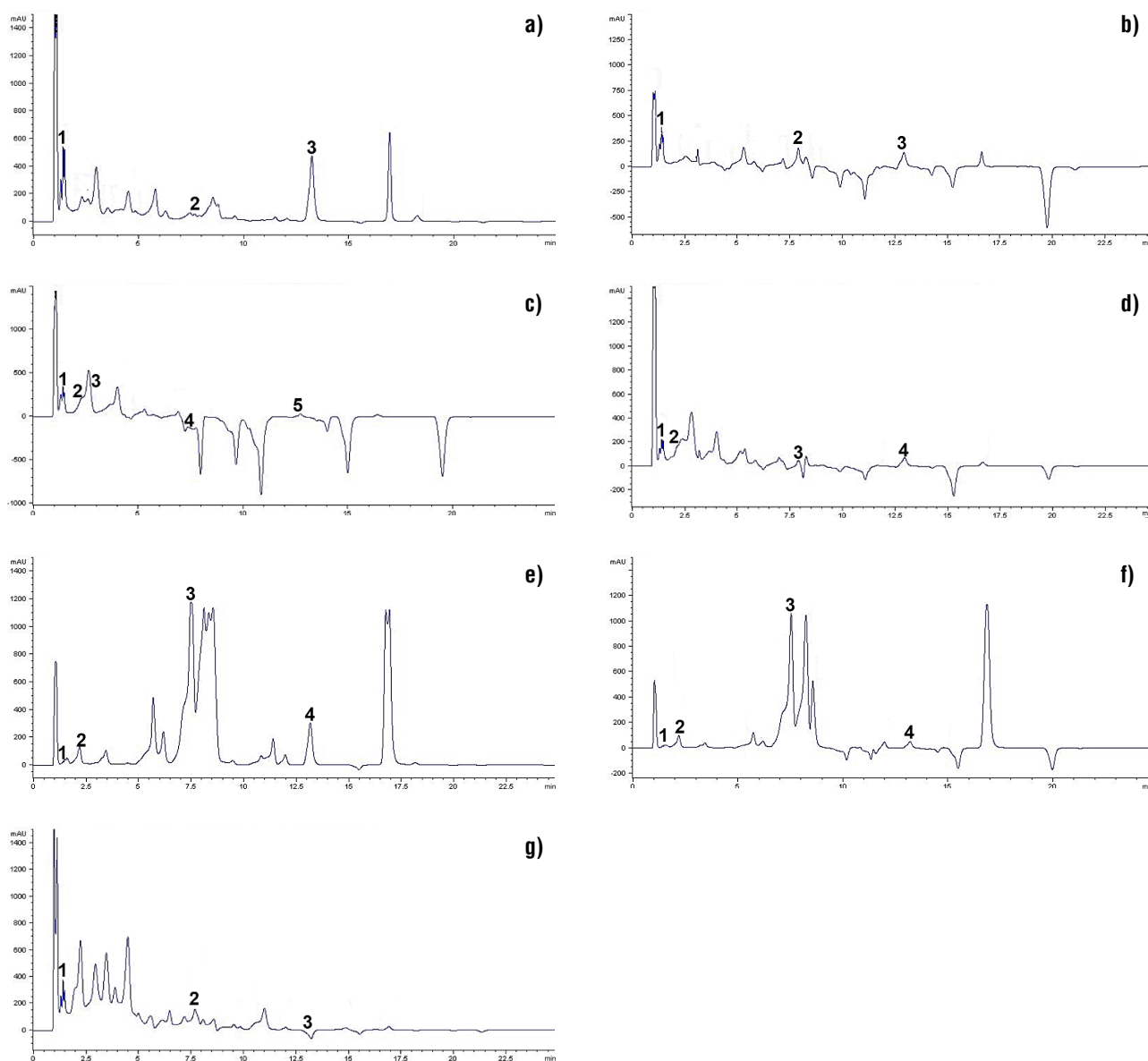


Figure 2. Phenolic profile by HPLC of *D. x hortorum* flowers (detection at 254 nm): a) C1Va, b) C2Gui, c) C3Roj, d) C4Na, e) C5Ama, f) C6Fuc and g) C7Ros. Retention time data are shown in Table 2.

Figura 2. Perfil fenólico por HPLC de flores de *D. x hortorum* (detección a 254 nm): a) C1Va, b) C2Gui, c) C3Roj, d) C4Na, e) C5Ama, f) C6Fuc y g) C7Ros. Los datos de tiempo de retención se muestran en el Cuadro 2.

are present in a wide variety of fruit and vegetable products, and are valued for their antioxidant activity and ability to eliminate or reduce free radical activity (Frías-Moreno et al., 2019; Blanda et al., 2020). In this research, phenolic acids (gallic, caffeic and chlorogenic) and flavonoids (quercetin and hesperidin) were detected. Gallic acid content ranged from 1.0 to 3.19 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, where C7Ros, C1Var, C3Roj, C5Ama and C4Nar were the most outstanding ($P \leq 0.05$). These results do not agree with those reported by Lara-Cortés et al. (2014) in purple (12.9 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), pink (9.7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), orange (9.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), yellow (6.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) and white

Resultados y discusión

Perfil fenólico

Los datos obtenidos del perfil de compuestos fenólicos en flores liguladas de *D. x hortorum* se muestran en el Cuadro 1 y Figura 2. Estos compuestos se encuentran presentes en una gran variedad de productos hortofrutícolas, y son apreciados por su actividad antioxidante y capacidad para eliminar o reducir la actividad de radicales libres (Frías-Moreno et al., 2019; Blanda et al., 2020). En esta investigación, se detectaron

Table 2. Identification of compounds found in *D. hortorum* ligulate flowers, according to their maximum retention time. Cuadro 2. Identificación de los compuestos encontrados en flores liguladas *D. hortorum*, de acuerdo con su máximo tiempo de retención.

Clone/Clon	Peak/Pico	PC/CF	RT (min)/TR (min)	λ_{\max} (nm)
C1Va	1	Ga/Ag	1.39	254, 280
	2	Hs	7.67	254, 280
	3	Qc	13.23	254, 280
C2Gui	1	Ga/Ag	1.38	254,280
	2	Hs	7.89	254,280
	3	Qc	12.92	254
C3Roj	1	Ga/Ag	1.40	254, 280
	2	Cha/Acl	2.06	254, 330
	3	Ca/AC	2.86	254, 330
	4	Hs	7.41	254, 280
	5	Qc	12.72	254
C4Nar	1	Ga/Ag	1.39	254, 280
	2	Cha/Acl	2.13	254, 330
	3	Hs	7.90	254, 280
	4	Qc	12.94	254
C5 ^a ma	1	Ga/Ag	1.40	254, 280
	2	Cha/Acl	2.17	254, 330
	3	Hs	7.49	254, 280
	4	Qc	13.16	254,330
C6Fuc	1	Ga/Ag	1.33	254, 280
	2	Cha/Acl	2.17	254, 330
	3	Hs	7.52	254, 280
	4	Qc	13.19	254,330
C7Ros	1	Ga/Ag	1.89	254, 280
	2	Hs	7.68	254, 280
	3	Qc	13.21	254

Ga = gallic acid; Cha = chlorogenic acid; Hs = hesperidin; Ca = caffeic acid; Qc = quercetin; PC = phenolic compound; RT = retention time; λ_{\max} (nm) = maximum absorbance for compound identification by UV-Vis spectrum.

Ag = ácido gálico; Acl = ácido clorogénico; Hs = hesperidina; Ac = ácido cafeico; Qc = quercetina; CF = compuesto fenólico; TR = tiempo de retención; λ_{\max} (nm) = absorbancia máxima para identificación de compuestos por el espectro UV-Vis.

(13.7 $\mu\text{g g}^{-1}$) ligules of some wild species of *D. australis*, *D. appiculata*, *D. brevis*, *D. coccinea*, *D. campanulata* and *D. pinnata*, respectively. However, the gallic acid values of the analyzed materials exceed those reported for edible flowers of “*cacaloxóchitl*” (*Plumeria obtusa*) with $2.7 \pm 0.1 \mu\text{g g}^{-1}$ (Kaisoon et al., 2011). There are few reports on gallic acid content in dahlia; however, the observed variation can be linked to genetic aspects, agronomic management and the solvent used for its extraction (Karimi, Oskoueian, Hendra, Oskoueian, & Jaafar, 2012; Terán-Erazo et al., 2019).

Caffeic acid content ranged from 0.48 to 2.29 $\mu\text{g g}^{-1}$, and was only detected in C7Ros, C3Roj and C2Gui,

ácidos fenólicos (gálico, cafeico y clorogénico) y flavonoides (quercetina y hesperidina). El contenido de ácido gálico fluctuó entre 1.0 y 3.19 $\mu\text{g g}^{-1}$, donde C7Ros, C1Var, C3Roj, C5Ama y C4Nar fueron los más sobresalientes ($P \leq 0.05$). Estos resultados no coinciden con los reportados por Lara-Cortés et al. (2014) en lígulas color púrpura (12.9 $\mu\text{g g}^{-1}$), rosa (9.7 $\mu\text{g g}^{-1}$), naranja (9.4 7 $\mu\text{g g}^{-1}$), amarillo (6.4 $\mu\text{g g}^{-1}$) y blanco (13.7 $\mu\text{g g}^{-1}$), de algunas especies silvestres de *D. australis*, *D. appiculata*, *D. brevis*, *D. coccinea*, *D. campanulata* y *D. pinnata*, respectivamente. Sin embargo, los valores de ácido gálico de los materiales analizados superan lo reportado para flores comestibles de “*cacaloxóchitl*” (*Plumeria obtusa*) con $2.7 \pm 0.1 \mu\text{g g}^{-1}$ (Kaisoon et al., 2011).

where the last one showed the highest content ($P \leq 0.05$). Lara-Cortés et al. (2014) published contrasting data on wild dahlias with purple, cherry, pink, orange, yellow, red and white ligules (3.1, 0.9, 3.4, 1.0, 4.3, 1.4 and 4.7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively). It is important to note that these authors report the content of this phenolic acid in yellow, pink and orange flowers. The variation between results may be due, in the first instance, to the extraction and quantification method (Blanda et al., 2020); however, genetic and adaptive variation between wild and cultivated species can be included (Castro-Castro et al., 2015; Jiménez, 2015). In this sense, wild species, being adapted to unfavorable edaphoclimatic conditions, develop multiple survival and defense mechanisms against damage caused by oxidative stress, which include the synthesis and accumulation of phenolic compounds (Kaisoon et al., 2011; Rivera-Espejel et al., 2019a; Granados-Balbuena et al., 2022). On the other hand, the presence of caffeic acid in tea plant (*Camellia sinensis* L.), grape (*Vitis vinifera* L.), Brussels sprout (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) (Quiñones, Miguel, & Aleixandre, 2012).

In all dahlia materials evaluated, gallic acid content could be quantified; however, chlorogenic acid was only detected in C3Roj, C5Ama, C6Fuc, C4Nar and C2Gui (4.11, 14.72, 17.53, 7.57 and 1.36 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively). Lara-Cortés et al. (2014) report a similar content in orange flowers (16.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), and without being able to detect its presence in yellow ones. This difference may be a consequence of the degree of floral opening and the solvent used for extraction (Karimi et al., 2012; Avendaño-Arrazate et al., 2021). Martínez-Damián et al. (2021) point out that any modification in the balance of the interaction between phenolic acids and anthocyanins can generate variation in their content and color expression in dahlia flowers. Additionally, the presence of chlorogenic acid is reported in Arabic coffee (*Coffea arabica* L.) beans and in species of the genus *Prunus* (plum, apricot, and peach, among others), where its consumption can improve lipid and glucose metabolism (Naveed et al., 2018).

Regarding the content of some flavonoids (quercetin and hesperidin), the maximum mean values corresponded to C1Var (81.46 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) and C6Fuc (111.55 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), respectively. These compounds are directly related to some characteristics of flavor, color, palatability and nutritional value in fruits, vegetables and flowers (Terán-Eraza et al., 2019; Avendaño-Arrazate et al., 2021). The results obtained exceed those reported by Lara-Cortés et al. (2014) in dahlia flowers with cherry-colored ligules (36.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). However, a higher quercetin content (185.37 ± 0.11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) was reported by Karimi et al. (2012) in edible flowers of bitter orange (*Citrus aurantium*). The presence of this flavonoid has been reported in various

Existen pocos reportes sobre el contenido de ácido gálico en dalia; no obstante, la variación observada puede ser vinculada con aspectos genéticos, de manejo agronómico y del solvente usado para su extracción (Karimi, Oskoueian, Hendra, Oskoueian, & Jaafar, 2012; Terán-Eraza et al., 2019).

El contenido de ácido cafeico varió de 0.48 a 2.29 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, y solo se detectó en C7Ros, C3Roj y C2Gui, donde este último mostró el mayor contenido ($P \leq 0.05$). Lara-Cortés et al. (2014) publicaron datos contrastantes en dalias silvestres con lígulas color púrpura, guinda, rosa, naranja, amarillo, rojo y blanco (3.1, 0.9, 3.4, 1.0, 4.3, 1.4 y 4.7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente). Es importante resaltar que estos autores reportan el contenido de este ácido fenólico en flores amarillas, rosas y naranjas. La variación entre resultados se puede deber, en primera instancia, al método de extracción y cuantificación (Blanda et al., 2020); sin embargo, se puede incluir la variación genética y adaptativa entre las especies silvestres y cultivadas (Castro-Castro et al., 2015; Jiménez, 2015). En este sentido, las especies silvestres, al estar adaptadas a condiciones edafoclimáticas desfavorables, desarrollan múltiples mecanismos de supervivencia y defensa al daño causado por el estrés oxidativo, los cuales incluyen la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos (Kaisoon et al., 2011; Rivera-Espejel et al., 2019a; Granados-Balbuena et al., 2022). Por otro lado, es muy conocida la presencia del ácido cafeico en el té verde (*Camellia sinensis* L.), la uva (*Vitis vinifera* L.), la col de Bruselas (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*) y el cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) (Quiñones, Miguel, & Aleixandre, 2012).

En todos los materiales de dalia evaluados se pudo cuantificar el contenido de ácido gálico; sin embargo, el ácido clorogénico solo fue detectado en C3Roj, C5Ama, C6Fuc, C4Nar y C2Gui (4.11, 14.72, 17.53, 7.57 y 1.36 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente). Lara-Cortés et al. (2014) reportan un contenido similar en flores naranja (16.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), y sin poder detectar su presencia en las de color amarillo. Esta diferencia puede ser consecuencia del grado de apertura floral y el solvente usado para la extracción (Karimi et al., 2012; Avendaño-Arrazate et al., 2021). Martínez-Damián et al. (2021) señalan que cualquier modificación en el balance de la interacción entre los ácidos fenólicos y las antocianinas puede generar variación en su contenido y la expresión del color en las flores de dalia. Adicionalmente, se reporta la presencia del ácido clorogénico en granos de café (*Coffea arabica* L.) y en especies del género *Prunus* (ciruela, albaricoque, durazno, entre otros), donde su consumo puede mejorar el metabolismo de lípidos y glucosa (Naveed et al., 2018).

En cuanto al contenido de algunos flavonoides (quercetina y hesperidina), los valores medios máximos

flowers, including cempaxúchitl (*Tagetes erecta* L.) (13.57 mg 100·g⁻¹), sulfur cosmos (*Cosmos sulphureus* Cav.) (9.45 mg 100·g⁻¹), bougainvillea (*Bougainvillea glabra* Chosy) (Kaisoon et al., 2012) and *Agave durangensis* (0.4 g·mL⁻¹) (Barriada-Bernal et al., 2014).

The flowers and fruits of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and lemon (*Citrus x limón*) have the highest hesperidin content (Wilmsen, Spada, & Salvador, 2005). The values obtained for these flavonoids in this study are low compared to those reported by Lara-Cortés et al. (2014), with values of 160.8 and 398.9 µg·g⁻¹ in dahlia with pink and purple ligulate flowers, respectively. However, clone C6Fuc exceeded the 70.9 µg·g⁻¹ published by these researchers for white flowers.

Overall, the content of phenolic compounds detected in this study was variable; however, dahlia flowers can be considered as a complementary source of antioxidant agents.

Nutritional value

Proximal analysis data are shown in Table 3. No variation ($P > 0.05$) was found between the mean moisture (M) (89.53 to 91.10 %) and dry matter (DM) (8.80 to 10.47 %) values of the *D. x hortorum* materials. Lara-Cortés et al. (2014) obtained similar results in ligules of some wild dahlia species (*D. australis*, *D. appiculata*, *D. brevis*, *D. coccinea*, *D. campanulata* and *D. pinnata*). However, a previous study by Martínez-Damián et al. (2021), on different colored ligules in some *D. x hortorum* clones, shows variation in M and DM parameters. The contrast between the results can be associated with the morphological variation of the analyzed material; that is, between cultivated varieties and wild species (Mejía-Muñoz et al., 2020).

correspondieron a C1Var (81.46 µg·g⁻¹) y C6Fuc (111.55 µg·g⁻¹), respectivamente. Estos compuestos se relacionan directamente con algunas características de sabor, color, palatabilidad y valor nutricional en frutos, hortalizas y flores (Terán-Erao et al., 2019; Avendaño-Arrazate et al., 2021). Los resultados obtenidos superan a los reportados por Lara-Cortés et al. (2014) en flores de dalia con lígulas de color guinda (36.4 µg·g⁻¹). Sin embargo, un contenido más alto de quercetina (185.37 ± 0.11 µg·g⁻¹) fue reportado por Karimi et al. (2012) en flores comestibles de naranjo agrio (*Citrus aurantium*). La presencia de este flavonoide se ha reportado en diversas flores, incluyendo cempaxúchitl (*Tagetes erecta* L.) (13.57 mg 100·g⁻¹), cosmos (*Cosmos sulphureus* Cav.) (9.45 mg 100·g⁻¹), bugambilia (*Bougainvillea glabra* Chosy) (Kaisoon et al., 2012) y *Agave durangensis* (0.4 g·mL⁻¹) (Barriada-Bernal et al., 2014).

Las flores y frutos de naranja dulce (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y limón (*Citrus x limón*) presentan el mayor contenido de hesperidina (Wilmsen, Spada, & Salvador, 2005). Los valores obtenidos de dichos flavonoides en este estudio son bajos con respecto a los reportados por Lara-Cortés et al. (2014), con valores de 160.8 y 398.9 µg·g⁻¹ en dalia con flores liguladas de color rosa y morado, respectivamente. No obstante, el clon C6Fuc superó los 70.9 µg·g⁻¹ publicados por estos investigadores para flores blancas.

En general, el contenido de compuestos fenólicos detectados en este estudio fue variable; sin embargo, las flores de dalia pueden ser consideradas como fuente complementaria de agentes antioxidantes.

Valor nutricional

Los datos del análisis proximal se muestran en el Cuadro 3. No se encontró variación ($P > 0.05$) entre

Table 3. Nutritional value of ligulate flowers of *Dahlia x hortorum*.

Cuadro 3. Valor nutricional de flores liguladas de *Dahlia x hortorum*.

Clone/ Clon	M/H	DM/MS	A/C	Cf/Fc	Cfa/Gc	Cp/Pc	TC/CT
C1Var	89.53 a ²	10.47 a	5.55 bc	17.91 a	7.28 a	13.04 ab	56.21 c
C7Ros	90.30 a	9.70 a	5.96 a	16.84 b	3.02 c	13.68 a	60.70 b
C3Roj	90.08 a	9.92 a	5.56 bc	16.65 bc	2.68 c	12.79 b	62.37 ab
C5 ^a ma	91.20 a	8.80 a	5.76 ab	17.15 ab	3.03 c	13.72 a	59.73 b
C6Fuc	89.82 a	10.18 a	5.56 bc	15.75 cd	6.95 ab	11.76 c	60.23 b
C4Nar	90.16 a	9.84 a	5.16 d	16.81 b	4.47 bc	11.98 c	61.64 ab
C2Gui	91.10 a	8.90 a	5.4 cd	15.25 d	2.84 c	12.40 bc	64.09 a

M = moisture; DM = dry matter; A = ash; Cf = crude fiber; Cfa = crude fat; Cp = crude protein; TC = total carbohydrates. ²Means with the same letter within each column do not differ statistically ($P \leq 0.05$; Tukey). Data are expressed on a dry weight basis.

H = humedad; MS = materia seca; C = cenizas; Fc = fibra cruda; Gc = grasa cruda; Pc = proteína cruda; CT = carbohidratos totales. ²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$; Tukey). Los datos son expresados con base en peso seco.

In general, the ligulate flowers presented a high carbohydrate content, followed by fiber, protein, crude fat and ash. This represents a number of advantages for their fresh consumption (Granados-Balbuena et al., 2022).

An indirect way of evaluating mineral nutrient content is through the percentage of ash. In this study, only C7Ros (5.96 %) and C5Ama (5.76 %) showed statistical variation among the clones analyzed. These results are higher than those observed by Lara-Cortés et al. (2014) in some wild species (from 0.6 to 0.9 %), although these authors report no variation in this parameter. In contrast, Rivera-Espejel et al. (2019b) obtained values of 8.7 and 7.3 % in *D. campanulata* and *D. brevis*, respectively. However, ligulate flowers from *D. coccinea* (orange) and *D. x hortorum* (cherry and red) presented similar values of 5.5, 5.8 and 5.9 %, respectively (Rivera-Espejel et al., 2019b). This behavior may be the result of edaphoclimatic conditions, degree of domestication, fertilization practices and flowering stage. On the other hand, the values obtained in this work are relatively low when compared with the data obtained for this parameter by Pensamiento-Niño et al. (2021) in flowers of Hudson pear (*Cylindropuntia rosea*) (11.21 ± 0.04 %), xoconostle ulapa (*Opuntia oligacantha* var *Ulapa*) (17.73 ± 0.10 %) and pitaya (*Echinocereus cinerascens*) (16.83 ± 0.35 %).

Flowers from C1Var and C5Ama showed an outstanding performance ($P \leq 0.05$) with respect to crude fiber content, and C1Var, together with C6Fuc, was also higher in crude fat. In this sense, a high fiber content was found when comparing the data obtained with those reported in some flowers from wild and cultivated dahlia species (Rivera-Espejel et al., 2019b) and from some cacti (Pensamiento-Niño et al., 2021). De Lima-Franzen, Rodrigues-de Oliveira, Lidório, Farias-Menegaes, and Martins-Fries (2019) report similar fiber values in sunflower (*Helianthus annuus* L.), pot marigold (*Calendula officinalis* L.) and rose (*Rosa x grandiflora* Hort.) flowers, although they report 12.5 % crude fat for pot marigold.

The obtained protein data were similar to those reported by Rivera-Espejel et al. (2019b) for some wild dahlia species (*D. brevis*, *D. coccinea* and *D. campanulata*). However, they did not exceed the range of 14.84 to 19.25 % published by Martínez-Damián et al. (2021) for *D. x hortorum* with cherry, yellow, variegated, pink and purple ligulate flowers. In other species with edible flowers such as cornflower (*Centaurea cyanus* L.) and pot marigold (*Calendula officinalis*), Pires, Dias, Barros, and Ferreira (2017) obtained lower protein values (5.79 and 6.43 %, respectively), and 5.93 % in dwarf dahlias (*D. mignon*).

Clones C2Gui, C4Nar and C3Roj were outstanding for their high total carbohydrate (TC) content. These

los valores medios de humedad (H) (89.53 a 91.10 %) y materia seca (MS) (8.80 a 10.47 %) de los materiales de *D. x hortorum*. Lara-Cortés et al. (2014) obtuvieron resultados similares en lígulas de algunas especies silvestres de dalia (*D. australis*, *D. appiculata*, *D. brevis*, *D. coccinea*, *D. campanulata* y *D. pinnata*). No obstante, un estudio previo realizado por Martínez-Damián et al. (2021), en lígulas de diferente color en algunos clones de *D. x hortorum*, muestra variación de los parámetros de H y MS. El contraste entre los resultados puede ser asociado a la variación morfológica del material analizado; es decir, entre las variedades cultivadas y especies silvestres (Mejía-Muñoz et al., 2020).

En general, las flores liguladas presentaron un alto contenido de carbohidratos, seguido por fibra, proteína, grasa cruda y cenizas. Esto representa una serie de ventajas para su consumo en fresco (Granados-Balbuena et al., 2022).

Una forma indirecta de evaluar el contenido de nutrientes minerales es a través del porcentaje de cenizas. En este estudio, solo C7Ros (5.96 %) y C5Ama (5.76 %) mostraron variación estadística entre los clones analizados. Estos resultados son superiores a los observados por Lara-Cortés et al. (2014) en algunas especies silvestres (de 0.6 a 0.9 %), aunque estos autores no reportan variación en este parámetro. En contraste, Rivera-Espejel et al. (2019b) obtuvieron valores de 8.7 y 7.3 % en *D. campanulata* y *D. brevis*, respectivamente. No obstante, flores liguladas provenientes de *D. coccinea* (anaranjadas) y *D. x hortorum* (cerezas y rojas) presentaron valores similares de 5.5, 5.8 y 5.9 %, respectivamente (Rivera-Espejel et al., 2019b). Este comportamiento puede ser resultado de las condiciones edafoclimáticas, grado de domesticación, prácticas de fertilización y etapa de floración. Por otro lado, los valores obtenidos en este trabajo son relativamente bajos cuando se comparan con los datos obtenidos para este parámetro por Pensamiento-Niño et al. (2021) en flores de cardón (*Cylindropuntia rosea*) (11.21 ± 0.04 %), xoconostle ulapa (*Opuntia oligacantha* var *Ulapa*) (17.73 ± 0.10 %) y pitaya (*Echinocereus cinerascens*) (16.83 ± 0.35 %).

Las flores provenientes de C1Var y C5Ama mostraron un comportamiento sobresaliente ($P \leq 0.05$) con respecto al contenido de fibra cruda, y C1Var, en conjunto con C6Fuc, también fue superior en grasa cruda. En este sentido, se encontró un contenido de fibra alto al comparar los datos obtenidos con los reportados en algunas flores provenientes de especies silvestres y cultivadas de dalia (Rivera-Espejel et al., 2019b) y de algunas cactáceas (Pensamiento-Niño et al., 2021). De Lima-Franzen, Rodrigues-de Oliveira, Lidório, Farias-Menegaes, y Martins-Fries (2019) reportan valores similares de fibra en flores de girasol (*Helianthus annuus* L.), caléndula (*Calendula officinalis* L.) y rosal (*Rosa x*

results are similar to those reported for flowers of the wild dahlia species *D. merckii* (Rivera-Espejel et al., 2019b) and some cacti (Pensamiento-Niño et al., 2021). However, the results obtained are not higher than those indicated for dahlia species such as *D. brevis*, *D. coccinea* and *D. campanulata*, with values of 65.08, 68.64 and 69.88 %, respectively (Rivera-Espejel et al., 2019b).

According to the results obtained, dahlia could be considered as a complementary source of crude fiber and protein in the diet, similar to that reported for other edible flowers (Granados-Balbuena et al., 2022). In this sense, existing studies have shown that edible flowers, including dahlia, can complement the list of functional foods, since they are characterized by their low lipid content and variable carbohydrate and mineral content. In addition, it allows diversifying their use and favoring their conservation, due to the risk posed by the alteration of their native habitat by anthropogenic activities.

Conclusions

Five phenolic compounds were identified, including phenolic acids (gallic, caffeic and chlorogenic acids) and flavonoids (quercetin and hesperidin). Among the clones evaluated, C7Ros, C2Gu and C6Fuc were the most outstanding with respect to gallic acid, caffeic acid and chlorogenic acid content, respectively. Likewise, quercetin and hesperidin content was higher for C1Var and C6Fuc. Proximal analysis revealed that C1Var presents ligules with high fiber, fat and protein content; however, in this last parameter it was similar to C7Ros (13.68 %) and C5Ama (13.72 %). The highest total carbohydrate content was found in C2Gui, C4Nar and C3Roj. Dahlia flowers have a significant content of phenolic compounds, so they can be considered as a functional food for fresh consumption.

Acknowledgments

The authors are grateful for the technical and economic support provided by the Universidad Autónoma Chapingo, through the Institutional Dahlia Breeding Program, with the project "Conservation and sustainable use of the dahlia, our national flower" with identification code VUSNITT/15/GEN/07474 of the Dahlia Network, of the National Seed Inspection and Certification Service (SNICS) belonging to the Mexican government. In addition, the first author thanks the National Council of Science and Technology (CONACyT) for grant 549961 awarded to carry out her doctoral studies in Horticultural Sciences.

End of English version

grandiflora Hort.), aunque reportan 12.5 % de grasa cruda para caléndula.

Los datos obtenidos de proteína fueron similares a los reportados por Rivera-Espejel et al. (2019b) para algunas especies silvestres de dalia (*D. brevis*, *D. coccinea* y *D. campanulata*). Sin embargo, no superaron el rango de 14.84 a 19.25 % publicado por Martínez-Damián et al. (2021) para *D. x hortorum* con flores liguladas de color cereza, amarillo, variegado, rosa y púrpura. En otras especies con flores comestibles como centaurea (*Centaurea cyanus* L.) y caléndula (*Calendula officinalis*), Pires, Dias, Barros, y Ferreira (2017) obtuvieron valores de proteína más bajos (5.79 y 6.43 %, respectivamente), y de 5.93 % en dalias enanas (*D. mignon*).

Los clones C2Gui, C4Nar y C3Roj resultaron sobresalientes por su alto contenido de carbohidratos totales (CT). Estos resultados son similares a los reportados en flores de la especie de dalia silvestre *D. merckii* (Rivera-Espejel et al., 2019b) y de algunas cactáceas (Pensamiento-Niño et al., 2021). No obstante, los resultados obtenidos no son superiores a los indicados para especies de dalia como *D. brevis*, *D. coccinea* y *D. campanulata*, con valores de 65.08, 68.64 y 69.88 %, respectivamente (Rivera-Espejel et al., 2019b).

De acuerdo con los resultados obtenidos, se podría considerar a la dalia como una fuente complementaria de fibra cruda y proteína en la dieta, similar a la reportada en otras flores comestibles (Granados-Balbuena et al., 2022). En este sentido, los estudios existentes han demostrado que las flores comestibles, incluida la dalia, pueden complementar la lista de alimentos funcionales, ya que se caracterizan por su bajo contenido de lípidos, y contenido variable de carbohidratos y minerales. Además, permite diversificar su uso y favorecer su conservación, debido al riesgo que representa la alteración de su hábitat nativo por actividades antropogénicas.

Conclusiones

Se identificaron cinco compuestos fenólicos, incluyendo ácidos fenólicos (gálico, cafeico y clorogénico) y flavonoides (quercetina y hesperidina). Entre los clones evaluados, C7Ros, C2Gu y C6Fuc fueron los más sobresalientes con respecto al contenido de ácido gálico, ácido cafeico y ácido clorogénico, respectivamente. Asimismo, el contenido de quercetina y hesperidina fue mayor para C1Var y C6Fuc. El análisis proximal revela que C1Var presenta lígulas con alto contenido de fibra, grasa y proteína; sin embargo, en este último parámetro fue similar a C7Ros (13.68 %) y C5Ama (13.72 %). El mayor contenido de carbohidratos totales se presentó en C2Gui, C4Nar y C3Roj. Las flores de dalia poseen un contenido significativo de compuestos

References / Referencias

- Aguiñiga-Sánchez, I., Cadena-Íñiguez, J., Santiago-Osorio, E., Gómez-García, G., Mendoza-Núñez, V. M., Rosado-Pérez, J., Ruiz-Ramos, M., Cisneros-Solano, V. M., Ledesma-Martínez, E., Delgado-Bordonave, A. J., & Soto-Hernández, R. M. (2017). Chemical analyses and *in vitro* and *in vivo* toxicity of fruit methanol extract of *Sechium edule* var. *nigrum spinosum*. *Pharmaceutical Biology*, 55(1), 1638-1645. doi: 10.1080/13880209.2017.1316746
- Arenas, Y. R., Delgado-Martínez, E. J., Morales-Rosales, E. J., Laguna-Cerda, A., Franco-Mora, O., & Urbina-Sánchez, E. (2011). Tuberous root yield of *Dahlia variabilis* Wild (Desf.) under different agronomic management practices. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 80(1), 107-112. doi: 10.32604/phyton.2011.80.107
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). *Official methods of analysis*. Rockville, USA: AOAC
- Avendaño-Arrazate, C. H., Campos-Rojas, E., López-Palestina, C. U., Martínez-Bolaños, M., Caballero-Pérez, J. F., Báez-Alonso, M., Ariza-Flores, R., & Cadena-Íñiguez, J. (2021). Antioxidant activity in genotypes of *Theobroma* spp. (Malvaceae) in Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 507-523. doi: 10.15517/rbt.v69i2.41626
- Barriada-Bernal, L. G., Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E. A., Gallardo-Velázquez, T., Ávila-Reyes, J. A., Torres-Morán, M. I., González-Elizondo, M. D. S., & Herrera-Arrieta, Y. (2014). Flavonoid composition and antioxidant capacity of the edible flowers of *Agave durangensis* (Agavaceae). *CYTA-Journal Food*, 12(2), 105-114. doi: 10.1080/19476337.2013.801037
- Blanda, G., Rodríguez-Roque, M. J., Comandini, P., Flores-Córdova, M. A., Salas-Salazar, N. A., Cruz-Álvarez, O., & Soto-Caballero, M. C. (2020). Phenolic profile and physicochemical characterization of quince (*Cydonia oblonga* Mill) fruits at different maturity index. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 2306-2315. doi: 10.15835/nbha48412108
- Castro-Castro, A., Zuno-Delgadillo, O., Carrasco-Ortiz, M. A., Harker, M., & Rodríguez, A. (2015). Novedades en el género *Dahlia* (Asteraceae: Coreopsidaeae) en Nueva Galicia, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 41-51. doi: 10.17129/botsci.239
- Costa-Silva, E. H., Torquato-Tavares, A., Alves-Ferreira, T., Pascual-Reyes, I. D., Guimarães-Alves, F. Q., & Rodrigues-do Nascimento, I. (2020). Doses and number of applications of ethephon in sex reversal of zucchini squash flowers. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(1), 5-14. doi: 10.5154/r.rchsh.2019.06.011
- De Lima-Franzen, F., Rodrigues-de Oliveira, M. S., Lidório, H. F., Farias-Menegaes, J., & Martins-Fries, L. L. (2019). Chemical composition of rose, sunflower and calendula flower petals for human food use. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 149-158. doi: 10.21930/rcta.vol20_num1_art:1252
- Deguchi, A., Tatsuzawa, F., Hosokawa, M., Doi, M., & Ohno, S. (2016). Quantitative evaluation of the contribution of four major anthocyanins to black flower coloring of fenólicos, por lo que pueden ser consideradas como un alimento funcional para su consumo en fresco.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo técnico y económico proporcionado por la Universidad Autónoma Chapingo, a través del Programa Institucional de Mejoramiento Genético de Dalia, con el proyecto “Conservación y aprovechamiento sustentable de la dalia, nuestra flor nacional” con clave de identificación VUSNITT/15/GEN/07474 de la Red Dalia, del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas del (SNICS) perteneciente al gobierno de México. Además, el primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca 549961 otorgada para realizar sus estudios de Doctorado en Ciencias en Horticultura.

Fin de la versión en español

dahlia petals. *The Horticulture Journal*, 85(4), 340-350. doi: 10.2503/hortj.MI-121

Estrada-Beltrán, A. E., Salas-Salazar, N. A., Parra-Quezada, R. A., Olivas-Orozco, G. I., Jacobo-Cuellar, J. L., Flores-Córdova, M. A., Soto-Caballero, M. C., & Frías-Moreno, M. N. (2021). Profile of volatile compounds and physicochemical parameters of four apple varieties, during their tree maturation. *Interciencia*, 46(4), 140-147. Retrieved from <https://www.interciencia.net/antiores/volumen-46-numero-04/>

Frías-Moreno, M. N., Olivas-Orozco, G. I., González-Aguilar, G. A., Benitez-Enriquez, Y. E., Paredes-Alonso, A., Jacobo-Cuellar, J. L., Salas-Salazar, N. A., Ojeda-Barrios, D. L., & Parra-Quezada, R. A. (2019). Yield, quality and phytochemicals of organic and conventional raspberry cultivated in Chihuahua, Mexico. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2), 522-530. doi: 10.15835/nbha47211385

Granados-Balbuena, S. Y., Santacruz-Juárez, E., Canseco-González, D., Aztatzi-Rugerio, L., Sánchez-Minutti, L., Ramírez-López, C., & Ocaranza-Sánchez, E. (2022). Identification of anthocyanic profile and determination of antioxidant activity of *Dahlia pinnata* petals: A potential source of anthocyanins. *Journal of Food Science*, 11, 5965. doi: 10.1111/1750-3841.16072

Jiménez, M. L. (2015). El cultivo de la Dalia. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 107-115. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362015000100014

Kaisoon, O., Konczak, I., & Siriamornpun, S. (2012). Potential health enhancing properties of edible flowers from Thailand. *Food Research International*, 46(2), 563-571. doi: 10.1016/j.foodres.2011.06.016

Kaisoon, O., Siriamornpun, S., Weerapreeyakul, N., & Meeso, N. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand. *Journal of functional foods*, 3(2), 88-99. doi: 10.1016/j.jff.2011.03.002

- Karimi, E., Oskoueian, E., Hendra, R., Oskoueian, A., & Jaafar, Z. E. (2012). Phenolic compounds characterization and biological activities of *Citrus aurantium* bloom. *Molecules*, 17(2), 1203-1218. doi: 10.3390/molecules17021203
- Kumari, P., Raju, V. S., Prasad, K. V., Pal, S. K., Saha, S., Arora, A., & Hossain, F. (2017). Quantification and correlation of anthocyanin pigments and their antioxidant activities in rose (*Rosa hybrida*) varieties. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87(10), 1340-1346. Retrieved from <http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAgS/article/view/74991>
- Lara-Cortés, E., Martín-Belloso, O., Osorio-Díaz, P., Barrera-Necha, L. L., Sánchez-López, J. A., & Bautista-Baños, S. (2014). Antioxidant capacity, nutritional and functional composition of edible Dahlia flowers. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(1), 101-116. doi: 10.5154/rchsh.2013.07.024
- Martínez-Damián, M. T., Mejía-Muñoz, J. M., Colinas-León, M. T., Hernández-Epigmenio, F., & Cruz-Álvarez, O. (2021). Nutritional value, bioactive compounds and capacity antioxidant in edible flowers of dahlia. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 20(5), 63-72. doi: 10.24326/asphc.2021.5.6
- Mejía-Muñoz, J. M., de Luna-García, I., Jiménez-Ruiz, E. F., Sosa-Montes, E., Flores-Espinosa, C., Treviño-de Castro, G., & Reyes-Santiago, J. (2020). Research on dahlia, the national flower of Mexico. *Acta Horticulturae*, 1288, 103-108. doi: 10.17660/ActaHortic.2020.1288.15
- Naveed, M., Hejazi, V., Abbas, M., Kamboh, A. A., Khan, G. J., Shumzaid, M., Ahmad, F., Babazadeh, D., Fang-Fang, X., Modarresi-Ghazani, F., WenHua, L., & XiaoHui, Z. (2018). Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 97, 67-74. doi: 10.1016/j.biopha.2017.10.064
- Pensamiento-Niño, C. A., Campos-Montiel, R. G., Añorve-Morga, J., Ramírez-Moreno, E., Ascacio-Valdés, J. A., & Hernández-Fuentes, A. (2021). Nutritional characterization of the functional and antioxidant activity of cactus flowers from Hidalgo, Mexico. *Applied Sciences*, 11(13), 5965. doi: 10.3390/app11135965
- Pires, E. O., Di Gioia, F., Roupheal, Y., Ferreira, I. C., Caleja, C., Barros, L., & Petropoulos, S. A. (2021). The compositional aspects of edible flowers as an emerging horticultural product. *Molecules*, 26(22), 6940. doi: 10.3390/molecules26226940
- Pires, T. C., Dias, M. I., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2017). Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: valorization as new food ingredients. *Food Chemistry*, 220, 337-343. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.026
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). The polyphenols, naturally occurring compounds with beneficial effects on cardiovascular disease. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89. doi: 10.1590/s0212-16112012000100009
- Reyes-Santiago, J., Islas-Luna, M. A., Macías-Flores, R. G., & Castro-Castro, A. (2018). *Dahlia tamaulipana* (Asteraceae, Coreopsidae), a new species from the Sierra Madre Oriental biogeographic province in Mexico. *Phytotaxa*, 349(3), 214-224. doi: 10.11646/phytotaxa.349.3
- Rivera-Espejel, E. A., Cruz-Álvarez, O., Mejía-Muñoz, J. M., García-Mateos, M. R., Colinas-León, M. T., & Martínez-Damián, M. T. (2019a). Physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value in tuberous roots of some wild dahlia species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 813-820. doi: 10.15835/nbha47311552
- Rivera-Espejel, E. A., Cruz-Álvarez, O., Mejía-Muñoz, J. M., García-Mateos, M. R., Colinas-León, M. T., & Martínez-Damián, M. T. (2019b). Physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value of edible flowers of some wild dahlia species. *Folia Horticulturae*, 31(2), 331-342. doi: 10.2478/fhort-2019-0026
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York, USA: W. H. Freeman and Company.
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2002). *Software product support manual, ver. 9.0*. Cary, N. C.: Author.
- Terán-Eraza, B., Alía-Tejagal, I., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., López-Guzmán, G. G., Pérez-Arias, G. A., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Physical, chemical and morphological fruit characterization of soursoup (*Annona muricata* L.). *Agrociencia*, 53(7), 1013-1027. Retrieved from <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1860/1857>
- Wilmsen, P. K., Spada, D. S., & Salvador, M. (2005). Antioxidant activity of the flavonoid hesperidin in chemical and biological systems. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 53(12), 4757-4761. doi: 10.1021/jf0502000