



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

VALOR NUTRICIONAL Y CALIDAD POSTCOSECHA DE GENOTIPOS DE DALIA (*Dahlia* spp.)

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

ESTEBAN ARTURO RIVERA ESPEJEL



Bajo la supervisión de: Dra. Ma. TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
CARRERAS PROFESIONALES



Chapingo, Estado de México, Junio de 2019

**VALOR NUTRICIONAL Y CALIDAD POSTCOSECHA DE GENOTIPOS DE
DALIA (*Dahlia* spp.)**

Tesis realizada por Esteban Arturo Rivera Espejel bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:


Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

ASESOR:


Dra. Ma. Teresa Beryl Colinas León

ASESOR:


Dra. Ma. Del Rosario García Mateos

LECTOR EXTERNO:


Dr. Oscar Cruz Álvarez

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DEL APÉNDICE	ix
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS.....	xi
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xii
RESUMEN GENERAL.....	xiii
GENERAL ABSTRACT.....	xiv
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo General.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Hipótesis.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 La dalia.....	4
2.1.1 Descripción botánica	4
2.2 El color en los alimentos	10
2.3 Composición química y propiedades nutricionales y nutracéuticas de los alimentos	12
2.4 Las flores y tubérculos comestibles	14
2.4.1 Importancia y propiedades nutricionales.....	14
2.5 Compuestos bioactivos.....	15
2.5.1 Compuestos Fenólicos	15
2.5.2 Flavonoides	19

2.5.3	Antocianinas.....	22
2.5.4	Vitaminas.....	25
2.6	Actividad antioxidante.....	26
2.6.1	Mecanismos de acción de los antioxidantes	27
2.7	Inulina.....	29
2.7.1	Estructura química.....	29
2.7.2	Características fisicoquímicas	29
2.7.3	Usos de la inulina	30
2.7.4	Consumo de inulina	30
2.7.5	Fuentes de obtención	31
2.7.6	Beneficios nutricionales y a la salud	31
2.8	Literatura citada.....	32
3	CALIDAD FISICOQUÍMICA, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y VALOR NUTRICIONAL EN RAÍCES TUBEROSAS DE ALGUNAS ESPECIES SILVESTRES DE DALIA (<i>Dahlia</i> spp.).....	40
3.1	Resumen.....	40
3.2	Abstract	41
3.3	Introducción.....	42
3.4	Materiales y métodos.....	43
3.4.1	Material vegetal y ubicación del experimento	43
3.4.2	Manejo del cultivo.....	44
3.4.3	Diseño experimental.....	44
3.4.4	Parámetros evaluados.....	44
3.5	Resultados y discusión	47
3.5.1	Calidad química.....	47
3.5.2	Composición proximal	53
3.5.3	Correlación de Pearson	56
3.6	Conclusiones.....	57

3.7	Literatura citada.....	57
4	CALIDAD FISICOQUÍMICA, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y VALOR NUTRICIONAL EN FLORES COMESTIBLES DE ALGUNAS ESPECIES SILVESTRES DE DALIA (<i>Dahlia</i> spp.).....	63
4.1	Resumen.....	63
4.2	Abstract.....	64
4.3	Introducción.....	65
4.4	Materiales y métodos.....	67
4.4.1	Material vegetal y ubicación del experimento.....	67
4.4.2	Manejo del cultivo.....	68
4.4.3	Diseño experimental.....	69
4.4.4	Parámetros evaluados.....	69
4.5	Resultados y discusión.....	72
4.5.1	Calidad fisicoquímica.....	72
4.5.2	Composición proximal.....	83
4.6	Conclusiones.....	86
4.7	Literatura citada.....	87
5	APÉNDICE.....	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de inulina en plantas.	31
Cuadro 2. Contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable y vitamina C en raíces tuberosas de algunas especies de dalia.	49
Cuadro 3. Concentración de fenoles totales, capacidad antioxidante e inulina en raíces tuberosas de dalia.	52
Cuadro 4. Análisis proximal de raíces tuberosas en algunas especies de dalia.	55
Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson para variables de calidad química y contenido de inulina evaluadas en raíces tuberosas de algunas especies de dalia.	56
Cuadro 6. Cambios en los valores medios de peso fresco y acidez titulable evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.	73
Cuadro 7. Contenido de sólidos solubles totales y vitamina C evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.	75
Cuadro 8. Componentes de color (L^* , C^* y h°) evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.	77
Cuadro 9. Cambios en la concentración de fenoles y flavonoides totales evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.	79
Cuadro 10. Cambios en la concentración de antocianinas totales y capacidad antioxidante evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.	82
Cuadro 11. Composición proximal (%) en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.	85

Cuadro 12. Coeficiente de correlación de Pearson de parámetros de color, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en flores liguladas de algunas especies de dalia.....86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plantas de algunas especies de dalia (<i>Dahlia</i> spp.)	5
Figura 2. Planta de dalia: especie silvestre <i>D. brevis</i>	6
Figura 3. Planta de dalia: especie silvestre <i>D. merckii</i>	7
Figura 4. Planta de dalia: especie silvestre <i>D. coccinea</i>	9
Figura 5. Planta de dalia: especie silvestre <i>D. campanulata</i>	10
Figura 6. Espacio de color CIELCh.	12
Figura 7. Biosíntesis de compuestos fenólicos por la ruta del ácido.....	18
Figura 8. Estructura básica de flavonoides.....	20
Figura 9. Biosíntesis de flavonoides.	21
Figura 10. Estructura química de antocianinas y antocianidinas.	23
Figura 11. Ruta de biosíntesis de las antocianinas.	24
Figura 12. Estructura del ácido ascórbico.	26
Figura 13. Estructura química de la inulina.	29
Figura 14. Color de las flores liguladas de las especies silvestres de dalia: a) <i>D. brevis</i> , b) <i>D. coccinea</i> , c) <i>D. merckii</i> , d) <i>D. campanulata</i> ; así como la especie cultivada de dalia (<i>D. x hortorum</i>) (1-5).....	68

ÍNDICE DEL APÉNDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis proximal en raíces tuberosas de algunas especies de dalia (<i>Dahlia</i> spp.)....	93
Cuadro 2A. Cuadrados medios y significancia estadística de sólidos solubles totales, acidez titulable, inulina, vitamina C, fenoles totales y capacidad antioxidante en raíces tuberosas de algunas especies de dalia (<i>Dahlia</i> spp.).....	93
Cuadro 3A. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis proximal en flores liguladas de algunas especies de dalia (<i>Dahlia</i> spp.).....	94
Cuadro 4A. Cuadrados medios y significancia estadística de peso fresco, acidez titulable, sólidos solubles totales, luminosidad, saturación y tonalidad en flores liguladas de algunas especies de dalia (<i>Dahlia</i> spp.).....	94
Cuadro 5A. Cuadrados medios y significancia estadística de vitamina C, fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante en flores liguladas de algunas especies de dalia (<i>Dahlia</i> spp.).....	95
Figura 1A. Flores de especies silvestres (I, II, III, IV) y la especie cultivada de dalia (V, VI, VII, VIII y IX) en los días 1, 3 y 5 del periodo de florero.	96
Figura 2A. Análisis de fertilidad de suelo.	97

DEDICATORIA

A la persona que siempre me ha apoyado de manera incondicional,
que ha sido ejemplo de esfuerzo y perseverancia,
a quien siempre estaré profundamente agradecido,
Martha Petra Rivera Espejel, mi madre.

A quien ha estado a mi lado en esta etapa de mi vida,
apoyándome y demostrándome su amor, a ti Sonia.

A mis primos Ana Maria, Ignacio, Mireya, José, Omar Gregorio y
María Trinidad por todos los momentos compartidos y
el cariño que siempre nos ha unido.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por la oportunidad de continuar con mi formación académica y realizar mis estudios de Doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante mis estudios de Doctorado.

A la Dra. Ma. Teresa Martínez Damián, por la dirección de la tesis doctoral y su valioso apoyo durante el proceso de investigación.

A la Dra. Ma. Teresa Colinas León, por sus acertados consejos durante la investigación y revisión de la tesis.

A la Dra. Ma. Del Rosario García Mateos por su revisión crítica y acertada del trabajo de investigación.

Al M.C. José Merced Mejía Muñoz, por proporcionar el material vegetal y el apoyo durante el trabajo de campo.

Al Dr. Oscar Cruz Álvarez por su acertada revisión de la tesis.

Al Químico Cecilio Bautista Bañuelos por las indicaciones durante el trabajo de laboratorio.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor del presente trabajo es originario de la Comunidad de Tequexquinahuac, Municipio de Texcoco, Estado de México. Se graduó como Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo. Realizó estudios de Maestría en Ciencias durante el periodo 2006-2007 en el Programa de Edafología (Área de Nutrición Vegetal) en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Durante el periodo de 2015-2018 realizó estudios de Doctorado en Ciencias en Horticultura en el Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo. Ha trabajado como asesor técnico en los cultivos de maíz, frijol, trigo y avena, también, ha impartido asesoría y capacitación a productores de jitomate en invernadero.

RESUMEN GENERAL

VALOR NUTRICIONAL Y CALIDAD POSTCOSECHA DE GENOTIPOS DE DALIA (*Dahlia* spp.)

Las flores y raíces de dalia pueden aprovecharse como alimento, aunque, existe poca información sobre su composición nutricional y nutracéutica. El objetivo fue evaluar la calidad físicoquímica, capacidad antioxidante y valor nutricional de flores liguladas y raíces tuberosas de dalia en cuatro especies silvestres (*D. brevis*, *D. merckii*, *D. coccinea* y *D. campanulata*) y una especie cultivada (*D. x hortorum*) establecidas en una parcela de la Universidad Autónoma Chapingo. En las raíces tuberosas y flores liguladas se evaluaron los sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), vitamina C (VC), fenoles totales (FT), capacidad antioxidante (CA), y se hizo un análisis proximal. En las raíces tuberosas se determinó inulina, mientras que en las flores liguladas se evaluó peso fresco (g), color (L^* , C^* , h°), flavonoides totales (FIT), antocianinas totales (AnT) y capacidad antioxidante (CA). Las raíces tuberosas de *D. campanulata* tuvieron el mayor nivel de VC (5.17 mg AA 100 g⁻¹ p.f.), CA (1.88 mg CAEVC g⁻¹ p.f.), inulina, materia seca y carbohidratos totales (72.25, 24.38 y 88.37% base seca, respectivamente), mientras que *D. coccinea* presentó el mayor contenido de FT (1.74 mg AG g⁻¹ p.f.). Las flores liguladas de *D. coccinea* presentaron el mayor contenido en VC (76.95-89.67 mg AA 100 g⁻¹ p.f.), FT (12.87-19.92 mg AG g⁻¹ p.f.), FIT (6.78-11.32 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco), CA (47.28-60.43 mg CAEVC g⁻¹ p.f.), materia seca y carbohidratos totales (14.09 y 68.64% base seca, respectivamente), mientras que, *D. campanulata* tuvo el mayor contenido de grasa cruda, fibra cruda y cenizas (3.38, 14.34 y 8.74% base seca, respectivamente). Las raíces tuberosas y flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia superan en contenido de nutrientes y nutracéuticos a la especie cultivada, se pueden aprovechar como alimento con beneficios en la salud y pueden ser de interés nutracéutico para mejoramiento genético.

Palabras clave: flores comestibles, raíces tuberosas, compuestos bioactivos, compuestos nutracéuticos.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura
Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Esteban Arturo Rivera Espejel
Director de Tesis: Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

GENERAL ABSTRACT

NUTRITIONAL VALUE AND POSTHARVEST QUALITY OF DALIA GENOTYPES (*Dahlia* spp.)

Dalia flowers and roots can be used as food, although there is little information about their nutritional and nutraceutical composition. The objective was to determine attributes of physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value of ligulate flowers and tuberous roots of four wild dalia species (*D. brevis*, *D. merckii*, *D. coccinea* and *D. campanulata*) and a cultivated dalia species (*D. x hortorum*) established in a plot of the Chapingo Autonomous University. The total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), vitamin C (VC), total phenols (TP), antioxidant capacity (AC) on the tuberous roots and ligulate flowers were evaluated, and a proximal analysis was made. Inulin were determined in the tuberous roots, while fresh weight (g), color (L^* , C^* , h°), total flavonoids (TFI), total anthocyanins (TAn) and antioxidant capacity (AC) were evaluated in the ligulate flowers. The tuberous roots of *D. campanulata* had the highest level of VC (5.17 mg AA 100 g⁻¹ f.w.), AC (1.88 mg VCEAC g⁻¹ f.w.), inulin, dry matter and total carbohydrates (72.25, 24.38 and 88.37% of dry basis, respectively), whereas *D. coccinea* presented the highest content of TP (1.74 mg GA g⁻¹ f.w.). The ligulate flowers of *D. coccinea* had the highest content in VC (76.95-89.67 mg AA 100 g⁻¹ f.w.), TP (12.87-19.92 mg GA g⁻¹ f.w.), TFI (6.78-11.32 mg quercetin g⁻¹ dry extract), AC (47.28-60.43 mg VCEAC g⁻¹ f.w.), dry matter and total carbohydrates (14.09 and 68.64% of dry basis, respectively), whereas, *D. campanulata* had the highest content of raw fat, raw fiber and ashes (3.38, 14.34 and 8.74% of dry basis, respectively). The tuberous roots and ligulate flowers of some wild dalia species far outweigh the nutrient and nutraceutical content of the cultivated species, they can be used as food with health benefits and may be of nutraceutical interest for genetic improvement.

Key words: edible flowers, tuberous roots, bioactive compounds, nutraceutical compounds.

Thesis: Doctoral in Sciences in Horticulture, Chapingo Autonomous University
Author: Esteban Arturo Rivera Espejel
Advisor: Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El consumo de plantas satisface la necesidad de alimentación al ser aprovechados sus frutos, semillas, hojas, raíces (Slavin & Lloyd, 2012) y flores (Franzen, Lidório & Oliveira, 2018). Además, las plantas comestibles cultivadas y silvestres contribuyen a mejorar la nutrición y salud del ser humano, ya que contienen diferentes productos naturales como aminoácidos, grasas, carbohidratos, vitaminas, minerales y metabolitos secundarios (terpenoides, glucósidos, alcaloides y fenoles, entre otros), varios de los cuales tienen propiedades antioxidantes (Guarrera & Savo, 2013; Romojaro, Botella, Obton & Pretel, 2013).

En el caso de las flores, su consumo se ha realizado por diferentes culturas durante siglos y en los últimos años se ha presentado un interés creciente en su aprovechamiento para mejorar la apariencia, el sabor y el valor estético de los alimentos, además de que contienen compuestos antioxidantes como polifenoles, carotenoides, ácido ascórbico (vitamina C) y muchos otros compuestos bioactivos y nutraceuticos (Grzeszczuk, Stefaniak & Pachlowska, 2016; Landi, Ruffoni, Salvi, Savona & Guidi, 2015).

Las raíces comestibles son otra parte importante de las plantas cuyo consumo agrega variedad a la dieta y ofrece beneficios para la nutrición y la salud, ya que contienen compuestos bioactivos como los de tipo fenólico, proteínas bioactivas, glucoalcaloides, entre otros, que presentan actividad como antioxidante, hipoglucémico, hipocolesterolémico, inmunomodulatorio y antimicrobiano, además, las raíces presentan un gran potencial para proveer energía en forma de carbohidratos (Chandrasekara & Kumar, 2016).

La dalia (*Dahlia* spp.) es una planta nativa de México, con numerosas especies silvestres distribuidas en la mayor parte del territorio, que actualmente tiene gran

reconocimiento a nivel mundial como planta ornamental por la belleza de sus flores que son apreciadas en las miles de variedades generadas (Jiménez, 2015). Sin embargo, en nuestro país ha recibido poca atención en el ámbito florícola y poco se conoce de su aprovechamiento como fuente de alimento, a pesar de haber sido declarada como “Flor nacional”. Desde el punto de vista alimenticio, tanto las flores como las raíces de la dalia tienen potencial para aprovechar su consumo, además, de que pueden utilizarse con fines terapéuticos (Moldovan, Szekely-Varga, & Cantor, 2017).

Estudios realizados demuestran las propiedades nutricionales y medicinales de la dalia, al señalar que posee diversos compuestos benéficos, ya que, sus raíces tuberosas contienen carbohidratos específicos que no se encuentran en otros vegetales, además de fibra, proteína, grasa, vitaminas y minerales, mientras que las flores poseen, además de los nutrientes antes señalados, otros compuestos como fenoles, flavonoides, antocianinas y carotenoides (Lara-Cortés *et al.*, 2014; Nsabimana & Jiang, 2011). Las raíces tuberosas de la dalia contienen inulina, un carbohidrato constituido por la unión de moléculas de fructosa, que aporta beneficios a la salud por su bajo valor calórico y como prebiótico, fibra dietética, hipoglicemiante y mejorador de la biodisponibilidad de minerales como calcio y magnesio, con evidencias de sus beneficios en la reducción del riesgo de cáncer y protección contra desórdenes intestinales (Kosasih, Pudjiraharti, Ratnaningrum & Priatni, 2015; Shoaib *et al.*, 2016).

De acuerdo con Pereira, Barros, Carvalho y Ferreira (2011) es importante contar con información sobre la composición de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de los alimentos, particularmente de las especies silvestres con la finalidad de recuperar el hábito de su consumo. Además, en el caso de las especies silvestres de dalia el estudio de sus propiedades nutricionales y medicinales podrían coadyuvar a su conservación, ya que, algunas de sus especies se encuentran en peligro de extinción por diversos factores como la disminución de su hábitat (Castro-Castro, Zuno-Delgadillo, Carrasco-Ortiz,

Harker & Rodríguez, 2015; Macías-Flores, Ramírez-Díaz, González-Gallegos, Carrillo-Reyes & Castro-Castro, 2018).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la calidad fisicoquímica, capacidad antioxidante y valor nutricional en flores liguladas y raíces tuberosas de algunas especies de *Dahlia* spp.

1.1.2 Objetivos Específicos

a) Determinar la composición proximal en flores liguladas y raíces tuberosas de dalia (*D. brevis*, *D. coccinea*, *D. merckii*, *D. campanulata* y *D. x hortorum*).

b) Cuantificar los sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, fenoles totales, capacidad antioxidante e inulina en raíces tuberosas de dalia (*D. brevis*, *D. coccinea*, *D. merckii*, *D. campanulata* y *D. x hortorum*).

c) Evaluar el color, peso fresco, sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante en flores de dalia (*D. brevis*, *D. coccinea*, *D. merckii*, *D. campanulata* y *D. x hortorum*).

1.2 Hipótesis

Las especies de dalia (*D. brevis*, *D. coccinea*, *D. merckii*, *D. campanulata* y *D. x hortorum*) presentan diferencias en las propiedades fisicoquímicas, capacidad antioxidante y valor nutricional, y al menos una especie silvestre destacará para ser cultivada y aprovechada en la alimentación humana.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La dalia

2.1.1 Descripción botánica

El género *Dahlia* pertenece a la familia Asteraceae y México se considera como su centro de origen con la presencia de 39 especies silvestres que se desarrollan entre 500 y 3500 m.s.n.m., donde la mayoría se localiza en su mayor parte en el centro del territorio mexicano (Castro-Castro, Rodríguez, Vargas-Amado & Harker, 2012; Villaseñor & Redonda-Martínez, 2018), sin embargo, el número de especies silvestres mencionado anteriormente no es definitivo, ya que, no se descarta que puedan ser descritas nuevas especies. La mayoría de las dalias son plantas herbáceas o arbustivas, a veces epífitas o trepadoras; las herbáceas son anuales, pues su follaje desaparece en el invierno, pero sus raíces tuberosas quedan enterradas, de donde brotan nuevas plantas en la siguiente estación de lluvias; las arbustivas son perennes, en lo general presentan raíces tuberosas muy desarrolladas; sus tallos son huecos o compactos y sus hojas son simples o tripinnado-compuestas; las inflorescencias están formadas de varias flores que en conjunto se denominan cabezuelas; las flores liguladas (en forma de lengua) que se ubican al exterior tienen la apariencia de un pétalo y presentan multitud de colores: blancos, morados, amarillos o rojos; por su parte, las flores tubulares, que en conjunto semejan un disco, son de color amarillo o morado (Bye & Linares, 2008). Algunas plantas de especies de dalia (silvestres y cultivada) se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Plantas de algunas especies de dalia (*Dahlia* spp.)

a) *Dahlia brevis*: *Dahlia brevis* es una planta herbácea de 0.4 a 0.7 m de altura. Tallos de 2 a 5 mm de diámetro, muy estriado y pubescente. Hojas simples, pinnadas o pinnatisectas, de 3.5 a 14 cm de longitud; 5 divisiones o pinnas, opuestas, raramente subopuestas o alternadas; la pinna basal tiene de 12 a 40 mm de longitud, 4 a 12 mm de ancho, oblonga-lanceolada, aguda o subaguda casi obtusa; ventralmente glabras o escasamente pubescentes, dorsalmente pubescentes, especialmente a lo largo de la venación central; márgenes ciliados, enteros o irregularmente serrados con 1 o 2 dientes en cada lado; peciolo de 7 a 22 mm de longitud, 0.5 a 4 mm de ancho, usualmente alado en las bases decurrentes de las divisiones laterales; raquis alado, pubescente, especialmente en la unión con las pinnas. Inflorescencias en capítulo, de 1 a 3 por planta, oblicuamente erectas en antesis, pedúnculos de 10 a 24 cm de longitud; flores liguladas púrpura claro, extendidas en antesis, 10 a 25 mm de longitud, 6 a 14 mm de ancho, elípticas, agudas o denticuladas; flores de disco amarillas, corola con venación púrpura, lóbulos marginalmente púrpura o completamente purpúreos. Aquenios de 6 a 7 mm de longitud, 2 a 3 mm de ancho. Número cromosómico, $n = 16$. Su etapa de floración se lleva a cabo anualmente durante

los meses de agosto a septiembre (Sorensen, 1969). En la Figura 2 se observa a *D. brevis* en condiciones de cultivo.



Figura 2. Planta de dalia: especie silvestre *D. brevis*.

b) *Dahlia merckii*: *Dahlia merckii* es una planta herbácea de 0.46 a 1.85 m de altura. Tallos de 3 a 9 mm de diámetro. Hojas de bipinnadas a bipinnadas pinnatisectas de 14 a 38 cm de largo, 5 a 7 divisiones o pinnas primarios opuestos al raquis, los pinnales basales de 6.5 a 16 cm de largo; peciolos o pseudopeciolos de 9 a 40 mm de largo, segmentos finales ampliamente ovados a ligeramente obovados, de 2 a 5.2 cm de largo, 0.9 a 3.2 cm de ancho (la longitud a menudo es aproximadamente el doble de la anchura), el segmento terminal suele ser algo mayor que sus segmentos complementarios. Ápices agudos a acuminados; superficies bicolors, verde claro debajo, superior glabro o escasamente pubescente, pubescente minuciosamente apretado a lo largo de las venas principales, el inferior glabro o poco pubescente; márgenes ciliolados, los cilios irregulares, serrados a dentados-crenados, de 1 a 5 dientes por lado. Estípulas generalmente presentes, de 8 a 46 mm de largo, 3 a 32 mm de ancho, ovados, puntas agudas o acuminadas, unidas a cada nodo raquídeo, pecíolo glabro, de 4 a 16 cm de largo, fuertemente dilatado en la base cuando está fresco formando una cresta carnosa conspicua alrededor del tallo. Cabezuelas de 10 a 90 por

planta, oblicuamente erguidas, elevadas muy por encima de la porción frondosa del tallo en varias a muchas ramas, estas nuevamente ramificadas y terminadas por 2 a 19 cabezas en los pedúnculos de 1 a 30 cm de largo; brácteas involucrales externas que se extienden o se reflejan en la anthesis, lineal a ligeramente espatulada, de 9.5 a 11.5 mm de largo, 5 a 7 mm de ancho; flores de disco entre 47 y 58, corola amarilla, amarillas con puntas púrpura o púrpura, de 6 a 9 mm de largo. Aquenios más o menos lineales, más anchos por encima del centro, abruptamente estrechados en la parte superior y coronados por un disco superficial, de 5.5 a 10 mm de largo, 1.1 a 2.3 mm de ancho, ventralmente aplanado y dorsalmente redondeado o en forma de V en sección longitudinal sulcado, de color marrón oscuro a negro. Número cromosómico, $n = 18$. Su etapa de floración se lleva a cabo anualmente durante los meses de junio a octubre (Sorensen, 1969). En la Figura 3 se observa a *D. merckii* en condiciones de cultivo.



Figura 3. Planta de dalia: especie silvestre *D. merckii*.

c) *Dahlia coccinea*: *Dahlia coccinea* es una planta de 0.45 a 3 m de altura. Tallos generalmente no ramificados en la porción floreciente, de 2 a 25 mm de diámetro, glabra a densamente pubescente especialmente en los nudos, a veces visiblemente glauco, de color verde a púrpura cuando está fresco; Los nudos generalmente se septan o incompletan; entrenudos, huecos, raramente sólidos, de 2.5 a 30 cm de largo. Hojas opuestas, 3 por nudo, extremadamente variable

de simple y desunido a tripinnado, de 12 a 35 cm de largo incluyendo pecíolo; 3 a 11 divisiones primarias, sésiles o peciolulados; pinna basal de 4.5 a 16 cm de largo, su pínula basal (de 2 o 3 hojas pinnadas) de 1.8 a 7 cm de largo, segmento terminal de las hojas, pinna y pínula ligeramente mayor que sus folíolos complementarios; último segmento ovado a ovado-elíptico o estrechamente ovado-lanceolado, raramente obovado, ápices con bases agudas o ligeramente acuminadas generalmente cónicas, a veces redondeadas, truncadas e incluso ligeramente cordadas; superficies generalmente bicolores, parte baja verde claro o verde gótico, superior glabro o pubescente, a veces grueso escabroso, el inferior rara vez casi glabro, por lo general visiblemente peludo a lo largo de las venas; márgenes ciliolados, los cilios usualmente cortos y muy rígidos, poco frecuentes más largos y flexibles, varias veces crenados-dentados a grueso o finamente dentados con 2 a 14 dientes por lado; pecíolo ranurado arriba, en forma de media luna en sección transversal, a veces muy estrechamente alado, glabro o pubescente, de 1 a 11 cm de largo; el raquis primario es glabro o pubescente, en su mayoría con un conspicuo racimo de pelos en las uniones con la pinna primaria, a menudo ranurado arriba, a veces con alas, especialmente en las porciones distales; estípulas que se producen de manera irregular, cuando está presente por lo general en el segundo nodo del raquis, simple a compuesto, sésil o acosado. Cabezuelas generalmente en grupos de 2 y 3, erecto u oblicuamente erecto, en pedúnculos de 2 a 30 cm de largo; Las brácteas envolventes externas se extienden o se reflejan en la antesis, acentuada, a veces larga acuminada atenuada, de 6 a 15 mm de largo, de 3 a 7 mm de ancho, de vez en cuando reticulada, glabra, ventralmente glabras o puberulosas, a menudo cruzadas; brácteas internas de color pardusco o escarlata en todo o sólo las puntas escarlata, de 11 a 17 mm de largo, 3 a 8 mm de ancho, flores de disco 71 a 157, amarillo o a veces escarlata, de 8 a 10 mm de largo, los lóbulos de la corola se extienden o se erigen; estilo de ramas lineales-lanceoladas, flexuosas, de 4 a 4.5 mm de largo, de menos de 0.8 mm de ancho, aquenio lineales-oblongadas a obovadas o espatuladas, de 8 a 13 mm de largo, de 1.8 a 5.5 mm de ancho, de gris a negro, algunas veces de estriado negro, de dimensiones y textura variadas

a veces dentro de la misma cabeza; papus obsoleto o consistente en 2 rudimentos diminutos, rara vez muy alargados en finos hilos filiformes, muy delgados y flexibles, usualmente caducifolios. Número cromosómico, $n = 16$ y 32 . Su floración se lleva a cabo generalmente de junio a noviembre (Sorensen, 1969). En la Figura 4 se observa a *D. coccinea* en condiciones de cultivo.



Figura 4. Planta de dalia: especie silvestre *D. coccinea*.

d) *Dahlia campanulata*: De acuerdo con Saar, Sorensen y Hjerting (2003) *D. campanulata* fue descubierta en el estado de Oaxaca, México. Es una planta perenne de 1.3 a 2.5 m de altura con raíz tuberosa, con uno a tres tallos herbáceos erguidos que alcanzan hasta 2.5 m, con hojas de hasta 60 cm de longitud incluyendo pecíolo, tripinnadas con estipulas en la mayoría de los nudos del raquis, cambiando de bipinnadas a pinnadas sin estipulas a simples en la base de la porción floral, pínulas opuestas en la raquilla, de 7 a 11 pínulas primarias, hojas marginales sesioladas, pecíolos sólidos, cabezuelas pedunculadas, de más de 20 cm de diámetro, cuando esta plana, flores liguladas de color claro, brácteas involucrales externas que se separan perpendicularmente al eje de la cabezuela en la antesis. Número cromosómico $n = 16$. En la Figura 5 se observa a *D. campanulata* en condiciones de cultivo.



Figura 5. Planta de dalia: especie silvestre *D. campanulata*.

2.2 El color en los alimentos

El color es el primer atributo de calidad, antes que el sabor y aroma, en la evaluación de los alimentos por parte de los consumidores e influye en la decisión de compra del producto alimenticio (Pathare, Opara, & Al-Said, 2013), además, tiene estrecha relación con la frescura, madurez y seguridad del alimento; por otra parte, el color es una respuesta de percepción mental al espectro visible de luz reflejada o emitida desde un objeto, dicha respuesta interactúa en la retina del ojo, y es entonces transmitida al cerebro por el nervio óptico, lo que hace que los humanos asignen colores a esta señal (Wu & Sun, 2013). El color tiene efectos sobre el estado emocional del observador, mismos que están determinados por la combinación de tono, saturación y brillo (Wilms & Oberfeld, 2018).

El color de los productos agroalimenticios tales como frutas o verduras se deriva de pigmentos naturales, muchos de los cuales cambian a medida que la planta avanza en su proceso de maduración; los principales pigmentos que imparten color son las clorofilas liposolubles (verde), carotenoides (amarillo, naranja y rojo), antocianinas hidrosolubles (rojo, azul), flavonoides (amarillo) y betalainas (rojo) (Pathare *et al.*, 2013). Las personas tienden a preferir alimentos con un

color cromático alto, es decir alimentos con colores más vivos (Lee, Lee, Lee, & Song, 2013).

Las personas interpretan el color de manera diferente, por ello la expresión subjetiva del color puede no ser lo suficientemente precisa, por lo tanto, los enfoques objetivos en la medición y expresión del color ayudan a minimizar dicho problema (Pathare *et al.*, 2013). La medición de color se puede realizar por medio de la inspección visual (humana), instrumentos tradicionales como el colorímetro o espectrofotómetro y mediante la visión por computadora; la medición del color con el colorímetro o espectrofotómetro se ha utilizado extensamente en la industria alimenticia, ya que, en un entorno de iluminación específico, estos instrumentos proporcionan una medida cuantitativa al simular la manera en que el ojo humano promedio ve el color de un objeto (Wu & Sun, 2013). El espectrofotómetro registra las longitudes de onda reflejadas como valores numéricos (curva espectral) a partir de los cuales se calculan las coordenadas que sitúan un color determinado en el espacio de color (Finot, Baeza, Ruiz, Carrasco & Melín, 2016).

El sistema de color CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) utiliza tres coordenadas para localizar un color en el espacio; el color expresado en la escala CIELCh utiliza coordenadas polares (L^* , C^* , h°) (Figura 6), derivadas de la escala CIELab que utiliza coordenadas cartesianas (a^* , b^*); L^* expresa la luminosidad, determina si un color se ve más claro o más oscuro y se expresa en escala de 0 (negro o absorción total) a 100 (blanco); C^* denota el croma (saturación, intensidad) y h° denota el tono (tonalidad, *hue*), expresado como medida angular (Finot *et al.*, 2016; Samu, 2008), de tal manera que un ángulo de 0° o 360° representa el tono rojo, mientras que los ángulos de 90° , 180° y 270° representan los tonos amarillo, verde y azul, respectivamente. (Pathare *et al.*, 2013).

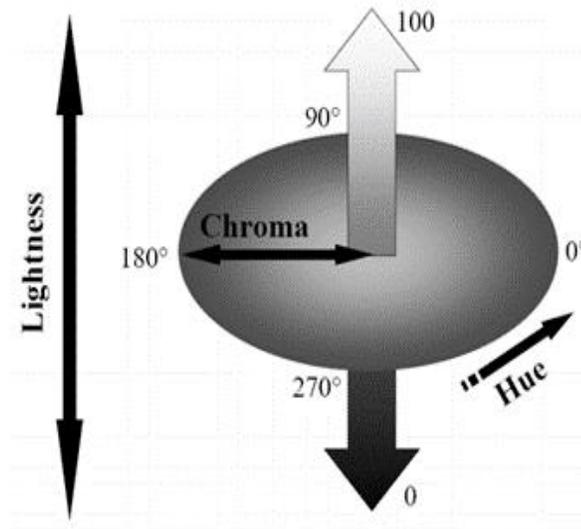


Figura 6. Espacio de color CIELCh.
(Fuente: Samu, 2008)

2.3 Composición química y propiedades nutricionales y nutracéuticas de los alimentos

Los alimentos proporcionan nutrientes que son esenciales para la salud humana y su composición varía con el tipo de alimento (Tapsell, Neale, Satija & Hu, 2016). Los nutrientes que contienen los alimentos se pueden agrupar en distintas categorías principales como carbohidratos, proteínas, lípidos (grasas), vitaminas y minerales (Bordenave, Hamaker & Ferruzzi, 2014; Lairon, 2010). Los carbohidratos, las proteínas y las grasas son macronutrientes porque constituyen la mayor parte de la dieta, mientras que, las vitaminas y los minerales son micronutrientes porque se requieren en cantidades mucho más pequeñas; la ingesta adecuada de alimentos asegura un suministro suficiente de nutrientes (Kotue, Marlyne & Wirba, 2018).

Los carbohidratos existen en formas simples y complejas, se consideran nutrientes que proporcionan energía (calorías), pero no todos los carbohidratos aportan energía; la forma simple incluye azúcares como la glucosa, mientras que, las formas complejas de carbohidratos como los almidones y la fibra dietética no siempre son una fuente de energía (Neacșu, 2014). Los almidones pueden ser digeridos para producir glucosa, que es utilizada como fuente de energía, mientras que, la fibra no se digiere y, por lo tanto, no puede producir energía, a su vez la fibra dietética se compone de formas solubles e insolubles; los carbohidratos al igual que las proteínas, otro grupo importante de nutrientes que aportan aminoácidos, los utiliza el cuerpo y son necesarios para la vida (Kotue *et al.*, 2018).

Los alimentos que cumplen su función nutricional básica y que, además, tienen efectos benéficos en la salud, como la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, son denominados alimentos funcionales (Prakash *et al.*, 2017), los cuales han despertado el interés, en los últimos años, de científicos, consumidores y fabricantes de alimentos (Birch & Bonwick, 2019). Por otra parte, el término nutraceutico, compuesto por las palabras nutrición y farmacéutico, es definido como un alimento o parte de un alimento (componentes o ingredientes) como fitoquímicos bioactivos que proveen beneficios medicinales y saludables, que incluyen la prevención de enfermedades, aunque, el límite entre alimento funcional y nutraceutico no es claro y los consumidores y las industrias los usan de manera indistinta. (Gul, Singh & Jabeen, 2016).

Los alimentos funcionales pueden ser aquellos que contienen minerales, vitaminas, ácidos grasos o fibra dietética específicos, o aquellos que se les ha adicionado sustancias biológicamente activas como fitoquímicos u otros antioxidantes y probióticos (Gul *et al.*, 2016). Considerando dicha definición las flores pueden ser consideradas como un alimento funcional ya que contienen compuestos bioactivos como vitaminas, ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, carotenoides, entre otros. (Franzen *et al.*, 2018).

Estudios realizados en los últimos años han mostrado que las dietas basadas en frutas, verduras y fibras dietéticas (alimentos de origen vegetal) previenen y reducen el riesgo de enfermedades crónicas (por ejemplo, enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes) y promueven la salud, por lo que se reconoce que los compuestos bioactivos de las plantas que incluyen vitaminas, minerales, fitoquímicos, entre otros, tienen propiedades antioxidantes y beneficios para la salud (Cencic & Chingwaru, 2010; Prabu, Suriyaprakash, Kumar & Kumar, 2012).

2.4 Las flores y tubérculos comestibles

2.4.1 Importancia y propiedades nutricionales

En países como México, caracterizado por ser megadiverso en especies vegetales, las poblaciones rurales han utilizado diversas plantas silvestres para su consumo (Pío-León, Delgado-Vargas, León-de la Luz & Ortega-Rubio, 2017). En muchos casos, como lo señala Mishra, Swain, Chaudhury y Ray (2008) las comunidades rurales dependen de las plantas silvestres para alimentarse en periodos de escases de alimento, de tal manera que una opción la representan las especies con tubérculos comestibles, ya que no solo enriquecen la dieta de las personas sino también poseen propiedades medicinales. Además, las raíces y tubérculos que almacenan reservas comestibles (*Manihot esculenta*, *Dioscorea* spp., *Colocasia esculenta* e *Ipomoea batatas*) forman uno de los grupos de alimentos básicos más importantes en países en desarrollo, aunque generalmente las raíces y tubérculos son una fuente pobre en algunos macronutrientes, también, son de las fuentes más baratas de energía en forma de carbohidratos (Ugwu, 2009).

Los tubérculos vegetales tienen principalmente dos funciones biológicas en las plantas: a) almacenamiento de carbono, nitrógeno y azufre, sustancias que pueden ser movilizadas cuando sean requeridas; b) los tubérculos actúan como propágulos para generar brotes que dan lugar a nuevas plantas, aunque no todas

comparten esta función; en este caso necesitan contener los suficientes nutrientes para soportar los requerimientos de la nueva planta hasta que sea capaz de crecer de manera independiente; en general, los tubérculos son ricos en almidón, aunque, comúnmente son considerados solamente como fuente de carbohidratos para las dietas o para uso industrial, también, contienen proteínas que varían en cantidad de 1-10 % en peso seco (Shewry, 2003).

Por otra parte, las flores comestibles poseen colores, formas, sabores y aromas que pueden ser aprovechados para mejorar la presentación y las propiedades nutricionales de los alimentos; el contenido en proteínas, grasas, sacáridos y vitaminas comunes en las flores comestibles no es tan diferente de la composición que tienen otros órganos de la planta (Lara-Cortés, Osorio-Díaz, Jiménez-Aparicio & Bautista-Baños, 2013). Las flores comestibles de plantas como frutales, hortalizas, medicinales y ornamentales han sido utilizadas por diferentes culturas antiguas, y desde el punto de vista nutricional son fuente de proteínas, aminoácidos, carbohidratos, lípidos, carotenoides, compuestos fenólicos, azúcares, vitaminas y minerales, además, varios de sus componentes químicos muestran actividad antioxidante lo cual reduce o previene el riesgo de de diversas enfermedades (Mlcek & Rop, 2011), por ejemplo, la disminución en la proliferación de células cancerosas (Kaisoon, Konczak & Siriamornpun, 2011). De igual manera, Sotelo, López-García y Basurto-Peña (2007) mencionan que muchas flores comestibles de plantas silvestres se recolectan y consumen localmente, pero existe poca información acerca de su valor nutricional.

2.5 Compuestos bioactivos

2.5.1 Compuestos Fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios presentes en muchas plantas que poseen una serie de funciones metabólicas en las plantas, en el crecimiento y reproducción, y en la protección contra patógenos externos y el estrés, como la radiación UV y los depredadores; además, están asociados con

el color y las características sensoriales de las plantas y alimentos, como la astringencia de frutas y hortalizas (Peñarrieta, Tejeda, Mollinedo, Vila & Bravo, 2014), pueden encontrarse en todas las familias de plantas superiores y en casi todas las especies vegetales, las cuales biosintetizan más de 8000 compuestos fenólicos (Martin, 2018).

Los compuestos fenólicos son un grupo muy diverso que comprende desde moléculas sencillas hasta polímeros complejos, por lo que se clasifican de diversas maneras, siendo una de estas clasificaciones la que comprende dos grandes grupos: fenólicos simples y complejos donde se ubican los ácidos hidroxibenzoicos, ácidos hidroxinámicos, polifenoles volátiles, estilbenos y compuestos diversos (lignanós y cumarinas), y en el segundo grupo se ubican los flavonoides y no flavonoides; en este grupo se encuentran los flavonoles, flavonas, flavan-3-ols, isoflavonas, flavanonas, dihidroflavonoles, antocianidinas y chalconas (Valencia-Avilés *et al.*, 2017). Otra clasificación se basa en el grado de solubilidad, de tal manera que, los compuestos solubles en agua son los ácidos fenólicos, fenilpropanoides, flavonoides y quinonas, mientras que los compuestos insolubles en agua incluyen a los taninos condensados, ligninas y ácidos hidroxinámicos que están unidos a la pared celular de las células vegetales; también, los compuestos fenólicos se clasifican según el número de anillos fenólicos y los elementos estructurales unidos a las unidades básicas, siendo los principales grupos los flavonoides, ácidos fenólicos, taninos hidrolizables, taninos condensados, estilbenos y lignanos (Haminiuk, Maciel, Plata-Oviedo & Peralta, 2012).

Los compuestos fenólicos se han clasificado con base a su estructura química en: C₆ (fenoles simples, benzoquinonas), C₆-C₁ (ácidos fenólicos y aldehídos), C₆-C₂ (acetofenonas, fenil-ácidos acéticos), C₆-C₃ (ácidos hidroxinámicos, cumarinas, fenil-propanos, cromonas), C₆-C₄ (naftoquinonas), C₆-C₁-C₆ (xantonas), C₆-C₂-C₆ (estilbenos, antraquinonas), C₆-C₃-C₆ (flavonoides, isoflavonoides, neoflavonoides), (C₆-C₃-C₆)_{2,3} (bi, tri-flavonoides, dímeros proantocianidinas, trímeros), (C₆-C₃)₂ (lignanós, neolignanós), (C₆-C₃)_n (ligninas),

(C₆)_n (melaninas catecol, flor-otaninos), (C₆-C₃-C₆)_n (taninos condensados); los compuestos fenólicos de bajo peso molecular se presentan en plantas superiores, algunos de ellos están comúnmente en diversas especies de plantas, mientras que, otros están en especies específicas (Cheynier, Comte, Davies, Lattanzio & Martens, 2013).

Los compuestos fenólicos pueden estar ampliamente extendidos en el reino vegetal, estar presentes en familias específicas de plantas o solamente en ciertos órganos o en ciertos estados de desarrollo; por ejemplo, las antocianinas son los principales pigmentos en los órganos vegetales de color rojo y azul, como es el caso de las flores y frutos maduros, los flavonoles protegen los tejidos de las plantas contra la radiación ultravioleta (UV), mientras que las proantocianidinas y taninos hidrolizables pueden participar en la defensa de las plantas contra herbívoros, hongos y virus (Cheynier, 2012).

Las flores contienen compuestos fenólicos con diferentes estructuras químicas, principalmente ácidos fenólicos, flavonoles y antocianinas, los cuales proveen capacidad antioxidante y protección contra daños inducidos por los radicales libres (Navarro-González, González-Barrio, García-Valverde, Bautista-Ortín & Periago, 2015), además, el contenido de algunos compuestos fenólicos en las flores puede compararse al que contienen algunas frutas y hortalizas (por ejemplo ciruela y pepino) (Rop, Mlcek, Jurikova, Neugebauerova & Vabkova, 2012).

Algunos compuestos fenólicos se derivan de la ruta del ácido shiquimico; el primer paso en su biosíntesis es la participación de glucosa en la ruta pentosa fosfato (PPP) transformando glucosa-6-fosfato a ribulosa-5-fosfato por medio de la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PDH); la PPP produce eritrosa-4-fosfato junto con fosfoenolpiruvato proveniente de la glucólisis, el cual es entonces utilizado mediante la ruta fenilpropanoide para generar compuestos fenólicos después de ser canalizados a la ruta del ácido shiquimico para producir fenilalanina (Figura 7) (Lin *et al.*, 2016).

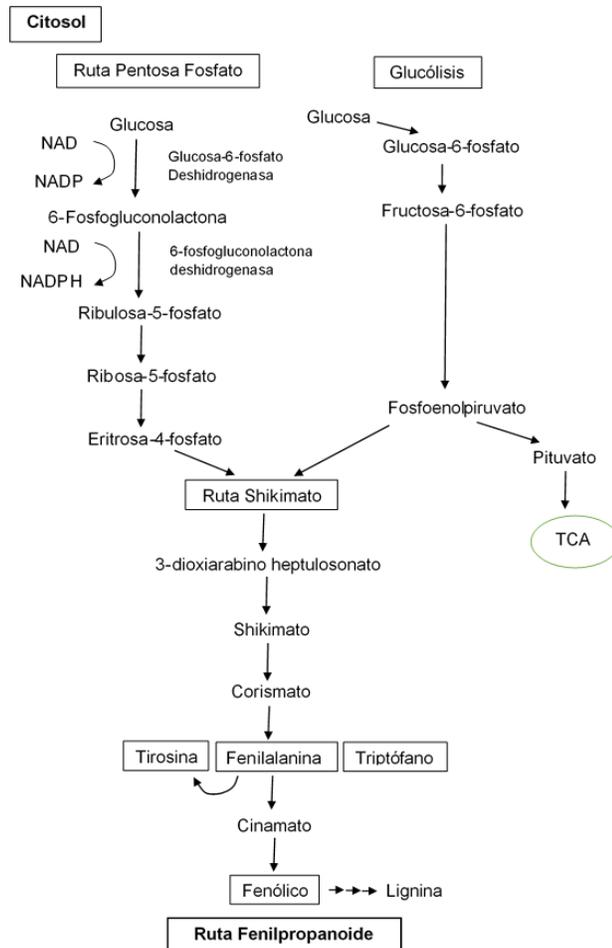


Figura 7. Biosíntesis de compuestos fenólicos por la ruta del ácido shiquímico. (Fuente: Lin *et al.*, 2016).

Los compuestos fenólicos se caracterizan por prevenir diversas enfermedades; los ácidos fenólicos y flavonoides, pueden promover beneficios en la salud al reducir el riesgo del síndrome metabólico y las complicaciones relacionadas a la diabetes tipo 2; en varios estudios se han reportado las ventajas de los compuestos fenólicos al presentar actividades como anti-envejecimiento, anti-inflamatorio, antioxidante y como agentes antiproliferativos (Lin *et al.*, 2016).

Los ácidos fenólicos, taninos hidrolizables y flavonoides tienen efectos anti-cáncerígenos y anti-mutagénicos, ya que actúan como agentes protectores del ADN contra los radicales libres; también, los flavonoides y el ácido ascórbico

tienen un efecto sinérgico específico contra el daño oxidativo del ADN en linfocitos, mientras que, los flavonoides y las catequinas se consideran como agentes terapéuticos en enfermedades degenerativas (Ozcan, Akpinar-Bayazit, Yilmaz-Ersan & Delikanli, 2014).

La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos es regulada por distintos mecanismos que incluyen la reducción o inhibición de las especies reactivas de oxígeno (ERO), quelatación de iones metálicos e inhibición de enzimas involucradas en el estrés oxidativo (Cheynier, 2012). En varios estudios se ha asociado el incremento en el consumo de frutas y verduras que contienen altos niveles de compuestos antioxidantes con la reducción en el riesgo de la diabetes y las enfermedades cardiovasculares; las frutillas o berries se consideran una buena fuente de compuestos fenólicos que previenen el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas (Lin *et al.*, 2016). Frutos como manzanas, peras, frutillas, uvas y hortalizas como la zanahoria, tomate, cebolla y ajo contienen de 200 a 300 mg de compuestos fenólicos por 100 g de peso fresco, por lo que se pueden utilizar como suplementos dietéticos de compuestos fenólicos (Rasouli, Farzei & Khodarahmi, 2017).

2.5.2 Flavonoides

Los flavonoides son polifenoles ampliamente distribuidos en frutos y verduras, pertenecen a una clase de metabolitos secundarios, presentan una importante función antioxidante en la respuesta de las plantas ante un amplio rango de estreses abióticos, además, son reguladores endógenos de movimiento de auxinas, de tal manera que funcionan como reguladores de crecimiento (Brunetti, Di Ferdinando, Fini, Pollastri & Tattini, 2013). Hasta hoy más de 9000 flavonoides han sido reportados (Wang, Li & Bi, 2018); los flavonoides se sintetizan en sitios particulares y son responsables del color y aroma de las flores, protegen a las plantas de estreses bióticos y abióticos, actúan como único filtro de radiación UV, funcionan como señal molecular, son agentes detoxificantes y compuestos de defensa antimicrobiana, entre otros (Panche, Diwan & Chandra, 2016).

Los flavonoides frecuentemente se encuentran como formas glucosiladas o esterificadas, consisten de anillos C₆ - C₃ - C₆, normalmente llamados anillos A y B unidos por tres carbonos del anillo C, la estructura básica de un flavonoide es una aglicona (Figura 8) (Wang, *et al.*, 2018); pueden ser clasificados como flavonas (flavona, apigenina y luteolina), flavonoles (quercetina, kaempferol, miricetina y fisetina), flavanonas (flavanona, hesperetina y naringenina), y otros; las diferentes clases de flavonoides difieren en el nivel de oxidación y patrón de sustitución del anillo C, mientras los compuestos individuales dentro de una clase difieren en el patrón de sustitución de los anillos A y B (Kumar & Pandey, 2013).

La biosíntesis de flavonoides inicia con la fenilalanina que proviene de la ruta del ácido shiquimico; la fenilalanina conduce a p-cumaril-CoA que reacciona con 3 moléculas de malonil CoA, provenientes de la biosíntesis del ácido graso, para dar 4,2',4',6'-tetrahidroxichalcona (chalcona naringenina) y 4,4',6'-trihidroxichalcona (isoliquiritigenina); la 4,2',4',6'-tetrahidroxichalcona es el precursor de las flavanonas que son el precursor para todos los otros flavonoides; los isoflavonoides se pueden obtener a partir de 4,4',6'-trihidroxichalcona o de flavanonas (Figura 9) (Raffa, Maggio, Raimondi, Plescia & Daidone, 2017).

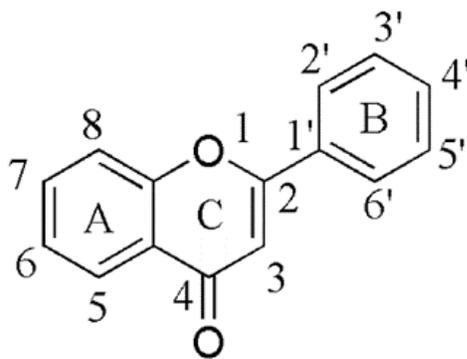


Figura 8. Estructura básica de flavonoides.
(Fuente: Wang *et al.*, 2018).

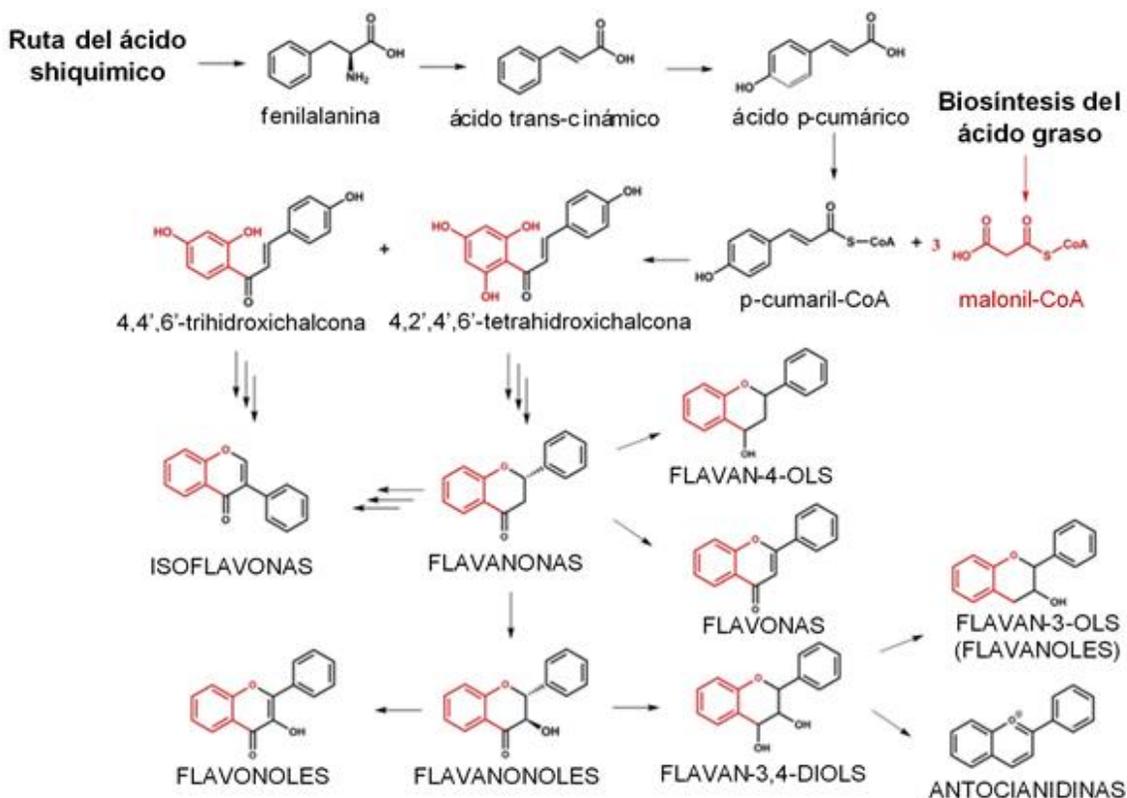


Figura 9. Biosíntesis de flavonoides.
(Fuente: Raffa *et al.*, 2017).

El interés por el potencial terapéutico de las plantas se debe a la presencia de sus compuestos fenólicos, especialmente de los flavonoides, los cuales tienen importantes propiedades biológicas que promueven la salud del ser humano y reducen el riesgo de enfermedades como el cáncer de próstata, colon, pulmón y seno, enfermedades cardiovasculares, además de que pueden ayudar a mejorar la memoria en adultos mayores, tienen actividad anti-inflamatoria y una de sus propiedades más importantes es su capacidad para actuar como antioxidante (Raffa *et al.*, 2017). La acción de los flavonoides está presente en la mayoría de los mecanismos de acción antioxidante que pueden incluir: a) la supresión de formación de especies reactivas de oxígeno, ya sea por inhibición de enzimas o por la quelatación de elementos traza involucrados en la generación de radicales

libres; 2) bloqueo de especies reactivas de oxígeno; y 3) sobreexpresión o protección de defensas antioxidantes (Kumar & Pandey, 2013). La actividad antioxidante de los flavonoides se suma a otras como son anti-inflamatoria, hepatoprotectiva, antibacteriana, anticáncer y anti-viral (Kumar & Pandey, 2013; Panche *et al.*, 2016).

Los flavonoides específicos como quercetina, kaempferol, catequinas, resveratrol y rutina tienen efectos benéficos en la salud al prevenir el riesgo de enfermedades como cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y enfermedades infecciosas, en algunos estudios los flavonoides han mostrado efectos anti-epilépticos (Rasouli *et al.*, 2017).

Los flavonoides son uno de los principales grupos de compuestos fenólicos que están distribuidos en la naturaleza y se consumen como parte de la dieta en cantidades considerables (Galleano *et al.*, 2012). La quercetina es uno de los flavonoides más importantes que se han investigado y la información sugiere que las personas que han seguido una dieta rica en quercetina y otros flavonoides tiene menos riesgo de enfermedades crónicas, como el cáncer, diabetes y enfermedades del corazón (Rasouli *et al.*, 2017).

2.5.3 Antocianinas

Las antocianinas son un grupo de pigmentos hidrosolubles que pertenecen a los flavonoides, ampliamente distribuidos en el reino vegetal, presentes en tallos, hojas, raíces, frutas y flores; normalmente se encuentran disueltos en la solución vacuolar de las células epidérmicas, son importantes para la industria de colorantes alimenticios y despiertan el interés por su impacto en las características sensoriales de los alimentos y por su implicación en la salud humana (Aguilera, Reza, Chew & Meza, 2011). Las antocianinas determinan cerca del 88% del color de las flores en angiospermas, donde proveen la mayoría de los colores naranja, rosa, rojo, violeta y azul (Wu *et al.*, 2018). En *Dahlia variabilis* la diversidad en los colores de sus flores se debe a la acumulación de antocianinas y otros flavonoides (Ohno *et al.*, 2011).

Las antocianinas están constituidas químicamente por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace β -glucosídico (Pérez-Urria & Ávalos, 2009). Las antocianidinas se componen de dos anillos aromáticos de benceno separados por un eterociclo oxigenado; se han descubierto alrededor de 17 antocianidinas pero las más comunes en las plantas son cianidina, delphinidina, pelargonidina, peonidina, malvidina y petunidina; la estructura general de las antocianinas y la estructura de las antocianidinas se muestra en la Figura 10 (Fang, 2014; Khoo, Azlan, Tang & Lim, 2017). Las principales antocianidinas son pelargonidina, cianidina y delphinidina, difieren una de otra por el número de grupos hidroxilo en su anillo B, muestran tonos naranja/rojo, rojo/magenta y violeta/azul, respectivamente. Además de la estructura de las antocianidinas, la estructura, cantidad y posición del azúcar conjugado y los residuos de acilo también influyen en la diversificación de las antocianinas (Liu *et al.*, 2018).

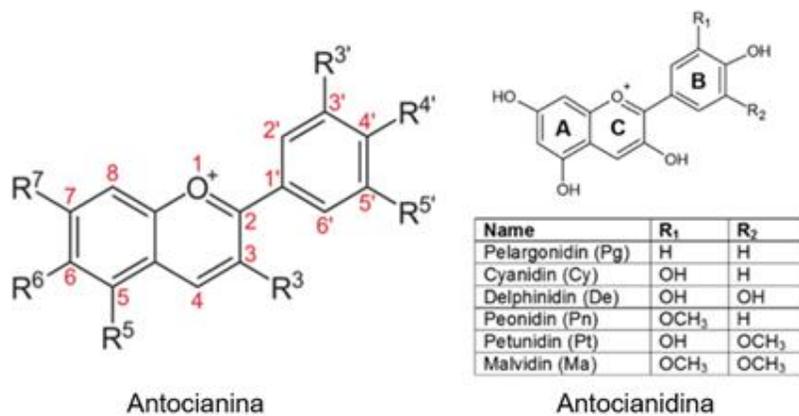
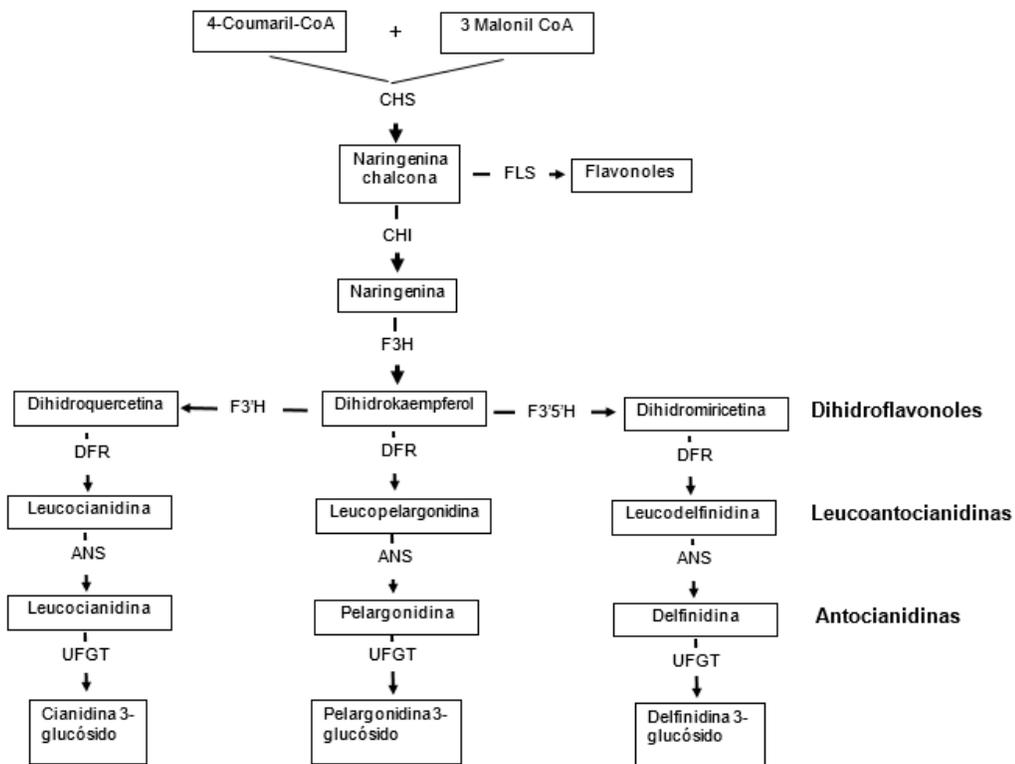


Figura 10. Estructura química de antocianinas y antocianidinas. (Fuente: Fang, 2014; Khoo *et al.*, 2017).

La ruta de biosíntesis de las antocianinas (Figura 11) es una extensión de la ruta general de los flavonoides, la cual inicia con la reacción propiciada por una chalcona sintasa (CHS) para la síntesis de la chalcona naringenina a partir de 4-coumaril-CoA y malonil-CoA; la chalcona naringenina es transformada por la chalcona isomerasa (CHI) a naringenina; la flavanona 3-hidroxisilasa (F3H)

convierte la naringenina en dihidrokaempferol que puede ser hidroxilado por la flavonoide 3'-hidroxilasa (F3'H) o por la flavonoide 3',5'-hidroxilasa (F3'5'H) en otros dos dihidroflavonoles, dihidroquercetina o dihidromiricetina, respectivamente; posteriormente, los tres dihidroflavonoles son convertidos en leucoantocianidinas incoloras por la dihidroflavonol 4-reductasa (DFR) y luego a antocianidinas coloreadas por la antocianidina sintasa (ANS); finalmente, moléculas de azúcar son unidas a las antocianidinas por la familia de la enzima glucosiltransferasa, la flavonoide 3-O-glucosiltransferasa (UFGT), y pueden ser aciladas con grupos acil aromáticos por aciltransferasas; la CHS es la enzima clave inicial de la biosíntesis de flavonoides; F3'H y F3'5'H son las enzimas responsables de la diversificación de las antocianinas al determinar su patrón de hidroxilación en el anillo B (Liu, *et al.*, 2018).



CHS, chalcona sintasa; CHI, chalcona isomerasa; F3H, flavanona 3-hidroxilasa; F3'H, flavonoide 3'-hidroxilasa; F3'5'H, flavonoide 3',5'-hidroxilasa; DFR, dihidroflavonol 4-reductasa; ANS, antocianidina sintasa; UFGT, flavonoide 3-O-glucosiltransferasa; FLS, flavonol sintasa.

Figura 11. Ruta de biosíntesis de las antocianinas.
(Fuente: Liu *et al.*, 2018).

Las antocianinas juegan un papel esencial en la fisiología de las plantas, en la industria de los alimentos y en la salud humana; en diversos estudios se ha demostrado que las antocianinas tienen efectos beneficiosos en enfermedades del corazón, desórdenes neurodegenerativos, incremento de la agudeza visual, obesidad, además de tener propiedades antidiabetes y anticancer; las antocianinas son capaces de inhibir los radicales libres y detener la cadena de reacción que causa el daño oxidativo; el efecto sinérgico de las antocianinas y otros compuestos fenólicos es esencial para la prevención de enfermedades, así como también, para sus propiedades antioxidantes (Khoo, Li & Azlam, 2019).

2.5.4 Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas necesarias en los procesos biológicos para sustentar la vida, ejemplo de estas son la vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, la vitamina E y los carotenoides, las cuales están presentes en muchos frutos y verduras, y ejercen su acción de protección por mecanismos de bloqueo de radicales libres, además, actúan tanto solas como sinérgicamente para la prevención de reacciones oxidativas que causan diversas enfermedades (Das, Bhaumik, Raychaudhuri & Chakraborty, 2012). La vitamina C es un compuesto orgánico soluble en agua involucrado en muchos procesos orgánicos y es la principal vitamina sintetizada por las plantas (Figura 12) (Cotrut & Badulescu, 2016).

La vitamina C juega un papel importante en la defensa antioxidante de las plantas debido a su excelente habilidad para captar especies reactivas de oxígeno, además, actúa en coordinación con el glutatión y antioxidantes enzimáticos en cloroplastos, mitocondrias, peroxisomas y el citosol en el ciclo del ascorbato-glutation para controlar la cantidad de peróxido de hidrógeno formado en la célula, por lo tanto, juega un papel principal en la señalización celular y en la prevención del daño oxidativo a macromoléculas (Asensi-Fabado & Munné-Bosch, 2010).

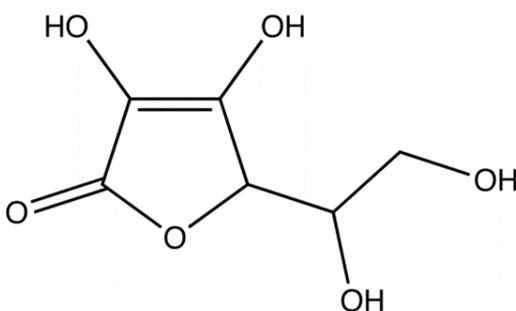


Figura 12. Estructura del ácido ascórbico.
(Fuente: Cotrut & Badulescu, 2016).

La vitamina C no se sintetiza por los humanos, sin embargo, los requerimientos de esta vitamina se logran al consumir fuentes naturales y suplementos de vitamina C en la dieta diaria; los frutos y hortalizas son fuentes importantes de vitamina C y su contenido puede variar dependiendo del cultivar, condiciones de crecimiento y almacenamiento, así como también del método de preparación del alimento; el principal papel funcional conferido al ácido ascórbico es como antioxidante hidrosoluble, ya que tiene la habilidad para inhibir la formación de radicales libres; la cantidad recomendada de vitamina C para mujeres y hombres adultos es de 75 y 90 mg día⁻¹, respectivamente. (Knight, Madduma-Liyanage, Mobley, Assimios & Holmes, 2016).

La vitamina C previene el escorbuto, una enfermedad caracterizada por la fragilidad de los vasos sanguíneos, daños en tejidos que puede provocar la muerte, además, su efecto benéfico se relaciona con tratamientos para el cáncer, la prevención de enfermedades cardiovasculares y para controlar deficiencia de hierro al facilitar su absorción (Pacier & Martirosyan, 2015).

2.6 Actividad antioxidante

Un radical libre es un átomo o molécula que tiene uno o más electrones desapareados en sus orbitales externos y es capaz de tener una existencia

independiente; sin embargo, es muy reactivo ya que tiende a reducirse, es decir, sustrae un electrón de átomos o moléculas estables, a las cuales oxida y pasan a ser radicales libres, con el fin de alcanzar su propia estabilidad, iniciando una reacción en cadena que termina por dañar la célula viva (Phaniendra, Jestadi & Periyasamy, 2015); atacan preferentemente moléculas que contienen dentro de su estructura, dobles enlaces carbono-carbono o anillos de carbono; por lo cual, aminoácidos, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos que componen a las macromoléculas de la célula, pueden ser “atacadas” y alterar la función o la estructura de la célula; algunas vitaminas y compuestos como los flavonoides presentan una aparente actividad antioxidante, por lo que se consideran como sustancias que pueden disminuir el efecto nocivo de los radicales libres sobre la célula y el organismo en general (Gutiérrez, 2006; Quintanar & Calderón, 2009). Los sistemas antioxidantes se pueden medir de diferentes formas específicas y el sistema amortiguador antioxidante global se puede evaluar con las pruebas de capacidad antioxidante total que mide el grado en que el compuesto antioxidante evita que su sustrato se oxide (Quintanar & Calderón, 2009).

2.6.1 Mecanismos de acción de los antioxidantes

El metabolismo de los organismos vegetales involucra la producción de ERO como bioproductos, en diferentes compartimentos celulares tales como cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas (Choudhury, Rivero, Blumwald & Mittler, 2017); en condiciones normales, las moléculas de ERO son inhibidas/bloqueadas por dos sistemas de defensa antioxidante: a) enzimático, y b) no enzimático; la exposición de las plantas a condiciones ambientales desfavorables (temperatura, metales pesados, deficiencia de agua y nutrientes, estrés salino, entre otros) puede incrementar la producción de ERO, y en consecuencia producir una condición de estrés oxidativo el cual puede dañar o incluso matar a la planta (Gill & Tujeda, 2010).

En el sistema de defensa enzimático, las principales enzimas incluyen superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPX), mientras que, los sistemas de defensa no enzimáticos incluyen una serie de compuestos orgánicos

de bajo peso molecular capaces de neutralizar moléculas ERO, entre las cuales se incluyen vitaminas antioxidantes (vitamina C y E), glutatión, carotenoides, y compuestos polifenólicos, entre otros (Czarnocka & Karpiński, 2018; Losada-Barreiro & Bravo-Díaz, 2017); el tripeptido glutatión (GSH, γ glu-cys-cly) es considerado la defensa intracelular más importante contra ERO, localizado en todos los compartimentos celulares (citosol, retículo endoplásmico, vacuola, mitocondria, cloroplastos, peroxisomas y apoplastos); la capacidad antioxidante de GSH se debe a tres reacciones: a) es un cofactor de varias enzimas antioxidantes; b) es un agente neutralizante contra moléculas de ERO, especialmente contra el radical hidroxilo (OH), peróxido de hidrogeno y oxígeno singlete; y c) juega un papel clave en los sistemas de defensa antioxidante al generar otros antioxidantes solubles potenciales tales como vitamina C y E (González-Aguilar *et al.*, 2012).

El ácido ascórbico (vitamina C) es el antioxidante soluble más abundante en los tejidos vegetales, especialmente en células fotosintéticas y meristemos, así como también en algunos frutos (Gill & Tuteja, 2010). La actividad antioxidante del ácido ascórbico se debe a su habilidad para donar electrones tanto en reacciones enzimáticas como no enzimáticas para inhibir o bloquear oxígeno singlete, hidroperóxidos, superóxido y radical hidroxil, protegiendo los lípidos de la membrana contra la reacción en cadena de peroxidación; otra importante acción antioxidante del ácido ascórbico es su habilidad para regenerar la vitamina E; durante este proceso, el radical α -tocoferil migra a la interface de la membrana, donde se reduce a α -tocoferol por el ácido ascórbico; debido a la presencia de los dos grupos hidroxilo y el anillo cíclico conjugado en la estructura del ácido ascórbico, durante este proceso el ácido ascórbico es oxidado a un radical no reactivo que no participa en el proceso de autooxidación de lípidos; el bajo potencial reductor del ácido ascórbico lo habilita para reducir básicamente todos los radicales fisiológicamente relevantes y antioxidantes (González-Aguilar *et al.*, 2012).

2.7 Inulina

2.7.1 Estructura química

La inulina es un carbohidrato de almacenamiento que se encuentra en una gran variedad de plantas como hortalizas, frutales y cereales (Saavedra-Leos *et al.*, 2014). La inulina pertenece a un subgrupo de carbohidrato llamado fructano, se clasifica como un oligo o polisacárido según su longitud de cadena de fructosa (Martono, Apriliyani, Riyanto, Mutmainah & Kusmita, 2019) que varía en el intervalo de 2 a 60 monómeros y cuando la inulina tiene un máximo de 10 unidades de fructosa es denominada como oligofructosa; está compuesta por subgrupos de β -D-fructosil unidos por enlaces glucosídicos ($2 \rightarrow 1$) y la molécula usualmente termina con un enlace a un grupo α -D-glucosil ($1 \leftrightarrow 2$) (Figura 13) (Mensink, Frijlink, van der Voort Maarschalk & Hinrichs, 2015).

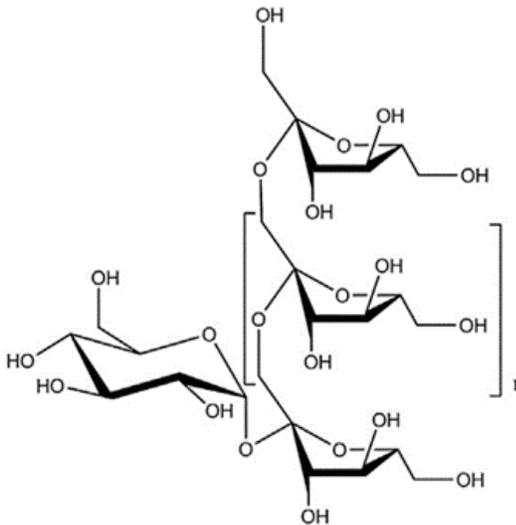


Figura 13. Estructura química de la inulina.
(Fuente: Mensink *et al.*, 2015).

2.7.2 Características fisicoquímicas

La inulina es moderadamente soluble en agua ($\geq 10\%$ a temperatura ambiente), generando una solución de baja solubilidad; en concentraciones elevadas se forma una red tridimensional de gel microcristalino con una estructura cremosa

que puede dar una sensación grasosa en la boca; la dulzura de la inulina es aproximadamente 10% que el de la sacarosa; la oligofructosa tiene una mayor solubilidad en agua que la inulina ($\geq 80\%$ a temperatura ambiente) y su dulzura es aproximadamente 35% que el de la sacarosa; la inulina y la oligofructosa son estables al calor a $\text{pH} > 5$, con valores de $\text{pH} < 4$, se produce la hidrólisis dependiendo de la temperatura y el tiempo de calentamiento (Schaafsma & Slavin, 2015).

2.7.3 Usos de la inulina

La inulina se utiliza en la industria farmacéutica y alimenticia para diversos propósitos como excipiente, aditivo, espesante, emulsionante, gelificante, sustituto del azúcar (Saavedra-Leos *et al.*, 2014) y de las grasas al tener un bajo valor calórico, actúa como fibra dietética y contribuye a mejorar las condiciones del sistema gastrointestinal, además, tanto la inulina como la oligofructosa son usados en la producción de alimentos funcionales. (Apolinário *et al.*, 2014). Se utiliza como sustituto de azúcar y grasa en productos lácteos (queso, leche, yogurt y helados) y como prebiótico; también se utiliza en pan, galletas, cereal y productos cárnicos; se utiliza como herramienta para medir la función renal; en los alimentos, la oligofructosa es más utilizada como sustituto de dulce y la inulina de cadena más larga se utiliza principalmente como sustituto de la grasa y modificador de la textura; la inulina es más útil farmacéuticamente, por su longitud de cadena más larga, que la oligofructosa (Mensink *et al.*, 2015).

2.7.4 Consumo de inulina

El consumo promedio de inulina en América y Europa se ha estimado en 1 a 11 g día^{-1} , lo cual está por debajo de las tolerancias reportadas en al menos 10 a 20 g día^{-1} (Mensink, *et al.* 2015). De acuerdo con Anan'ina, Andreeva, Mycots y Oganesyanyan (2009), la inulina obtenida de especies vegetales se ha clasificado como un ingrediente natural generalmente reconocido como seguro (GRAS, por sus siglas en inglés) por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (Zubaidah & Akhadiana, 2013). Es por esta razón que resulta

atractivo promover la producción de inulina y optimizar su extracción y purificación mediante metodologías seguras para su uso en alimentos.

2.7.5 Fuentes de obtención

La inulina se obtiene, de manera comercial, de la achicoria (*Cichorium intybus*) (Saavedra-Leos *et al.*, 2014), sin embargo, la dalia y la alcachofa de Jerusalén se consideran buenas fuentes para la producción industrial, además de que existen otras plantas con buen contenido de inulina (Cuadro 1) (Shoaib *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Contenido de inulina en plantas.

Especie	Órgano de la planta	Contenido de inulina (g 100g ⁻¹ peso fresco)
Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	Raíz	35
Estevia (<i>Stevia rebaudiana</i>)		18-23
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	Bulbo	14-23
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Granos	18-20
Achicoria (<i>Cichorium intybus</i>)	Raíz	11-20
Alcachofa de Jerusalén (<i>Helianthus tuberosus</i>)	Raíz	12-19
Esparrago (<i>Asparagus</i> sp.)	Raíz	15
Agave (<i>Agave</i> sp.)	Tallo	12-15
Diente de león (<i>Taraxacum officinale</i>)	Raíz	12-15
Dalia (<i>Dahlia pinnata</i> cav.)	Raíz	10-12
Ginseng brasileño (<i>Pfalia glomerate</i>)	Raíz	11.45
Cebollas (rojas y blancas), chalote (<i>Allium cepa</i> , <i>Allium</i> sp.)	Bulbo	5-9
Bardana (<i>Arctium</i> sp.)	Raíz	8.3-9.9

Fuente: Shoaib *et al.*, 2016

2.7.6 Beneficios nutricionales y a la salud

La inulina tiene varios beneficios nutricionales y para la salud del ser humano, de tal manera que, como fibra dietética tiene resistencia a la digestión enzimática en el intestino delgado pero es fermentada por la microbiota endógena del intestino grueso; la inulina como laxante normaliza la concentración de lípidos en la sangre, regula la composición de la microbiota intestinal y mejora las funciones

intestinales, también, mejora la absorción de calcio, magnesio (Sirbu & Arghire, 2017) y de hierro sobre todo si hay deficiencias, además, la inulina promueve la prevención de las enfermedades relacionadas con la inflamación crónica intestinal y el cáncer de colon (Schaafsma & Slavin, 2015; Shoaib *et al.*, 2016). La inulina es considerada como prebiótico, ya que favorece el crecimiento y actividad de bacterias benéficas en el colon lo que mejora la salud del hospedante, además, la inulina es usada en el desarrollo de alimentos funcionales (Rubel *et al.*, 2018).

La inulina tiene un bajo valor calórico (1.5 kcal g^{-1} o 6.3 kJ g^{-1}) debido a su nula digestibilidad; en relación con el metabolismo de los lípidos, la adición de carbohidratos no digeribles como la inulina a la dieta puede disminuir el riesgo de concentraciones altas de triacilglicerol, disminuyendo el riesgo de arterioesclerosis; también, la inulina disminuye el pH del intestino, aliviando el estreñimiento y aumentando la frecuencia y descarga fecal; por otra parte, la inulina influye a nivel hormonal sobre la regulación del apetito, además de estimular el sistema inmune mejora la protección del cuerpo contra las enfermedades (Shoaib *et al.*, 2016).

2.8 Literatura citada

- Aguilera O., M., Reza V., M. C., Chew M., R. G., & Meza V., J. A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotechnia*, 13 (2), 16-22.
- Anan'ina, N. A., Andreeva, O. A., Mycots, L. P., & Oganessian, E. T. (2009). Standardization of inulin extracted from dahlia single tubers and some physicochemical properties of inulin. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 43 (3), 157-159, <https://doi.org/10.1007/s11094-009-0261-8>.
- Apolinário, A. C., de Lima Damasceno, B. P. G., de Macêdo Beltrão, N. E., Pessoa, A., Converti, A., & da Silva, J. A. (2014). Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*, 101, 368-378, <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.081>.

- Asensi-Fabado, M. A., & Munné-Bosch, S. (2010). Vitamins in plants: occurrence, biosynthesis and antioxidant function. *Trends in Plant Science*, 15 (10), 582-592, doi:10.1016/j.tplants.2010.07.003.
- Birch, C. S., & Bonwick, G. A. (2019). Ensuring the future of functional foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 1467-1485, doi:10.1111/ijfs.14060.
- Bordenave, N., Hamaker, B. R., & Ferruzzi, M. G. (2014). Nature and consequences of non-covalent interactions between flavonoids and macronutrients in foods. *Food & Function*, 5, 18-34, doi: 10.1039/C3FO60263J.
- Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Fini, A., Pollastri, S., & Tattini, M. (2013). Flavonoids as antioxidants and developmental regulators: relative significance in plants and humans. *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (2), 3540-3555, doi:10.3390/ijms14023540.
- Bye, R., & Linares, E. (2008). La Dalia, flor nacional de México. CONABIO. *Biodiversitas*, 76, 13-15.
- Castro-Castro, A., Rodríguez, A., Vargas-Amado, G., & Harker, M. (2012). Diversidad del género *Dahlia* (Asteraceae: Coreoideae) en Jalisco, México y descripción de una especie nueva. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 347-358.
- Castro-Castro A., Zuno-Delgadillo, O., Carrasco-Ortiz, M. A., Harker, M., & Rodríguez, A. (2015). Novedades en el género *Dahlia* (Asteraceae: Coreoideae) en Nueva Galicia, México. *Botanical Sciences*, 93 (1), 41-51, doi: [https:// doi.org/10.17129/botsci.239](https://doi.org/10.17129/botsci.239).
- Czarnocka, W., & Karpiński, S. (2018). Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. *Free Radical Biology and Medicine*, 122, 4-20, <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.011>.
- Cencic, A., & Chingwaru, W. (2010). The role of functional foods, nutraceuticals and food supplements in intestinal health. *Nutrients*, 2, 611-625, doi: 10.3390/nu2060611.
- Chandrasekara, A., & Kumar, T. J. (2016). Roots and tuber crops as functional foods: a review on phytochemical constituents and their potential health benefits. *International Journal of Food Science*, 1-15, doi: 10.1155/2016/3631647.
- Cheyrier, V. (2012). Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochemistry Reviews*, 11, 153-177, <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9242-8>.
- Cheyrier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio V., & Martens, S. (2013). Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72, 1-20, doi: 10.1016/j.plaphy.2013.05.009.

- Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R. (2017). Reactive Oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 90, 856-867, doi: 10.1111/tpj.13299.
- Cotrut, R., Badulescu, L. (2016). UPLC Rapid quantification of ascorbic acid in several fruits and vegetables extracted using different solvents. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10, 160-166, doi: 10.1016/j.aaspro.2016.09.047.
- Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2012). Role of nutraceuticals in human health. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 173-183, doi: 10.1007/s13197-011-0269-4.
- Fang, J. (2014). Bioavailability of anthocyanins. *Drug Metabolism Reviews*, 46 (4), 508-520, doi: 10.3109/03602532.2014.978080.
- Finot, V. L., Baeza, C. M., Ruiz, E., Carrasco, P., & Melín, P. (2016). Análisis colorimétrico y morfométrico de la flor de *Alstroemeria presliana* (Alstroemeriaceae). *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 10, 89-108.
- Franzen, F. L., Lidório, H. F., & Oliveira, M. S. R. (2018). Edible flower considerations as ingredients in food, medicine and cosmetics. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*, 7(3), 271-273, doi: 10.15406/japlr.2018.07.00238.
- Galleano, M., Calabro, V., Prince, P. D., Litterio, M. C., Piotrkowski, B., Vazquez-Prieto, M. A., ... & Fraga, C. G. (2012). Flavonoids and metabolism síndrome. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 1259, 87-94, doi: 10.1111/j.1749-6632.2012.06511.x.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Gonzalez-Aguilar, G. A., Villa, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Heredia, J. B., Alvarez-Parrilla, E., De la Rosa, L. A., ... & Dávila-Aviña, J. V. J. (2012). Postharvest treatments enhance biosynthesis of antioxidant compounds of fruit tissues. <https://www.researchgate.net/publication/275641540>
- Grzeszczuk, M., Stefaniak, A., & Pachlowska, A. (2016). Biological value of various edible flower species. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 15 (2), 109-119.
- Guarrera, P. M., & Savo, V. (2013). Perceived health properties of wild and cultivated food plants in local and popular traditions of Italy: a review. *Journal of Ethnopharmacology*, 146, 659-680, doi: 10.1016/j.jep.2013.01.036.
- Gul, K., Singh, A. K., & Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and functional foods: The foods for future world. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56 (16), 2617-2627, doi: 10.1080/10408398.2014.903384.

- Gutiérrez, S. J. (2006). ¿Qué sabe usted acerca de ... radicales libres?. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37, 69-73.
- Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits-an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 2023-2044, doi:10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x.
- Jiménez M., L. (2015). El cultivo de la dalia. *Cultivos tropicales*, 36(1), 107-115.
- Kaisoon, O., Konczak, I., & Siriamornpun, S. (2011). Potential health enhancing properties of edible flowers from Thailand. *Food Research International*, 46, 563-571, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.016>.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits, *Food & Nutrition Research*, 61, 1361779 <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.
- Khoo, H. E., Lim, S. M., & Azlam, A. (2019). Evidence-Based Therapeutic Effects of Anthocyanins from Foods. *Pakistan Journal of Nutrition*, 18, 1-11, doi: 10.3923/pjn.2019.1.11.
- Knight, J., Madduma-Liyanage, K., Mobley, J. A., Assimios, D. G., & Holmes, R. P. (2016). Ascorbic acid intake and oxalate synthesis. *Urolithiasis*, 44(4), 289–297, doi: 10.1007/s00240-016-0868-7.
- Kosasih, W., Pudjiraharti, S., Ratnaningrum, D., & Priatni, S. (2015). Preparation of inulin from dahlia tubers. *Procedia Chemistry*, 16, 190-194, <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.035>.
- Kotue, T. C., Marlyne, J. M., & Wirba, L. Y. (2018). Nutritional properties and nutrients chemical analysis of common beans seed. *MOJ Biology and Medicine*, 3(2), 41–47, doi: 10.15406/mojbm.2018.03.00074.
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *Scientific World Journal*, 162750 <http://dx.doi.org/10.1155/2013/162750>.
- Lairon, D. (2010). Nutritional quality and safety of organic food. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 33-41, <https://doi.org/10.1051/agro/2009019>.
- Landi, M., Ruffoni, B., Salvi, D., Savona, M., & Guidi, L. (2015). Cold storage does not affect ascorbic acid and polyphenolic content of edible flowers of a new hybrid of sage. *Agrochimica*, 59, 348-357, doi: 10.12871/0021857201546.
- Lara-Cortés, E., Martín-Belloso, O., Osorio-Díaz, P., Barrera-Necha, L. L., Sánchez-López, J. A., & Bautista-Baños, S. (2014). Actividad antioxidante, composición nutrimental y funcional de flores comestibles de dalia. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20, 101-116, <https://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.024>.

- Lara-Cortés, E., Osorio-Díaz, P., Jiménez-Aparicio, A., & Bautista-Baños, S. (2013). Contenido nutricional, propiedades funcionales y conservación de flores comestibles. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 63 (3), 197-208.
- Lee, S.-M., Lee, K.-T., Lee, S.-H., & Song, J.-K. (2013). Origin of human colour preference for food. *Journal of Food Engineering*, 119 (3), 508-515, doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.06.021.
- Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., ... & Chen, S. (2016). An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules*, 21, E1374, doi:10.3390/molecules21101374.
- Liu, Y., Tikunov, Y., Schouten, R. E., Marcelis, L. F. M., Visser, R. G. F., & Bovy, A. (2018). Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 6, 52, doi: 10.3389/fchem.2018.00052.
- Losada-Barreiro, S., & Bravo-Díaz, C. (2017). Free radicals and polyphenols: The redox chemistry of neurodegenerative diseases. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 133, 379-402, https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.03.061.
- Macías-Flores, R. G., Ramírez-Díaz, C. J., González-Gallegos, J. G., Carrillo-Reyes, P., & Castro-Castro, A. (2018). *Dahlia merckii* y *D. rupicola* (Asteraceae, Coreopsiodeae), dos nuevos registros para la región de la Nueva Galicia, México. *Acta Botanica Mexicana*, 125, 49-60, doi: 10.21829/ abm125.2018.1328.
- Martin G., D. A. (2018). Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9, 81-104, doi: 10.22490/21456453.1968.
- Martono, Y., Apriliyani, S. A., Riyanto, C. A., Mutmainah, & Kusmita, L. (2019). Optimization of conventional and ultrasound assisted extraction of inulin from gembili tubers (*Dioscorea esculenta* L.) using response surface methodology (RSM). *IOP Conference Series, Materials Science Engineering*, 509, 012154, doi:10.1088/1757-899X/509/1/012154.
- Mensink, M. A., Frijlink, H. W., van der Voort Maarschalk, K., & Hinrichs, W. L. J. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide. I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 130, 405-419, https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.026.
- Mlcek, J., & Rop, O. (2011). Fresh edible flowers of ornamental plants - A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science Technology*, 22, 561-569, https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.006.

- Mishra, S., Swain, S., Chaudhury, S. S., & Ray, T. (2008). Wild edible tubers (*Dioscorea* spp.) and their contribution to the food security of tribes of Jeypore tract, Orissa, India. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 156, 63-67.
- Moldovan, I., Szekely-Varga, Z., & Cantor, M. (2017). *Dahlia* an unforgettable flower - a new perspective for therapeutic medicine. *Hop and Medicinal Plants*, 25, 56-68.
- Navarro-González, I., González-Barrio, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A. B., & Periago, M. J. (2015). Nutritional composition and antioxidant capacity in edible flowers: characterisation of phenolic compounds by HPLC-DAD-ESI/MS. *International Journal of Molecular Sciences*, 16, 805-822, doi: 10.3390/ijms16010805.
- Neacșu, N. A. (2014). Effects of Carbohydrate Consumption. Case Study: Carbohydrates in Bread. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series V: Economic Sciences*, 7(2), 39-44.
- Nsabimana, C., & Jiang, B. (2011). The chemical composition of some garden *Dahlia* tubers. *British Food Journal*, 113 (9), 1081-1093, <https://doi.org/10.1108/00070701111174541>.
- Ohno, S., Hosokawa, M., Hoshino, A., Kitamura, Y., Morita, Y., Park, K., ... & Yazawa, S. (2011). A bHLH transcription factor, DvIVS, is involved in regulation of anthocyanin synthesis in dahlia (*Dahlia variabilis*). *Journal of Experimental Botany*, 62(14), 5105-5116, doi: 10.1093/jxb/err216.
- Ozcan, T., Akpinar-Bayazit, A., Yilmaz-Ersan, L., & Delikanli, B. (2014). Phenolics in human health. *International Journal of Chemical Engineering Applications*, 5(5), 393–396, doi: 10.7763/IJCEA.2014.V5.416.
- Pacier, C., & Martirosyan, D M. (2015). Vitamin C: Optimal dosages supplementation and use in disease prevention. *Functional Foods in Health and Disease*, 5 (3), 89-107, doi: 10.31989/ffhd.v5i3.174.
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, 1-15, doi:10.1017/jns.2016.41
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36-60, doi: 10.1007/s11947-012-0867-9.
- Peñarrieta, J. M., Tejada, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68-81.
- Pereira, C., Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2011). Nutritional composition and bioactive properties of commonly consumed wild greens: Potential sources for new trends in modern diets. *Food Research International*, 44, 2634-2640, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.012>.

- Pérez-Urria, C. E, Ávalos G., A. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *REDUCA*, 2(3), 119-45.
- Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30 (1), 11-26. doi:10.1007/s12291-014-0446-0.
- Pío-León, J. F., Delgado-Vargas, F., León-de la Luz, J. L., & Ortega-Rubio, A. (2017). Prioritizing Wild Edible Plants for potential new crops based on Deciduous Forest traditional knowledge by a Rancher community. *Botanical Sciences*, 95(1), 47-59, <https://dx.doi.org/10.17129/botsci.772>.
- Prabu, S. L., Suriyaprakash, T. N., Kumar, C. D., & Kumar, S. S. (2012). Nutraceuticals and their medicinal importance. *International Journal Health & Allied Sciences*, 1, 47-53, doi: 10.4103/2278-344X.101661.
- Prakash, O., Ved, A., Kumar, S., Kumar, R., Mariappan, G., & Rawat, A. K. S. (2017). Exploring Role of Dietary Fibres, Nutraceuticals and Functional Foods in Cardiovascular Disorders. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 15(2), 67-79.
- Quintanar E., M. A., & Calderón S., J. V. (2009). La capacidad antioxidante total. Bases y aplicaciones. *Revista de Educación Bioquímica*, 28, 89-101.
- Raffa, D., Maggio, B., Raimondi, M. V., Plescia, F., & Daidone, G. (2017). Recent discoveries of anticancer flavonoids. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 142, 213-228, <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.07.034>.
- Rasouli, H., Farzei, M. H., & Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*, 20, 1700-1741 doi: 10.1080/10942912.2017.1354017.
- Romero, A., Botella, M. A., Obon, C., & Pretel, M. T. (2013). Nutritional and antioxidant properties of wild edible plants and their use as potential ingredients in the modern diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64 (8), 944-952, doi:10.3109/09637486.2013.821695.
- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., Neugebauerova, J., & Vabkova, J. (2012). Edible flowers-A new promising source of mineral elements in human nutrition. *Molecules*, 17, 6672-6683, doi:10.3390/molecules17066672.
- Rubel, I. A., Iraporda, C., Novosad, R., Cabrera, F. A., Genovese, D. B., & Manrique, G. D. (2018) Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods. *Food Research International*, 103, 226-33 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.041>.
- Saar, D. E., Sorensen, P. D., & Hjerting, J. P. (2003). *Dahlia campanulata* and *D. cuspidata* (Asteraceae, Coreopsidae): two new species from Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, 64,19-24.

- Saavedra-Leos, M. Z., Leiva-Porras, C., Martinez-Guerra, E., Perez-Garcia, S. A., Aguilar-Martinez, J. A., & Alvarez-Salas, C. (2014). Physical properties of inulin and inulin-orange juice: Physical characterization and technological application. *Carbohydrate Polymers*, 105, 10-19, doi: 10.1016/j.carbpol.2013.12.079.
- Samu, K. (2008). Match of the image reference points with the use of the chromatic information. Consultada en <https://www.researchgate.net/publication/285923718>.
- Schaafsma, G., & Slavin, J. L. (2015). Significance of inulin fructans in the human diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 37–47, doi: 10.1111/1541-4337.12119.
- Shewry, P. R. (2003). Tuber store proteins. *Annals of Botany*, 91, 755-769, doi: 10.1093/aob/mcg084.
- Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H.R., ... & Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444-454, doi:10.1016/j.carbpol.2016.04.020.
- Sirbu, A., & Arghire, C. (2017). Functional bread: Effect of inulin-type products addition on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 75, 220-227, doi: <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.029>.
- Slavin, J. L., & Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition*, 3,506-516, doi:10.3945/an.112.002154
- Sorensen, P. D. (1969). Revision of the genus *Dahlia* (Compositae, Heliantheae Coreopsidinae). *Rhodora*, 71, 367-416.
- Sotelo, A., López-García, S., & Basurto-Peña, F. (2007). Content of nutrients and antinutrients in edible flowers of wild plants in México. *Plant Foods Human Nutrition*, 62, 133-138, doi: 10.1007/s11130-007-0053-9.
- Tapsell, L. C., Neale, E. P., Satija, A., & Hu, F. B. (2016). Foods, Nutrients, and Dietary Patterns: Interconnections and Implications for Dietary Guidelines, *Advances in Nutrition*, 7 (3), 445-454, <https://doi.org/10.3945/an.115.011718>.
- Ugwu, F. M. (2009). The potentials of roots and tubers as weaning foods. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8 (10), 1701-1705, doi: 10.3923/pjn.2009.1701.1705.
- Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., Bartolomé-Camacho, M. C., Martínez-Flores, H. E., & García-Pérez, M. E. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 16, 15-29.
- Villaseñor, J. L. & Redonda-Martínez, R. (2018). A new species of *Dahlia* (Asteraceae, Coreopsidae) from the state of Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa*, 362, 239-243, <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.362.2.11>.

- Wang, T. Y., Li, Q., & Bi, K. S. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: structure, activity and biological fate. *Asian Journal Pharmaceutical Science*, 13,12-23, <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.08.004>.
- Wilms, L., & Oberfeld, D. (2018). Color and emotion: effects of hue, saturation, and brightness. *Psychological Research*, 82, 896-914 <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0880-8>.
- Wu, Q., Li, P. -C., Zhang, H. -J., Feng, C. -Y., Li, S. -S., Yin, D. -D., ... & Wang, L. -S. (2018). Relationship between the flavonoid composition and flower color variation in *Victoria*. *Plant Biology*, 20, 674-681 doi:10.1111/plb.12835.
- Wu, D., & Sun, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control - a review. *Trends in Food Science & Technology*, 29, 5-20, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>.
- Zubaidah, E., & Akhadiana, W. (2013). Comparative study of inulin extracts from *Dahlia*, yam, and gembili tubers as prebiotic. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 8-12, doi: 10.4236/fns.2013.411A002.

3 CALIDAD FISICOQUÍMICA, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y VALOR NUTRICIONAL EN RAÍCES TUBEROSAS DE ALGUNAS ESPECIES SILVESTRES DE DALIA (*Dahlia* spp.)

3.1 Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad química, capacidad antioxidante y valor nutricional en raíces tuberosas de algunas especies de dalia. El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo en donde las plantas se establecieron en campo bajo un diseño en bloques completos al azar con cinco repeticiones. Se evaluaron los sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), vitamina C (VC), fenoles totales (FT), capacidad antioxidante (CA), inulina y su composición proximal. Entre los materiales analizados, las especies silvestres más sobresalientes fueron *D. campanulata*, *D. coccinea* y *D. brevis*, donde *D. campanulata* destacó por su concentración de VC (5.17 mg AA 100 g⁻¹ p.f.), CA (1.88 mg CAEVC g⁻¹ p.f.), inulina, MS y CT (72.25, 24.38 y 88.37% base seca, respectivamente), sin embargo, el contenido de inulina fue similar a *D. coccinea* (66.17% base seca), quien además fue sobresaliente con respecto al contenido de FT (1.74 mg AG g⁻¹ p.f.). Así mismo, *D. brevis* presentó los valores más altos de FC (5.49% base seca) y CEN (6.23% base seca). De acuerdo con estos resultados, las raíces tuberosas de las especies silvestres de dalia se pueden aprovechar como alimento y el cuidado de la salud, así como ser una fuente de selección de caracteres de interés nutraceutico para mejoramiento genético.

Palabras clave: tubérculo comestible, alimento nutraceutico y funcional, inulina.

3.2 Abstract

PHYSICOCHEMICAL QUALITY, ANTIOXIDANT CAPACITY AND NUTRITIONAL VALUE IN TUBEROUS ROOTS OF SOME WILD DALIA SPECIES (*Dahlia* spp.)

The aim of this research was to evaluate the physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value in tuberous roots of some wild dalia species. The experiment was carried out in the Chapingo Autonomous University where the plants were established in a randomized complete block design with five replications. The total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), vitamin C (VC), total phenols (TP), antioxidant capacity (AC), inulin and its proximal composition were evaluated. Among the materials analyzed, the most outstanding wild species were *D. campanulata*, *D. coccinea* and *D. brevis*, where *D. campanulata* stood out for its concentration of VC (5.17 mg AA 100 g⁻¹ f.w.), AC (1.88 mg VCEAC g⁻¹ f.w.), inulin, DM and TC (72.25, 24.38 and 88.37% of dry basis, respectively), however, the inulin content was similar to *D. coccinea* (66.17% of dry basis), which was also outstanding with respect to the content of TP (1.74 mg GA g⁻¹ f.w.). Likewise, *D. brevis* presented the highest values of RF (5.49% of dry basis) and A (6.23% of dry basis). According to our results, the tuberous roots of wild dahlia species can be used as food, as well as being a source of selection of traits of nutraceutical interest for genetic improvement.

Key words: edible tuber, nutraceutical and functional food, inulin.

3.3 Introducción

El género *Dahlia* (Asteraceae) se encuentra constituido por 39 especies y México es centro de origen y domesticación (Villaseñor & Redonda-Martínez, 2018); entre las plantas ornamentales (flor de corte, maceta y como elemento estructural en el diseño y construcción de jardines) las dalias son las más ampliamente distribuidas a nivel mundial con aproximadamente 20 000 variedades (Arenas *et al.*, 2011; Jiménez, 2015), sin embargo, estudios señalan que en la época prehispánica las raíces tuberosas de esta planta se consumían como fuente de carbohidratos, es decir, como un equivalente de la papa (*Solanum tuberosum* L.) (Santana, Villanueva-Carvajal, Morales-Rosales, Laguna-Cerda & Domínguez-López, 2016).

En la actualidad, el consumo general de productos alimenticios con alto valor calórico y poco aporte nutricional, ha incrementado la incidencia de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y crónicas (Chandrasekara & Kumar, 2016), no obstante, también se ha generado un “boom” en la búsqueda y análisis de alimentos naturales con características sobresalientes, desde el punto de vista nutricional y el cuidado de la salud (compuestos bioactivos) (Dopporto, Mugridge, García & Vina, 2011; Frias-Moreno *et al.*, 2019; Rodríguez, Soliva & Martín, 2017; Shahidi & Zhong, 2010), y una fuente alternativa de estos compuestos se encuentra en las plantas silvestres (Pinela, Carvalho & Ferreira, 2017). Restos fósiles indican el uso alimenticio y medicinal de diversos órganos vegetales de plantas silvestres (Vandoorne *et al.*, 2012), y en el caso particular de las raíces y órganos de almacenamiento subterráneos, no son la excepción, al ser ricos en polisacáridos y otros compuestos (minerales, vitaminas, compuestos fenólicos, proteínas, fibra, entre otros) con un posible efecto antioxidante (Chandrasekara y Kumar, 2016; Zaldariene, Kulaitiene & Cerniauskiene, 2012).

Entre los componentes importantes de las raíces tuberosas de la dalia se encuentra la inulina (Ciobanu *et al.*, 2016; Arenas *et al.*, 2011), un carbohidrato de almacenamiento que posee amplia importancia alimenticia y farmacéutica

(Melanie, Susilowati, Iskandar, Lotulung & Andayani, 2015), debido a su actividad prebiótica, además de ser un tratamiento de apoyo eficaz para trastornos intestinales agudos y crónicos (Nsabimana & Jiang, 2011). Asimismo, mejora la biodisponibilidad de calcio y magnesio, con evidencias promisorias en la reducción del riesgo de cáncer, refuerzo de la respuesta inmune y protección contra desordenes intestinales, posee un bajo valor calórico, disminuye el riesgo de concentraciones altas de triglicéridos, además de favorecer el desarrollo de bacterias benéficas en el colon (Başaran *et al.*, 2018; Santana *et al.*, 2016). Es por todo lo anterior, que el objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad fisicoquímica, capacidad antioxidante y valor nutricional en raíces tuberosas de algunas especies silvestres de dalia (*Dahlia* spp.).

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Material vegetal y ubicación del experimento

En este experimento se emplearon raíces tuberosas de dalia que se obtuvieron de especies silvestres (*D. brevis*, *D. merckii*, *D. coccinea* y *D. campanulata*) y cultivada (*D. x hortorum*), las cuales se cultivaron durante los meses de abril a diciembre de 2016 en el Campo Agrícola Experimental “San Martín” de la Universidad Autónoma Chapingo (19°29'23" LN y 98° 53'37" LO, a 2246 msnm) con temperatura y precipitación media anual de 18.9 °C y 619.3 mm, respectivamente. Los análisis del material vegetal se llevaron a cabo durante los meses de enero a junio de 2017 en el Laboratorio de Usos Múltiples y de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Por otro lado, entre las características físicas y químicas más sobresalientes del suelo se encuentran: pH (7.48), conductividad eléctrica (0.73 dS m⁻¹), capacidad de intercambio catiónico (24.4 cmol kg⁻¹), densidad aparente (1.29 g cm⁻³) y textura franco-arcillo-arenoso.

3.4.2 Manejo del cultivo

La multiplicación y obtención del material vegetal se inició en el mes de marzo de 2016 con la siembra en invernadero de las raíces tuberosas obtenidas del ciclo anterior en cajas con turba (peat moss), cuyos brotes emergieron a los 15 días. El trasplante en campo se realizó en el mes de abril del 2016, donde la distancia entre plantas e hileras fue de 0.6 y 0.8 m, respectivamente, con excepción de la especie silvestre *D. campanulata*, cuya distancia entre plantas fue de 1.0 m. El suministro de agua se realizó mediante un sistema de riego por goteo, 1-2 veces por semana dependiendo de las condiciones del clima (temperatura ambiental y humedad relativa), con un gasto de 0.5 a 3.5 L planta⁻¹. La fertilización se realizó con base en un análisis previo de fertilidad del suelo y a la fórmula general de fertilización 120-0-200, la cual se fraccionó al trasplante y previo al inicio de floración, no se incluyó el fósforo porque la aportación del suelo cubrió el requerimiento del cultivo. El control de malezas y algunas prácticas de manejo del cultivo como el aporque, se llevaron a cabo de forma manual. Al momento de que las plantas detuvieron su crecimiento y ocurrió la defoliación (diciembre), se procedió con la cosecha de las raíces tuberosas.

3.4.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cinco repeticiones, donde la unidad experimental consistió de un conjunto de 14 plantas (7.2 m²). Para el análisis de laboratorio se tomaron 500 g de raíces tuberosas de cada especie por unidad experimental. Se evaluó el contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C, fenoles totales, capacidad antioxidante, contenido de inulina, así como la composición proximal (humedad, materia seca, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, carbohidratos totales y cenizas), para cada variable se consideraron cinco repeticiones.

3.4.4 Parámetros evaluados

Sólidos solubles totales (SST): La medición de SST se realizó de acuerdo con la metodología de la AOAC (2000). Se utilizó un refractómetro digital manual PAL-1 (ATAGO®, Japón), para ello se extrajo una gota de una porción de raíz

tuberosa, a través de una malla de polipropileno de 17 hilos por pulgada² para evitar el paso de material sólido, que se depositó en el prisma del área de muestreo del refractómetro y se obtuvo la lectura, posteriormente se lavó el área de muestreo con agua destilada y se procedió a realizar la siguiente medición. Los resultados se expresaron en °Brix.

Acidez titulable (AT): Su determinación se realizó de acuerdo con la metodología de la AOAC (2000), para lo cual se pesaron 2 g de muestra y se homogenizaron con 10 mL de agua destilada, posteriormente se filtró con una malla de polipropileno y se determinó el volumen final, después se tomó una alícuota de 5 mL y se le agregó una gota de fenolftaleína al 1% como indicador, se neutralizó con hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N. Los resultados se expresaron en % de ácido cítrico.

Vitamina (VC): La determinación de vitamina C (ácido ascórbico) se realizó mediante el método descrito por Jagota y Dani (1982), con ligeras modificaciones. A 3 g de muestra se le agregaron 5 mL de ácido tricloroacético al 10%, se homogenizó y agitó vigorosamente por 5 min en frío (hielo), se procedió a centrifugar por 20 min a 20,000 x g y 5 °C. Posteriormente se tomó una alícuota de 800 µL del sobrenadante de cada muestra, y se adicionaron 1.8 mL de agua bidestilada y 400 µL del reactivo Folin-Ciocalteu al 10% (v:v). La mezcla se agitó vigorosamente durante 15 s y se dejó reposar por 10 min, después se realizó la lectura de absorbancia a 760 nm mediante el espectrofotómetro Genesys 10-S (Thermo scientific, Waltham, Massachusetts). La concentración se expresó en mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹ de peso fresco, mediante la calibración de una curva estándar de ácido ascórbico.

Fenoles totales (FT): La determinación de fenoles totales se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994), para ello se tomaron 0.5 g de muestra a los que se adicionaron 5 mL de alcohol etílico absoluto al 70% (v:v), donde de este extracto se tomaron 150 µL al que se le adicionaron 850 µL de agua destilada y 500 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (2N), la mezcla se agitó y dejó reposar durante 8 min. Posteriormente se

agregaron 1.5 mL de Na_2CO_3 al 20% (p:v), se agitó y dejó reposar durante 2 h en condiciones de oscuridad total a temperatura ambiente (22 ± 1 °C). Se tomó el valor de absorbancia (760 nm) de la mezcla con un espectrofotómetro Genesys 10-S (Thermo scientific, Waltham, Massachusetts). La concentración de fenoles totales se expresó como mg de ácido gálico g^{-1} de peso fresco.

Capacidad antioxidante (CA): La determinación de esta variable, se realizó de acuerdo con el método ABTS (2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico) modificada por Özgen, Reese, Tulio, Miller & Scheerens (2006), para lo cual el radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ se formó tras la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2.45 mM, concentración final) incubados a temperatura ambiente y en oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ se diluyó con PBS (solución buffer de fosfato) (pH 7.4) hasta obtener un valor de absorbancia de 0.7 ± 0.1 a 734 nm (longitud de máxima absorción). Por otro lado, se tomaron 0.5 g de muestra a los que se agregó 5 mL de alcohol etílico absoluto al 70% (v:v), se homogenizó y dejó reposar la muestra durante 24 h. Para el ensayo, se mezclaron 100 μL del extracto de la muestra y 3.9 mL de la solución $\text{ABTS}^{+\cdot}$, dejándose reposar por 2 h en condiciones de oscuridad total, se realizó la lectura de absorbancia a 734 nm mediante el espectrofotómetro Genesys 10-S (Thermo scientific, Waltham, Massachusetts). Los resultados se expresaron como capacidad antioxidante equivalente a vitamina C (mg CAEVC g^{-1} de peso fresco).

Inulina: La cuantificación de su contenido se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Anan'ina *et al.* (2009). El material vegetal (raíces tuberosas) fue lavado y cortado en fragmentos de 1 cm, los cuales fueron deshidratados a 60 °C hasta obtener peso constante, se molieron y almacenaron para su evaluación. Para el ensayo, se tomó 0.1 g de muestra en polvo y se le adicionaron 100 mL de agua destilada, dicha mezcla se mantuvo en baño María por 30 min para posteriormente mantener a temperatura ambiente (22 ± 2 °C). A continuación se extrajo un 1 mL al que se agregaron 24 mL de ácido clorhídrico al 5% (v:v), esta mezcla se colocó en baño María por 2.5 h, concluido este periodo de tiempo, se mantuvo en condiciones de temperatura ambiente y se aforó a 25

mL con ácido clorhídrico al 5% (v:v), y se procedió a registrar el valor de absorbancia a 285 nm mediante el espectrofotómetro Genesys 10-S (Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts). El cálculo de la concentración de inulina se realizó al aplicar la fórmula siguiente:

$$X = \frac{D \times 100 \times 25}{298 \times m \times 1}$$

donde X es el contenido de inulina expresado como % de fructosa en base seca; D es la densidad óptica de la solución prueba ($\lambda = 285$ nm); 298 corresponde al índice específico de absorción del producto de transformación de la fructosa después de la hidrólisis ácida; m es el peso de la muestra (g).

Análisis proximal: El análisis proximal se llevó a cabo mediante la metodología descrita por la AOAC (2000). Los resultados se reportaron en porcentaje de base seca.

Análisis estadístico: A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Posteriormente se llevó a cabo un análisis de correlación con el propósito de determinar el grado de asociación entre las variables de SST, AT, VC, FT, CA e inulina, para ello se construyó una matriz donde se utilizó el coeficiente de correlación de cada variable. Para todos los análisis se empleó el paquete de análisis estadístico SAS (Statistical Analysis System) ver. 9.0.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Calidad química

El contenido de SST es un indicador de calidad y puede utilizarse para definir el momento apropiado de cosecha, además es determinante en el sabor del producto y desempeña un papel importante en el proceso de maduración (Frias-Moreno *et al.*, 2019). Entre las especies de dalia analizadas, el mayor contenido de SST se presentó en *D. campanulata* (9.11 °Brix) con respecto a *D. brevis* (4.98

°Brix), no obstante, no superó estadísticamente a *D. merckii*, *D. coccinea*, incluyendo la especie cultivada *D. x hortorum* (Cuadro 2). Lo mostrado por *D. merckii*, *D. coccinea*, *D. campanulata* y *D. x hortorum* fue similar a lo reportado por Vizzotto *et al.* (2017) en selecciones avanzadas (ILS 24, ILS 44, ILS 71) y la variedad “Beauregard” de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) con valores de 7.30, 7.60, 7.43 y 10.03 °Brix, respectivamente. De igual manera fueron similares con los datos mencionados por Scher, de Oliveira Rios y Zapata (2009) y Alles, Tessaro y Noreña (2015) en yacon (*Smallanthus sonchifolius*) (9.9 ± 0.01 y 8.5 ± 0.01 °Brix, respectivamente).

La acumulación de ácido cítrico expresada como porcentaje de AT fluctuó entre 0.17 y 0.31, donde este último valor correspondió a la especie silvestre *D. brevis*, los cuales fueron menores a los indicados para *Smallanthus sonchifolius* por Scher *et al.* (2009). Este resultado superó a lo indicado por Vizzotto *et al.* (2017) para 12 genotipos (selecciones avanzadas y variedades) de camote (*Ipomoea batatas*) con porcentajes entre 0.12 y 0.18 de ácido cítrico. Así mismo, Mussury *et al.* (2013) al evaluar periodos de almacenamiento con diferentes temperaturas y empaques para raíces tuberosas de ahípa (*Pachyrhizus ahípa*) indican un valor medio de 0.22% de ácido cítrico, no obstante, también señalan que los valores más bajos fueron observados cuando el material se encontraba sin empaque y a temperatura ambiente, lo cual puede asociarse con una disminución en la concentración total de ácidos orgánicos por efecto de la temperatura ambiental, tal como lo indican Vizzotto *et al.* (2017).

Entre las especies de dalia analizadas, la especie silvestre *D. campanulata* presentó el valor más alto de vitamina C ($5.17 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) que resultó menor al reportado por Rautenbach, Faber, Laurie y Laurie (2010) en cuatro variedades de *Ipomoea batatas* cultivadas con diferentes regímenes de riego (30, 60 y 100%) y señalan una relación positiva entre la concentración de vitamina C y el régimen de riego utilizado, con valores que fluctuaron entre 15.5 y $32.2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. Barrera y Picha (2014) al determinar la concentración de ácido ascórbico en yemas, ramas, peciolos, hojas jóvenes y maduras, así como en raíces de *Ipomoea*

batatas, encontraron que los valores más altos de este compuesto fueron para las hojas jóvenes (121 mg 100 g⁻¹) con respecto a las raíces (15.9 mg 100 g⁻¹), comportamiento vinculado con el papel que juega el ácido ascórbico para eliminar los radicales libres generados en un entorno altamente oxidativo durante el proceso de fotosíntesis (Sreeramulu & Raghunath, 2010). *D. campanulata* superó en más del 100 % el contenido más bajo de vitamina C registrado en *D. coccinea* y *D. x hortorum*. Así mismo, la concentración de vitamina C en las plantas varía en función del genotipo, órgano muestreado y condiciones edafoclimáticas de desarrollo (Grace *et al.* 2014), sin olvidar que es uno de los principales compuestos antioxidantes no enzimáticos, ya que, en asociación con otros componentes del sistema antioxidante protege y regula del daño oxidativo resultado del metabolismo y presencia de contaminantes (ozono, metales pesados y estrés salino) (Akram, Shafiq & Ashraf, 2017; Mazid, Khan, Khan, Quddusi & Mohammad, 2011).

Cuadro 2. Contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable y vitamina C en raíces tuberosas de algunas especies de dalia.

Especie	Sólidos solubles totales (°Brix)	Acidez titulable (% ácido cítrico)	Vitamina C (mg AA 100 g⁻¹ p.f.)^x
<i>D. brevis</i>	4.98 b ^z	0.31 a	2.59 c
<i>D. merckii</i>	7.92 a	0.18 c	3.25 b
<i>D. coccinea</i>	8.12 a	0.17 c	2.27 c
<i>D. campanulata</i>	9.11 a	0.21 bc	5.17 a
<i>D. x hortorum</i>	7.80 a	0.25 b	2.16 c
DMSH ^y	1.74	0.05	0.50
CV (%)	11.82	12.01	8.38

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación. ^xAA = ácido ascórbico, p.f. = peso fresco.

Otro componente importante dentro de los compuestos bioactivos es el correspondiente a los fenoles totales, y en este trabajo se encontró variación

($P \leq 0.05$) (Cuadro 3), cuyos valores fluctuaron entre 0.60 y 1.74 mg AG g^{-1} donde se destacó *D. coccinea* con el valor más alto, seguida por la especie cultivada *D. x hortorum* con 1.40 mg AG g^{-1} . Estos resultados fueron comparables a los reportados por Sreeramulu y Raghunath (2010) en cultivos como mandioca (*Manihot esculenta*) (137.55 ± 6.04 mg AG $100 g^{-1}$) y betabel (*Beta vulgaris*) (169.41 ± 40.19 mg AG $100 g^{-1}$). El contenido de fenoles totales en *D. coccinea* superó en 24% el valor encontrado en la especie cultivada *D. x hortorum* y en 190% el valor más bajo encontrado en *D. merckii*. En estudios previos realizados por Lachman, Fernández, Viehmannová, Šulc & Èepková (2007) en yacon (*Smallanthus sonchifolius*) proveniente de Bolivia, Ecuador, Nueva Zelanda y Alemania indican un contenido de fenoles totales entre 5 y 12 g kg^{-1} , sin embargo, este dato fue menor a lo observado por estos mismos autores en los rizomas de esta planta. Por otro lado, también se reporta gran variabilidad en el contenido de fenoles totales determinado en raíces y estructuras botánicas subterráneas de otros cultivos como papa dulce o camote (*Ipomoea batatas*) (Teow *et al.* 2007), ahípa (*Pachyrhizus ahípa*) (Dini, Doporto, García & Viña, 2013) y olivo (*Olea europea* L.) (Petridis, Therios, Samouris & Tananaki, 2012), lo cual podría explicarse por el estrés provocado por los factores ambientales (salinidad, humedad, cambios de temperatura, así como, el ataque de plagas y enfermedades) al que se encuentran sometidas las raíces, además, los compuestos fenólicos se relacionan con la prevención de diferentes tipos de cáncer y en la defensa contra invasión microbiana (Petridis *et al.* 2012; Shahidi & Zhong, 2010).

La alta incidencia de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y crónicas (Ciobanu *et al.*, 2016), incrementa la necesidad de consumir productos hortofrutícolas con atributos funcionales que coadyuven a mantener la salud humana (Sreeramulu & Raghunath, 2010). En este estudio, se encontró que las raíces tuberosas de la especie silvestre *D. campanulata* presentaron la mayor CA (1.88 mg CAEVC g^{-1}), seguida por *D. x hortorum* y *D. coccinea* con 0.91 y 0.83 mg CAEVC g^{-1} , respectivamente. Estos resultados son mayores a los observados por Floegel, Kim, Chung, Koo y Chun (2011) en papa (41.4 mg CAEVC $100 g^{-1}$)

y cebolla (29.6 ± 4.0 mg VCEAC 100 g^{-1}). En este sentido, es importante la presencia de vitaminas (vitamina C, vitamina E y carotenoides) y de compuestos fenólicos (flavonoles, flavonas, flavanonas y antocianinas) que poseen actividad antioxidante y previenen diversas enfermedades, mientras que, protegen a las plantas del estrés fotosintético y las especies reactivas de oxígeno (Das *et al.*, 2012). Además, la capacidad de los antioxidantes para actuar sobre los compuestos oxidativos puede variar debido a condiciones de manejo del cultivo (déficit hídrico, salinidad y condiciones del suelo), factores climáticos (temperatura y humedad relativa), genéticos como la variedad y el estado fenológico del cultivo (Galani *et al.*, 2017), sin pasar por alto el método de evaluación, así como también, puede ser influenciada por las condiciones de extracción: proporción sólido-solvente, tiempo, pH, temperatura y tipo de solvente (Floegel *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2017).

Una característica común entre las raíces tuberosas es la presencia de carbohidratos de reserva (glucosa, galactosa, sacarosa y fructosa) (Jiménez, 2015); en el caso de la planta de dalia se ha reportado que sus raíces poseen entre 38 y 53% de inulina, un carbohidrato de almacenamiento, que entre sus cualidades se encuentra que no contribuye al incremento de los niveles de glucosa en la sangre, lo que hace muy atractivo su consumo en personas diabéticas (Anan'ina *et al.*, 2009; Arenas *et al.*, 2011; Bařaran *et al.*, 2018). En esta investigación, las especies silvestres *D. campanulata* y *D. coccinea* presentaron los porcentajes más altos de inulina (72.25 y 66.17%, respectivamente), sin embargo, *D. coccinea* fue similar a lo observado en *D. merckii* (59.36%) y a la especie cultivada *D. x hortorum* con 57.95%. Al respecto, una comparación interesante la representa la achicoria roja (*Cichorium intybus* (var. *sativum*), una planta cultivada en el este de Europa y cuyo contenido de inulina es de alrededor de 80% del peso seco de sus raíces, según reportes previos realizados por Bařaran *et al.* (2018) y Vandoorne *et al.* (2012). Valores similares ($75\text{-}80\text{ g }100\text{ g}^{-1}$) son reportados por Khuenpet, Fukuoka, Jittanit y Sirisansaneeyakul (2017) para raíces tuberosas de alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*). Sin embargo, Castro, Céspedes, Carballo, Bergenståhl y

Tornberg (2013) señalan un contenido de 35% en raíces de yacon (*Smallanthus sonchifolius*), el cual es menor a las concentraciones obtenidas en este trabajo. La modificación del pH (5 y 10) del medio de extracción puede alterar el rendimiento de inulina en dalia, tal como lo indican Melanie *et al.* (2015) con valores entre 29.35 y 43.77%, respectivamente. Así mismo, al evaluar el contenido de inulina en colectas de dalia silvestre (*Dahlia coccinea* Cav.) Santana *et al.* (2016) indican valores entre 23.9 y 42.5%, no obstante, cuando estas plantas fueron cultivadas, su concentración se incrementó de forma significativa. Estos resultados sugieren que la concentración de inulina se asocia con factores genéticos, fisiológicos y ambientales (temperatura y fotoperiodo) (Başaran *et al.*, 2018), sin dejar de considerar los cambios que sufre la raíz con el transcurso del tiempo, debido a que a medida que las raíces van envejeciendo acumulan reservas en forma de inulinas y fructanos de cadena más larga (Aduldecha *et al.*, 2016).

Cuadro 3. Concentración de fenoles totales, capacidad antioxidante e inulina en raíces tuberosas de dalia.

Especie	Fenoles totales (mg AG g ⁻¹ p.f.) ^x	Capacidad antioxidante (mg CAEVC g ⁻¹ p.f.)	Inulina (%)
<i>D. brevis</i>	0.99 c ^z	0.72 c	55.00 c
<i>D. merckii</i>	0.60 d	0.62 c	59.36 bc
<i>D. coccinea</i>	1.74 a	0.83 b	66.17 ab
<i>D. campanulata</i>	1.06 c	1.88 a	72.25 a
<i>D. x hortorum</i>	1.40 b	0.91 b	57.95 bc
DMSH ^y	0.30	0.11	8.68
CV (%)	13.47	5.72	7.21

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación. ^xAG = ácido gálico, CAEVC = capacidad antioxidante equivalente a vitamina C, p.f. = peso fresco, % = porcentaje en base a peso seco.

3.5.2 Composición proximal

Los valores del análisis proximal se presentan en el Cuadro 4. Con 88.71% de humedad, la especie silvestre *D. brevis* fue significativamente la más alta, seguida por *D. merckii* y *D. x hortorum* (cultivada) (83.21 y 82.37%, respectivamente). Al respecto, Nsabimana y Jiang (2011) al determinar el contenido de humedad en cultivares de *D. pinnata* con color de flor amarilla (“HG” y “JJ”), blanca (“BJ” y “LB”) y roja (“MLH” y “XM”) cultivadas en Lanzhou (China), encontraron que los valores fluctuaron entre 83.36 y 86.49%, donde “MLH” fue la más sobresaliente. Resultados similares se reportaron en raíces de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) (69 a 83%) (Choque-Delgado, da Silva Cunha Tamashiro, Maróstica Junior & Pastore, 2013) y betabel (*Beta vulgaris*) (63.48 y 78.09%) (Pan, Lu, Zhu, McGrath & Tu, 2015). En contraste, plantas como la mandioca (*Manihot esculenta*) presentaron valores más bajos (63-65%) (Dini, García & Vina, 2012), esto sugiere que las raíces tuberosas de dalia poseen bajo contenido de materia seca y pueden tener menor tiempo para su almacenamiento (Galani *et al.*, 2017).

El contenido de materia seca fluctuó entre 11.29 y 24.38%, en la que se destacó significativamente *D. campanulata*, seguida por la especie *D. coccinea* con 19.74%. Estudios realizados sobre la composición química en tubérculos de 12 variedades de *Dioscorea* (*D. rotundata* y *D. alata*) por Otegbayo, Asiedu y Bokanga (2012) señalan valores contrastantes entre 30.88 y 37.86% para *D. rotundata* y de 19.54 a 29.34% en *D. alata*, siendo estos últimos valores similares a lo observado en *D. campanulata* y *D. coccinea*. Así mismo, valores más bajos (11.2 y 13.7%) se reportaron en zanahoria (*Daucus carota* L.) por Bach, Kidmose, Kristensen y Edelenbos (2015).

Por otro lado, como parte del análisis proximal realizado en este estudio, un parámetro importante se relaciona con la proteína, donde la mayor concentración se presentó en las especies silvestres *D. merckii* (10.16%) y *D. coccinea* (9.52%), así como la especie cultivada *D. x hortorum* (10.14%), dichos valores superaron a lo indicado para *D. pinnata* (2.85 a 5.16%) por Nsabimana y Jiang (2011), de

igual forma para las variedades “Adu” y “Berkume” (*Ipomoea batatas*) con porcentajes de 2.07 y 2.76, respectivamente (Mitiku & Abera, 2017). No obstante, valores similares entre 7.9 ± 0.5 y $11.5 \pm 1.2\%$ se encontraron en otras raíces tuberosas de plantas nativas de América del sur como la ahipa (*Pachyrhizus ahipa*) (Dini *et al.*, 2013).

En este estudio, las especies silvestres *D. merckii* y *D. brevis* mostraron la concentración más alta de grasa cruda (0.75 y 0.54%, respectivamente), la cual resultó superior a lo reportado por Nsabimana y Jiang (2011) en *D. pinnata* (0.08-0.39%), así como también a lo indicado por Doporto *et al.* (2011) en raíces tuberosas sin epidermis de ahipa (*Pachyrhizus ahipa*) con valores entre 0.25 ± 0.03 y $0.39 \pm 0.01\%$, pero están dentro del intervalo de valores reportados por Kim *et al.* (2011) en variedades de *Ipomoea batatas* (0.37 a 1.42 %); el valor más bajo de grasa cruda lo presentó *D. coccinea* que fue similar a lo observado en *D. x hortorum* (0.23 y 0.43%, respectivamente). Los resultados obtenidos indican que, el consumo de raíces tuberosas de estas especies silvestres de dalia pueden ser una alternativa de alimentación sana, debido a que su aporte calórico es bajo (Castro *et al.*, 2013) y su contenido de fibra, la cual mejora la digestibilidad en pacientes diabéticos, reduce el colesterol de la sangre y la obesidad (Anan'ina *et al.*, 2009), así como puede ayudar en la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer (Başaran *et al.*, 2018). En este sentido, *D. brevis* fue la que mostró el mayor contenido de fibra (5.49 %) y superó a lo reportado en las variedades “Albik”, “Rubik” y “Sauliai” de alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus* L.) por Zaldariene *et al.* (2012) con 4.10 ± 0.39 , 4.28 ± 0.18 y $3.49 \pm 0.02\%$, respectivamente. Por otro lado, no superaron lo encontrado en las variedades “BJ” (7.51 ± 0.04 %) y “LB” ($7.21 \pm 0.02\%$) de *D. pinnata* por Nsabimana y Jiang (2011), no obstante, estos mismos autores indican para “HGH”, “JJ” y “XM” de la misma especie, un contenido de fibra menor (entre 4.05 y 5.06%), lo cual sugiere una fuerte interacción entre el genotipo y condiciones edafoclimáticas durante su cultivo (Grudzińska, Czerko, Zarzyńska y Borowska-Komenda, 2016).

Como se observa en los datos referentes al contenido de carbohidratos, *D. campanulata* fue la que mostró el contenido más alto con 88.37%, donde *D. brevis* fue la más baja (78.42%). Porcentajes similares de carbohidratos (entre 87.2 ± 0.3 y 92.03 ± 0.05) en ahípa (*Pachyrhizus ahípa*) fueron obtenidos por Doporto *et al.* (2011), de igual manera Nsabimana y Jiang (2011) reportaron $86.46 \pm 0.02\%$ para *D. pinnata* “HGH”, sin embargo, dichos autores también indican datos más bajos (entre 73.93 ± 0.02 y $81.81 \pm 0.06\%$) en “JJ”, “BJ”, “LB”, “MLH” y “XM”.

Entre las especies silvestres analizadas, *D. brevis* mostró valores significativos con respecto al contenido de ceniza con 6.23%, el cual fue mayor al reportado por Nsabimana y Jiang (2011) en *D. pinnata* (entre 2.86 y 4.29%). Mitiku y Abera (2017) reportaron en camote (*Ipomoea batatas*) “Adu” y “Berkume” contenidos de ceniza de $5.32 \pm 0.09\%$ y 3.38 ± 0.01 , respectivamente. Sin embargo, % de ceniza más bajos (2.53%) se encontraron en yacon (*Smallanthus sonchifolius*) por Choque-Delgado *et al.* (2013).

Cuadro 4. Análisis proximal de raíces tuberosas en algunas especies de dalia.

Especie	(%)						
	H ^x	MS	PC	GC	FC	CT	CEN
<i>D. brevis</i>	88.71 a ^z	11.29 d	9.32 b	0.54 ab	5.49 a	78.42 d	6.23 a
<i>D. merckii</i>	83.21 b	16.79 c	10.16 a	0.75 a	3.60 bc	81.04 c	4.44 b
<i>D. coccinea</i>	80.26 c	19.74 b	9.52 ab	0.23 c	3.44 bc	83.08 b	3.73 bc
<i>D. campanulata</i>	75.62 d	24.38 a	5.00 c	0.49 b	2.88 c	88.37 a	3.25 c
<i>D. x hortorum</i>	82.37 b	17.63 c	10.14 a	0.43 bc	4.00 b	81.10 c	4.33 b
DMSH ^y	1.41	1.41	0.73	0.21	0.83	1.50	0.75
CV (%)	0.89	4.06	4.27	22.73	11.07	0.94	8.79

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación. ^xH = humedad, MS = materia seca, PC = proteína cruda, GC = grasa cruda, FC = fibra cruda, CT = carbohidratos totales, CEN = cenizas, % = porcentaje en base a peso seco.

3.5.3 Correlación de Pearson

De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson (Cuadro 5), se pudo observar una correlación positiva entre el contenido de SST y CA (0.534), SST e inulina (0.588), VC y CA (0.815), VC e inulina (0.543) y CA e inulina (0.681), mientras que SST y AT (-0.674) al igual que AT e inulina (-0.425) mostraron una correlación negativa. La correlación positiva observada, indica una asociación parcial entre las variables analizadas de SST, VC, inulina y CA, donde con un incremento en alguna de ellas, el valor correspondiente a la CA, lo hace en una proporción variable. Al respecto, Ciobanu *et al.* (2016) señalan que la inulina es el principal carbohidrato de reserva en las raíces tuberosas de dalia, y que su acumulación coadyuva como fuente de energía (solubilización de azúcares simples) para el crecimiento y desarrollo de nuevos brotes del siguiente ciclo. Así mismo, es muy conocido que la vitamina C, es una de las vitaminas antioxidantes hidrosolubles más importantes que contribuye al bloqueo y eliminación de radicales prooxidantes como lo señalan Frias-Moreno *et al.* (2019). En este estudio, el contenido de FT no presentó correlación significativa con la CA, lo que contrasta con lo reportado por Galani *et al.* (2017) y Grudzińska *et al.* (2016) en raíces de *Solanum tuberosum*, lo cual puede atribuirse a la contribución de algunos compuestos no fenólicos como vitaminas y minerales a la actividad antioxidante (Galani *et al.*, 2017).

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson para variables de calidad química y contenido de inulina evaluadas en raíces tuberosas de algunas especies de dalia.

	SST ^z	AT	VC	FT	CA	Inulina
SST	1	-0.674**	0.483*	0.134	0.534**	0.588**
AT		1	-0.215	-0.042	-0.089	-0.425*
VC			1	-0.390	0.815**	0.543**
FT				1	0.093	0.144
CA					1	0.681**
Inulina						1

^zSST = sólidos solubles totales (^oBrix), AT = acidez titulable, VC = vitamina C, FT = fenoles totales, CA = capacidad antioxidante. *, ** significativo al 1 y 5 % respectivamente.

3.6 Conclusiones

Entre los genotipos analizados, la especie silvestre *D. campanulata* destacó por su concentración de VC, CA, inulina, MS y CT, sin embargo, el contenido de inulina fue similar a *D. coccinea*, la cual además fue sobresaliente con respecto al contenido de FT. Así mismo, *D. brevis* presentó los valores más altos de FC y CEN. Estos resultados posicionan a las especies silvestres de dalia como una buena opción para ser aprovechadas como alimento nutracéutico y coadyuvar al cuidado de la salud, donde de igual manera, la variabilidad observada les permite a estas especies ser susceptibles para ser una fuente de selección de importancia nutracéutica para mejoramiento genético.

3.7 Literatura citada

- Aduldecha, C., Kaewpradit, W., Vorasoot, N., Puangbut, D., Jogloy, S., & Patanothai, A. (2016). Effects of water regimes on inulin content and inulin yield of Jerusalem artichoke genotypes with different levels of drought tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40, 335–343, doi:10.3906/tar-1506-39.
- Akram, N. A., Shafiq, F., & Ashraf, M. (2017). Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 8, 613, doi:10.3389/fpls.2017.00613.
- Alles, M. J., Tessaro, I. C., & Noreña, C. P. (2015). Concentration and purification of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) root fructooligosaccharides using membrane technology. *Food technology and biotechnology*, 53 (2), 190-200, doi:10.17113/ftb.53.02.15.3766.
- Anan'ina, N. A., Andreeva, O. A., Mycots, L. P., & Oganesyan, E. T. (2009). Standardization of inulin extracted from dahlia single tubers and some physicochemical properties of inulin. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 43 (3), 157-159, <https://doi.org/10.1007/s11094-009-0261-8>.
- AOAC (2000). Official Method of Analysis of Association of Analytical Chemist International (17th ed.) Horowitz, M. D.
- Arenas J., Y. R., Delgado-Martínez, E. J., Morales-Rosales, E. J., Laguna-Cerda, A., Franco-Mora, O., & Urbina-Sánchez, E. (2011). Rendimiento de raíces tuberosas de *Dahlia variabilis* wild (Desf.) bajo diferentes prácticas de manejo agronómico. *Phyton*, 80, 107-112.

- Bach, V., Kidmose, U., Kristensen, H. L., & Edelenbos, M. (2015). Eating quality of carrots (*Daucus carota* L.) grown in one conventional and three organic cropping systems over three years. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 9803-9811, doi: 10.1021/acs.jafc.5b03161.
- Barrera, W. A., & Picha, D. H. (2014). Ascorbic acid, thiamin, riboflavin, and vitamin B₆ contents vary between sweetpotato tissue types. *HortScience*, 49, 1470-1475, doi:https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.11.1470.
- Başaran, U., Akkbiç, M., Mut, H., Gülümser, E., Çopur Doğrusöz, M., & Koçođlu, S. (2018). High-Performance liquid chromatography with refractive index detection for the determination of inulin in chicory roots. *Analytical Letters*, 51 (1-2), 83-95, doi:10.1080/00032719.2017.1304952.
- Castro, A., Céspedes, G., Carballo, S., Bergenståhl, B., & Tornberg, E. (2013). Dietary fiber, fructo oligosaccharides, and physicochemical properties of homogenized aqueous suspensions of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food Research International*, 50 (1), 392-400, doi: 10.1016/j.foodres.2012.10.048.
- Chandrasekara, A., & Kumar, T. J. (2016). Roots and tuber crops as functional foods: a review on phytochemical constituents and their potential health benefits. *International Journal of Food Science*, 2016, 1-15, doi: 10.1155/2016/3631647.
- Choque-Delgado, G. T., da Silva Cunha Tamashiro, W. M., Maróstica Junior, M. R., & Pastore, G. M. (2013). Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): a functional food. *Plant Foods for Nutrition*, 68 (3), 222-228, doi: 10.1007/s11130-013-0362-0.
- Ciobanu, I., Cantor, M., Stefan, R., Buta, E., Magyari, K., & Baia, M. (2016). The influence of storage conditions on the biochemical composition and morphology of *Dahlia* tubers. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44 (2), 459-465, doi: 10.15835/nbha44210436.
- Dini, C., Doporto, M. C., García, M. A., & Viña, S. Z. (2013). Nutritional profile and anti-nutrient analyses of *Pachyrhizus ahipa* roots from different accessions. *Food Research International*, 54, 255-261, doi:10.1016/j.foodres.2013.07.027.
- Dini, C., García, M. A., & Vina, S. Z. (2012). Non-traditional flours: frontiers between ancestral heritage and innovation. *Food & Function*, 3 (6), 606-620, doi: 10.1039/c2fo30036b.
- Doporto, M. C., Mugridge, A., García, M. A., & Vina, S. Z. (2011). *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi roots and flour: biochemical and functional characteristics. *Food Chemistry*, 126 (4), 1670-1678, doi:10.1016/j.foodchem.2010.12.053.

- Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24 (7), 1043-1048, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008>.
- Frias-Moreno, M. N., Olivas-Orozco, G. I., González-Aguilar, G. A., Benitez-Enriquez, Y. E., Paredes-Alonso, A., Jacobo-Cuellar, J. L., ... Parra-Quezada, R. A. (2019). Yield, quality and phytochemicals of organic and conventional raspberry cultivated in Chihuahua, México. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47 (2), 522-530, doi:10.15835/nbha47211385.
- Galani, Y. J. H., Mankad, M. P., Shah, A. K., Patel, N. J., Acharya, R. R., & Talati, J. G. (2017). Effect of storage temperature on vitamin C, total phenolics, UPLC phenolic acids profile and antioxidant capacity of eleven potatoes (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Horticultural Plant Journal*, 3 (2), 73-89, <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.07.004>.
- Grace, M. H., Yousef, G. G., Gustafson, S. J., Truong, V. D., Yencho, G. C., & Lila, M. A. (2014). Phytochemical changes in phenolics, anthocyanins, ascorbic acid, and carotenoids associated with sweetpotato storage and impacts on bioactive properties. *Food Chemistry*, 145, 717-724, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.107>.
- Grudzińska, M., Czerko, Z., Zarzyńska, K., & Borowska-Komenda, M. (2016). Bioactive compounds in potato tubers: effects of farming system, cooking method, and flesh color. *PLoS ONE*, 11 (5), 1-13, doi: 10.1371/journal.pone.0153980.
- Jagota, S., & Dani, H. (1982). A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using Folin Phenol Reagent. *Analytical Biochemistry*, 127, 178-182, doi:10.1016/0003-2697(82)90162-2.
- Jiménez, M. L. (2015). Revisión bibliográfica: el cultivo de la dalia. *Cultivos Tropicales*, 36 (1), 103-110.
- Khuenpet, K., Fukuoka, M., Jittanit, W., & Sirisansaneeyakul, S. (2017). Spray drying of inulin component extracted from Jerusalem artichoke tuberpowder using conventional and ohmic-ultrasonic heating for extractionprocess. *Journal of Food Engineering*, 194, 67-78, doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.09.009.
- Kim, J. M., Park, S. J., Lee, C. S., Ren, C., Kim, S. S., & Shin, M. (2011). Functional properties of different Korean sweet potato varieties. *Food Science and Biotechnology*, 20, 1501-1507 doi: <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0208-1>.
- Lachman, J., Fernández, E. C., Viehmannová, I., Šulc, M., & Ěepková, P. (2007). Total phenolic content of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) rhizomes, leaves, and roots affected by genotype. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35, 117-123, doi: 10.1080/01140670709510175.

- Mazid, M., Khan, T. A., Khan, Z. H., Quddusi, S., & Mohammad, F. (2011). Occurrence, biosynthesis and potentialities of ascorbic acid in plants. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 1 (2), 167-184.
- Melanie, H., Susilowati, A., Iskandar Y. M., Lotulung, P. D., & Andayani, D. G. S. (2015). Characterization of inulin from local red dahlia (*Dahlia* sp. L) tubers by infrared spectroscopy. *Procedia Chemistry*, 16, 78-84, doi:10.1016/j.proche.2015.12.027.
- Mitiku, D., & Abera, T. (2017). Nutrient and antinutrient composition of improved sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam) varieties grown in eastern Ethiopia. *Nutrition & Food Science*, 47(3), doi 10.1108/NFS-07-2016-0098.
- Mussury, R. M., Scalon, S. P. Q., Silva, M. A., Silva, T. F., Gomes, H., & Gassi, R. (2013). Postharvest conservation of the tuberous roots of *Pachyrhizus ahipa* (Wedd) Parodi. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85 (2), 761-768, <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652013005000035>.
- Nsabimana, C., & Jiang, B. (2011). The chemical composition of some garden *Dahlia* tubers. *British Food Journal*, 113 (9), 1081-1093, doi: 10.1108/00070701111174541.
- Otegbayo, B. O., Asiedu, R., & Bokanga, M. (2012). Effects of storage on the chemical composition and food quality of yam. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36 (5), 438-445, doi: 10.1111/j.1745-4549.2011.00600.x.
- Özgen, M., Reese, R. N., Tulio, A. Z., Miller, A. R., & Scheerens, J. C. (2006). Modified 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,20-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (4), 1151-1157, doi: 10.1021/jf051960d.
- Pan, L., Lu, R., Zhu, Q., McGrath, J. M., & Tu, K. (2015). Measurement of moisture, soluble solids, sucrose content and mechanical properties in sugar beet using portable visible and near-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 102, 42-50, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.02.005>.
- Petridis, A., Therios, I., Samouris, G. & Tananaki, C. (2012). Salinity-induced changes in phenolic compounds in leaves and roots of four olive cultivars (*Olea europaea* L.) and their relationship to antioxidant activity. *Environmental and Experimental Botany*, 79, 37-43, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.01.007>.
- Pinela, J., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Wild edible plants: Nutritional and toxicological characteristics, retrieval strategies and importance for today's society. *Food and Chemical Toxicology*, 110, 165-188, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.020>.

- Rautenbach F, Faber M, Laurie S, & Laurie R. (2010). Antioxidant capacity and antioxidant content in roots of 4 sweet potato varieties. *Journal Food Science*, 75 (5), C400-C405, doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01631.x.
- Rodríguez, R. M. J., Soliva, F .R., & Martín, B. O. (2017). Methods for determining the antioxidant capacity of food constituents. In: Yahia, E. M. (ed.). *Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry and human health*. Hoboken, N. J. USA. John Wiley & Sons, Ltd.
- Santana L., S, Villanueva-Carvajal, A., Morales-Rosales, E. J., Laguna-Cerda, A., & Dominguez-Lopez, A. (2016). Extracción y evaluación de inulina a partir de dalias silvestres mexicanas (*Dahlia coccinea* Cav.). *ΦYTON*, 85: 63-70.
- Scher, F. C., de Oliveira Rios, A., & Zapata N., C. P. (2009). Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2169-2175, doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02056.x.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2010). Novel antioxidants in food quality preservation and health promotion. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112, 930-940, doi: 10.1002/ejlt.201000044.
- Sreeramulu, D., & Raghunath, M. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of roots, tubers and vegetables commonly consumed in India. *Food Research International*, 43, 1017-1020, doi:10.1016/j.foodres.2010.01.009.
- Teow, C. C., Truong, V. D., McFeeters, R. F., Thompson, R. L., Pecota, K. V., & Yencho, G. C. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry*, 103(3), 829-838. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.033>
- Vandoorne, B., Mathieu, A. S., Van den Ende, W., Vergauwen, R., Périlleux, C., Javaux, M., & Lutts, S. (2012). Water stress drastically reduces root growth and inulin yield in *Cichorium intybus* (var. sativum) independently of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 63 (12), 4359-4373, doi: 10.1093/jxb/ers095.
- Villaseñor, J. L. & Redonda-Martínez, R. (2018). A new species of *Dahlia* (Asteraceae, Coreopsideae) from the state of Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa*, 362, 239-243, <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.362.2.11>.
- Vizotto, M., Dos Santos, E., Rocha, J., Cardoso, P., Lettnin, N., Suita, L., & Richter, A. (2017). Physicochemical and antioxidant capacity analysis of colored sweet potato genotypes: in natura and thermally processed. *Ciencia Rural*, 47 (4), 1-8, doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151385>.
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Methods in ecology. Analysis of phenolic plant metabolites*. Oxford, UK. Blackwell Scientific Publications.

Zaldariene, S., Kulaitiene, J., & Cerniauskiene, J. (2012). The quality comparison of different Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars tubers. *Zemes ukio mokslai*, 19 (4), 268-272, doi: <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v19i4.2588>.

4 CALIDAD FÍSICOQUÍMICA, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y VALOR NUTRICIONAL EN FLORES COMESTIBLES DE ALGUNAS ESPECIES SILVESTRES DE DALIA (*Dahlia* spp.)

4.1 Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad físicoquímica, capacidad antioxidante y el valor nutricional en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones. Se evaluó peso fresco, acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST), vitamina C (VC), color, fenoles totales (FT), flavonoides totales (FIT), antocianinas totales (AnT), capacidad antioxidante (CA) y composición proximal. *D. merckii* y *D. coccinea* sobresalieron por su alto valor de AT. *D. coccinea* también presentó los valores más altos de VC (76.95-89.67 mg AA 100 g⁻¹ p.f.), FT (12.87-19.92 mg AG g⁻¹ p.f.), FIT (6.78-11.32 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco) y CA (47.28-60.43 mg CAEVC g⁻¹ p.f.). Por otro lado, *D. campanulata* destacó por su alto contenido de humedad (93.7%), grasa cruda, fibra cruda y cenizas (3.38, 14.34 y 8.74% base seca, respectivamente); de igual manera, *D. coccinea* destacó por su contenido de materia seca (14.09% base seca) y carbohidratos totales (68.64% base seca). Las flores liguladas de dalias silvestres presentaron alto contenido de compuestos bioactivos y composición nutrimental comparadas con las domesticadas, por lo tanto, las primeras pueden ser aprovechadas para su consumo como producto en fresco con beneficios para el cuidado de la salud, sin embargo, por su alta perecebilidad se deben implementar tecnologías que permitan su conservación poscosecha.

Palabras clave: alimento funcional, florifagia, nutraceuticos.

4.2 Abstract

PHYSICOCHEMICAL QUALITY, ANTIOXIDANT CAPACITY AND NUTRITIONAL VALUE IN EDIBLE FLOWERS OF SOME WILD DALIA SPECIES (*Dahlia* spp.)

The objective of this research was to determine attributes of physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value in ligulate flowers of some wild dalia species. A completely randomized experimental design with five repetitions was used. Fresh weight, titratable acidity (TA), total soluble solids (TSS), vitamin C (VC), colour, total phenols (TP), total flavonoids (TFI), total anthocyanins (TAn), antioxidant capacity (AC) and proximal composition were evaluated. *D. merckii* and *D. coccinea* stood out for their high TA value. *D. coccinea* also had the highest VC content (76.95-89.67 mg AA 100 g⁻¹ f.w.), TP (12.87-19.92 mg GA g⁻¹ f.w.), TFI (6.78-11.32 mg quercetin g⁻¹ of dry extract) and AC (47.28-60.43 mg VCEAC g⁻¹ f.w.). On the other hand, *D. campanulata* was noted for its high content of moisture (93.7%), raw fat, raw fibre and ashes (3.38, 14.34 and 8.74% of dry basis, respectively); similarly, *D. coccinea* stood out for its content of dry matter (14.09% of dry basis) and total carbohydrates (68.64% of dry basis). The ligulate flowers of wild dalia have a high content of bioactive compounds and nutritional composition compared to domesticated ones with beneficial contributions for health care, so they could be used for their consumption as fresh products, however, due to its high perishability, technologies must be implemented that allow its post-harvest conservation.

Key words: functional food, floriphagia, nutraceuticals.

4.3 Introducción

Las flores han sido un elemento gastronómico importante desde hace muchos siglos para las civilizaciones de diversas regiones del mundo, ya que existen reportes en la literatura que indican su consumo (Rop *et al.*, 2012). Entre las flores utilizadas como alimento se pueden mencionar aquellas de especies como el rosal (*Rosa* sp.) y diente de león (*Taraxacum officinale*) en Europa, así como calabaza (*Cucurbita* sp.) en el México prehispánico, además, en países como China y Japón el consumo de flores tiene una gran tradición (Fernandes, Ramalhosa, Pereira, Saraiva & Casal, 2018; Rop *et al.*, 2012; Sotelo *et al.*, 2007). En la actualidad, la búsqueda de nuevas experiencias culinarias (formas, colores y sabores) que aporten apariencia y valor nutritivo a los platillos, han permitido retomar y acrecentar esta tradición culinaria (Mlcek & Rop, 2011).

Una de las razones que ha permitido el incremento del consumo de flores comestibles se encuentra asociada con la presencia de compuestos biológicamente activos, los cuales poseen efectos benéficos en la salud (Benvenuti, Bortolotti & Maggini, 2016; Huang, Xu & Deng, 2014; Lee, Lee & Choung, 2009) que son ampliamente valorados por los consumidores que buscan un estilo de vida o conciencia saludable (Chen & Wei, 2017; Yang, Kang, Kim & Pak, 2014).

Entre los compuestos biológicamente activos se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas, cuyas propiedades antioxidantes son importantes porque inhiben los radicales libres que inducen el estrés oxidativo, por lo tanto, su consumo reduce el riesgo de enfermedades crónico-degenerativas (diabetes, deterioro cognitivo y algunos tipos de cáncer) y enfermedades cardiovasculares, entre otras (Loizzo *et al.*, 2016; Pires *et al.*, 2018; Zeng, Deng, Zhencheng & Peng, 2014). Las flores comestibles poseen una concentración variable de lípidos, proteínas, vitaminas, azúcares y minerales (Villavicencio *et al.*, 2018) que las hace aún más atractivas para su consumo como parte de ensaladas o como decoración de platillos de alto gourmet (Lara-Cortés *et al.*, 2014; Rop *et al.*, 2012).

En el manejo poscosecha de las flores e inflorescencias comestibles uno de los problemas más visibles se relaciona con su alta tasa de perecibilidad, debido a la falta de órganos de acumulación de fotoasimilados, alta sensibilidad a la temperatura ambiental y daño mecánico (Ahmad & Tahir, 2016; Zeng *et al.* 2014), donde las estructuras florales tienden a presentar cambios no solo en su apariencia externa (color y turgencia), sino también en su composición nutrimental (compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas, entre otros) y la capacidad antioxidante (Kaisoon, Siriamornpun, Weerapreeyakul & Meeso, 2011; Liu, Zhang, Wang & Niu, 2016). Es por ello que el estudio de la variación de dichos compuestos resulta de primordial importancia para determinar su magnitud y, también, la posibilidad de implementar métodos de conservación poscosecha que permitan mantener y conservar la calidad de las flores e inflorescencias para su uso como alimento (Mlcek & Rop, 2011; Rachkeeree *et al.*, 2018).

La dalia es una planta originaria de México que se encuentra agrupada por 39 especies silvestres en el género *Dhalia* que pertenece a la familia Asteraceae, las cuales poseen flores con gran diversidad de colores (rojo, púrpura, rosa, blanco y variegadas) (Lara-Cortés *et al.*, 2014; Ohno, Deguchi, Hosokawa, Tatsuzawa & Doi, 2013; Villaseñor & Redonda-Martínez, 2018).

El cultivo de la dalia se lleva a cabo principalmente para la producción de flores de corte, maceta y para la decoración de jardines (Younis *et al.*, 2014). Sin embargo, las flores de dalia presentan propiedades nutricionales y funcionales que las hacen susceptibles de ser empleadas para su consumo como alimento (Lara-Cortés *et al.*, 2013; Lara-Cortés, Troncoso-Rojas, Hernández-López & Bautista-Baños, 2016), no obstante, existen pocas referencias que abunden sobre este tema. La generación de información permitiría ampliar el estudio, aprovechamiento y rescate de especies silvestres, cuyo espacio natural de diversidad cada vez se encuentra más reducido y amenazado por otras actividades antropogénicas. Es por ello que el objetivo de esta investigación fue

determinar la calidad fisicoquímica, capacidad antioxidante y el valor nutricional de flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Material vegetal y ubicación del experimento

El experimento se realizó en 2016 en el Laboratorio de Frutales y de Usos Múltiples del Departamento de Fitotecnia en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). El material vegetal consistió de inflorescencias formadas por flores liguladas y tubulares (capítulos o cabezuelas) de cuatro especies silvestres (*D. brevis*, *D. merckii*, *D. coccinea* y *D. campanulata*) y una cultivada (testigo) (*D. x hortorum*), cosechadas en agosto de 2016 del Campo Agrícola Experimental “San Martín” (UACH), ubicado a 19°29'23" LN y 98° 53'37" LO, a una altitud de 2246 m y temperatura media anual de 15.6 °C. Las inflorescencias fueron cosechadas cuando los estambres se encontraban expuestos en la primera hilera de flores tubulares del capítulo y con tallo de 25 cm, los cuales fueron colocados en recipientes de vidrio con agua común por un periodo de cinco días a temperatura ambiente (20 ± 2 °C).

Las flores líguladas fueron separadas del capítulo y clasificadas de acuerdo al color, para ello se empleó un colorímetro de esfera SP62® (X-Rite, USA) para obtener los parámetros L^* (luminosidad), C^* (croma o pureza) y h° (tono). El color de las flores liguladas de las especies silvestres fueron: violeta (*D. brevis*) L^* 40.47, C^* 33.21, h° 304.48, violeta (*D. merckii*) L^* 50.93, C^* 27.75, h° 306; naranja (*D. coccinea*) L^* 35.85, C^* 63.49, h° 52.66, blanco con ligera tonalidad morada (*D. campanulata*) L^* 74.91, C^* 5.37, h° 338.50), mientras que, para la especie cultivada (*D. x hortorum*) fueron: cereza L^* 10.46, C^* 20.18, h° 15.91; amarillo L^* 80.28, C^* 93.79, h° 93.79; blanco L^* 81.52, C^* 20.19, h° 95; púrpura L^* 26.92, C^* 45.09, h° 332.92 y rojo L^* 24.56, C^* 39.56, h° 25.22 (Figura 14).

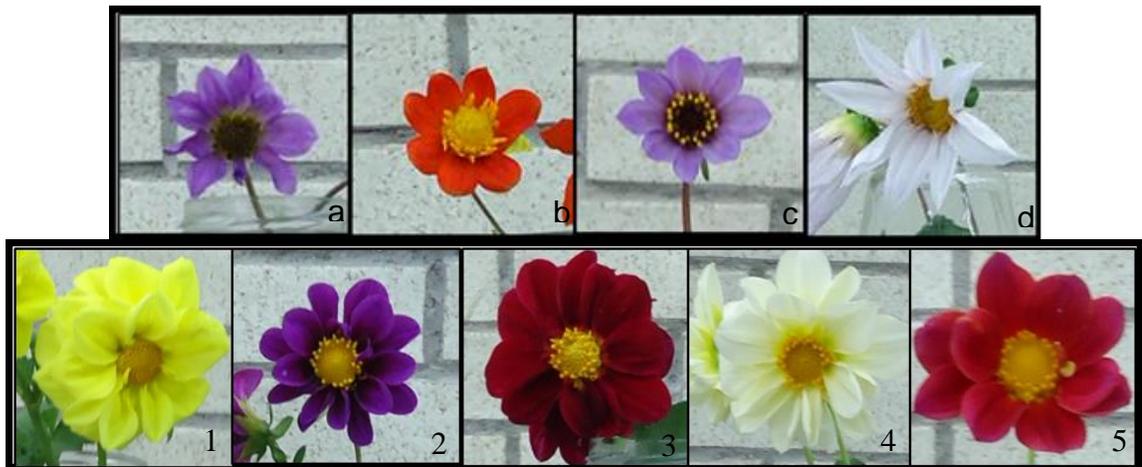


Figura 14. Color de las flores liguladas de las especies silvestres de dalia: a) *D. brevis*, b) *D. coccinea*, c) *D. merckii*, d) *D. campanulata*; así como la especie cultivada de dalia (*D. x hortorum*) (1-5).

4.4.2 Manejo del cultivo

La multiplicación y obtención del material vegetal se inició en el mes de marzo de 2016 con la siembra en invernadero de las raíces tuberosas, obtenidas del ciclo anterior, en cajas con turba (peat moss) y cuyos brotes emergieron a los 15 días. El trasplante en campo se realizó en el mes de abril del 2016, donde la distancia entre plantas e hileras fue de 0.6 y 0.8 m, respectivamente, con excepción de la especie silvestre *D. campanulata*, cuya distancia entre plantas fue de 1.0 m. El suministro de agua se realizó mediante un sistema de riego por goteo de 1 a 2 veces por semana con un gasto de 0.5 a 3.5 L planta⁻¹, en función de la temperatura ambiental, humedad relativa y etapas fenológicas del cultivo. La fertilización se realizó con base en un análisis previo de fertilidad del suelo y se utilizó la fórmula general de fertilización 120-0-200, la cual se fraccionó al trasplante y previo al inicio de floración, no se incluyó el fósforo porque la aportación del suelo cubrió el requerimiento del cultivo. El control de malezas y algunas prácticas de manejo del cultivo como el aporque se llevaron a cabo de forma manual.

4.4.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones, donde la unidad experimental consistió de un conjunto de tres recipientes (cada recipiente con 0.5 L de agua de llave) con tres flores con tallo de 25 cm. Las evaluaciones se realizaron a los 1, 3 y 5 días (periodo de florero). Se evaluó peso fresco, acidez titulable, sólidos solubles totales, vitamina C, color, fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante, así como, la composición proximal (humedad, materia seca, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, carbohidratos totales y cenizas).

4.4.4 Parámetros evaluados

Peso fresco: Las flores liguladas frescas se separaron en forma manual del capítulo y se procedió a obtener el dato de peso en una balanza analítica EX125D de la Serie Explorer[®] Semi Micro (Ohaus, USA) con capacidad máxima y lectura mínima de 51 y 0.01 g, respectivamente. Los resultados se expresaron en g de peso fresco.

Acidez titulable (AT) y Sólidos solubles totales (SST). Los parámetros de AT y SST se obtuvieron de acuerdo con la metodología de la AOAC (2000), mediante la maceración y obtención de jugo de 1 g de flores liguladas. Para la evaluación del porcentaje de ácido gálico se tomó una alícuota de 5 mL que fueron neutralizados con NaOH 0.01 N, utilizando fenolftaleína al 1% como indicador. Los SST se cuantificaron con un refractómetro digital manual PAL-1 (Atago[®], Japón).

Vitamina C (VC): Se realizó mediante el método descrito por Jagota y Dani (1982), con ligeras modificaciones. A 1 g de muestra se le agregaron 5 mL de ácido tricloroacético al 10%, posteriormente se homogenizó y agitó vigorosamente por 5 min en frío (hielo), se procedió a centrifugar por 5 min a 20,000 x g y 5 °C. Posteriormente se tomó una alícuota de 400 µL del sobrenadante de cada muestra, se adicionaron 2.2 mL de agua bidestilada y 400 µL del reactivo Folin-Ciocalteu al 10% (v:v). La mezcla se agitó vigorosamente durante 15 s y se dejó reposar por 10 min, para posteriormente realizar la lectura

de absorbancia a 760 nm mediante el espectrofotómetro Genesys 10-S™ (Thermo scientific, USA). La concentración se expresó en mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹ de peso fresco, mediante la calibración de una curva estándar de ácido ascórbico.

Color: Su determinación se realizó sobre la zona ecuatorial del lado interno de la flor ligulada mediante un colorímetro de esfera SP62® (X-Rite, USA) para obtener los parámetros L* que indica luminosidad, en el intervalo de 0 a 100 (negro a blanco), C* que expresa el croma (saturación, intensidad, pureza) y h° que indica el ángulo *hue* (tono, en el intervalo de 0 a 360°). Los valores de dichos parámetros fueron indicados directamente por el equipo, por lo que no fue necesario hacer cálculos adicionales.

Fenoles totales (FT): La determinación de FT se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994), para ello se tomaron 0.2 g de muestra fresca y se le adicionaron 5 mL de alcohol etílico absoluto al 70% (v:v), de este extracto se tomaron 50 µL al que se le adicionaron 7.950 mL de agua destilada y 500 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (2N), la mezcla se agitó y dejó reposar durante 8 min. Posteriormente se agregaron 1.5 mL de Na₂CO₃ al 20% (p:v), se agitó y dejó reposar durante 2 h en condiciones de oscuridad total a temperatura ambiente (22 ± 1 °C). Se tomó el valor de absorbancia (760 nm) de la mezcla con un espectrofotómetro Genesys 10-S™ (Thermo scientific, USA). La concentración de fenoles totales se expresó como mg de ácido gálico g⁻¹ de peso fresco.

Flavonoides totales (FIT): Los FIT se determinaron de acuerdo con el método descrito por Loizzo *et al.* (2016) con ligeras modificaciones. Se tomó 1 g de muestra y se le agregaron 5 mL de metanol, se homogenizó y se mantuvo a temperatura ambiente hasta la evaporación del metanol y secado del extracto. Posteriormente a 0.01 g del extracto seco se le agregaron 5 mL de agua destilada y se agitó por 20 min. Se tomaron 650 µL y se agregaron 75 µL de NaNO₂ a 5% dando 6 min de agitación seguido por 6 min de reposo, se agregaron 150 µL de

AlCl₃ a 10% dando 4 min de agitación seguido por 5 min de reposo, después se agregaron 500 µL de NaOH (1M) y 1150 µL de agua destilada. A continuación, se tomó la lectura de absorbancia a 510 nm con un espectrofotómetro Genesys 10-S™ (Thermo scientific, USA). La concentración de flavonoides totales se expresó como mg de quercetina g⁻¹ de extracto seco.

Antocianinas totales (AnT): El contenido de AnT se determinó con el método de pH diferencial descrito por Giusti y Wrolstad (2001), para ello se tomaron 0.2 g de muestra y se homogenizaron con 10 mL de alcohol etílico absoluto al 80% (v:v). Posteriormente se tomaron por separado muestras de 800 µL del extracto, a una muestra se le agregó 3.2 mL de solución amortiguadora pH= 1 (KCl 0.025 M) y a otra 3.2 mL de solución amortiguadora pH=4.5 (CH₃CO₂Na 3H₂O 0.4 M). Se tomó la lectura de absorbancia de cada mezcla a 510 y 700 nm en un espectrofotómetro Genesys 10-S™ (Thermo scientific, USA). Así mismo, se determinó la absorbancia total (At) de la muestra a partir de la fórmula: $At = [(A_{510} - A_{710})_{pH = 1.0}] - [(A_{510} - A_{700})_{pH = 4.5}]$. La concentración de antocianinas totales se calculó de acuerdo con la fórmula:

$$AnT = \frac{(At) (PM) (FD) (100)}{(\epsilon \times l)}$$

donde, AnT es antocianinas totales (cianidina-3-glucósido, mg 100 g⁻¹), At es la absorbancia total, PM es el peso molecular (449.2 g mol⁻¹), FD es el factor de dilución (1) y ε es la absorbancia molar (26900). Los resultados se expresaron en mg de cianidina-3-glucósido por 100 g⁻¹ de peso fresco.

Análisis proximal: El análisis proximal de las flores liguladas se realizó de acuerdo con la metodología de la AOAC (2000). Los resultados se reportaron en porcentaje de base seca.

Capacidad antioxidante (CA): Su determinación se realizó con el método ABTS (2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico) modificado por Ozgen *et al.*

(2006) para lo cual el radical ABTS^{•+} se formó tras la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2.45 mM, concentración final) incubados a temperatura ambiente y en oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical ABTS^{•+} este se diluyó con PBS (solución buffer de fosfato) (pH 7.4) hasta obtener un valor de absorbancia de 0.7 ± 0.1 a 734 nm (longitud de máxima absorción). Se tomaron 0.2 g de muestra y se homogenizaron con 5 mL de alcohol etílico absoluto al 70% (v:v) de este extracto se tomaron 20 μ L al que se le adicionaron 3.98 mL de la solución ABTS^{•+}, dejándose reposar por 2 h, se realizó la lectura de absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron como capacidad antioxidante equivalente a vitamina C (mg CAEVC g⁻¹ de peso fresco).

Análisis estadístico: Para el análisis de los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación múltiple de medias de Tukey ($p < 0.05$), en la que se empleó el programa estadístico SAS, versión 9.0.

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 Calidad fisicoquímica

Los resultados de peso fresco y acidez titulable se muestran en el Cuadro 6. Al día 1 de corte, se observó que las flores liguladas (cereza, amarilla y blanca) de *D. x hortorum* presentaron los valores más altos de peso fresco con 1.56, 1.54 y 1.75 g, respectivamente, y resultaron estadísticamente iguales a lo mostrado por las flores líguladas rojas (1.29 g) de la misma especie. Para el día 3, las flores líguladas cereza y blanca fueron las más sobresalientes, con una tendencia a incrementar los valores de peso con respecto al día 1, mientras que al quinto día este comportamiento se revirtió y las de mayor peso fueron las de color cereza, amarillo y blanco. Resultados con tendencias similares son reportados en diversas especies como *Iris versicolor* (Ahmad & Tahir, 2016), *Gerbera jamesonii* (Babarabie, Zarei & Varasteh, 2016), *Nicotiana plumbaginifolia* (Nisar, Tahir, Ahmad & Dar, 2017), *Lilium* spp. y *Rosa hybrid* (Ren *et al.*, 2017).

La acumulación de ácido gálico en el día 1 fue mayor para *D. brevis*, *D. merckii* y *D. coccinea* (1.40, 1.21 y 1.27%, respectivamente), no obstante, para el día 3 disminuyó y volvió a incrementarse para el día 5 con 2.89, 2.71 y 3.08%, respectivamente, mientras los valores más bajos se presentaron en la especie cultivada (*D. x hortorum*) en las flores liguladas color amarillo, blanco y cereza para los días 1, 3 y 5, respectivamente.

Cuadro 6. Cambios en los valores medios de peso fresco y acidez titulable evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.

Especie	Peso fresco (g)			Acidez titulable (% ácido gálico)		
	Días en florero			Días en florero		
	1	3	5	1	3	5
<i>D. brevis</i>	0.23 d ^z	0.31 e	0.09 d	1.40 a	0.58 bcd	2.89 a
<i>D. merckii</i>	0.17 d	0.22 e	0.10 d	1.21 a	0.74 ab	2.71 a
<i>D. coccinea</i>	0.19 d	0.26 e	0.08 d	1.27 a	0.86 a	3.08 a
<i>D. campanulata</i>	0.67 cd	0.85 d	0.41 cd	0.63 bc	0.43 d	1.41 b
<i>D. x hortorum</i> :						
cereza	1.56 a	2.01 ab	1.98 a	0.68 bc	0.55 bcd	0.60 c
amarilla	1.54 a	1.76 bc	1.51 ab	0.43 c	0.49 bcd	0.73 bc
blanca	1.75 a	2.28 a	1.78 a	0.65 bc	0.43 d	1.06 bc
purpura	0.85 bc	1.02 d	0.64 cd	0.83 b	0.69 abc	0.84 bc
roja	1.29 ab	1.65 c	0.99 bc	0.59 bc	0.46 cd	0.79 bc
DMSH ^y	0.52	0.35	0.61	0.35	0.26	0.69
CV (%)	27.02	14.64	34.80	19.45	21.35	21.03

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación.

En este estudio, la concentración de SST fluctuó entre 0.06 y 0.24 °Brix, y destacaron las flores liguladas color cereza, amarillo, blanco y rojo de *D. x hortorum*, entre las especies silvestres hubo diferencias significativas y el valor más alto lo presentó *D. coccinea* (Cuadro 7). Se observó una disminución de los SST al final del periodo de florero (día 5) o hacia la senescencia, resultados con

tendencia similar fueron reportados en flores de *Gerbera jamesonii* (Babarabie *et al.*, 2016) y en las variedades “Red Sky” y “Blizzard” de rosal, comportamiento que puede ser atribuido al consumo de las reservas almacenadas como sustrato para respiración y la inhabilidad para sustituirlas debido a la disminución en la absorción de agua o solución a medida que transcurre el tiempo en florero (Gebremedhin, Tesfaye, Mohammed & Tsegay, 2013), lo que conduce a una disminución de azúcares hacia la senescencia como fue reportado en flores de *Iris versicolor* (Ahmad & Tahir, 2016).

Entre los componentes nutricionales presentes en las flores liguladas de dalia, se encuentra la vitamina C, cuyo contenido fue mayor en *D. coccinea* en los días 1, 3 y 5 (89.67, 76.95 y 88.58 mg AA 100 g⁻¹, respectivamente), mientras que los valores más bajos se encontraron en *D. merckii* (29.90, 18.96, y 25.14 mg AA 100 g⁻¹, respectivamente) y *D. x hortorum* con flores líguladas purpura (21.56, 20.19 y 21.18 mg AA 100 g⁻¹, respectivamente) (Cuadro 7). Estos resultados superan los 0.5 µg de AA g⁻¹ de lígula reportados por Lara-Cortés *et al.* (2014) para diferentes variedades y colores de dalia. Por otra parte, Weixing *et al.* (2017) estudiaron 46 cultivares de *Paeonia lactiflora* y encontraron en pétalos un contenido de ácido ascórbico de 9.77 a 30.24 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, que pueden ser comparables a los valores más bajos encontrados en esta investigación.

La variación en vitamina C se encuentra determinada por un balance entre biosíntesis y degradación, así como, entre reducción y oxidación (Huang, *et al.*, 2014), esto como parte del papel que juega esta vitamina como antioxidante hidrosoluble y las condiciones en la que se desarrolla la planta u órgano en poscosecha (Kaisoon *et al.*, 2011). El ácido ascórbico es reconocido por su propiedad antioxidante en las plantas y es una vitamina esencial para los humanos (Landi, Ruffonib, Combournacc & Guidia, 2018).

Cuadro 7. Contenido de sólidos solubles totales y vitamina C evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.

Especie	Sólidos Solubles Totales (°Brix)			Vitamina C (mg AA 100 g ⁻¹ p.f.)		
	Días en florero			Días en florero		
	1	3	5	1	3	5
<i>D. brevis</i>	0.10 b ^z	0.12 b	0.06 b	31.16 ef	26.11 e	27.3 f
<i>D. merckii</i>	0.10 b	0.10 b	0.08 ab	29.90 f	18.96 f	25.14 fg
<i>D. coccinea</i>	0.14 ab	0.16 ab	0.12 ab	89.67 a	76.95 a	88.58 a
<i>D. campanulata</i>	0.10 b	0.16 ab	0.10 ab	39.79 d	35.52 d	39.34 de
<i>D. x hortorum</i>						
cereza	0.20 a	0.16 ab	0.10 ab	60.67 b	42.34 b	48.95 b
amarilla	0.20 a	0.24 a	0.14 a	42.47 d	36.79 cd	42.28 cd
blanca	0.14 ab	0.24 a	0.10 ab	34.72 e	33.20 d	36.43 e
purpura	0.18 a	0.10 b	0.06 b	21.56 g	20.19 f	21.18 g
roja	0.20 a	0.18 ab	0.10 ab	48.61 c	41.13 bc	46.54 bc
DMSH ^y	0.08	0.10	0.08	3.65	4.56	5.22
CV (%)	25.15	28.32	39.77	3.96	5.94	5.99

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación. ^xAA = ácido ascórbico, p.f. = peso fresco.

El color de las estructuras florales constituye una de las características más importantes con respecto al manejo poscosecha de flores cortadas (Zhang *et al.*, 2015). En este trabajo la luminosidad de color (L*) en los días 1, 3 y 5 fue mayor para la especie cultivada *D. x hortorum* con flores amarillas (80.28, 84.49 y 87.52, respectivamente) y blancas (81.52, 82.47 y 89.11, respectivamente), mientras que las de color cereza mostraron la menor luminosidad (10.46, 22.29 y 16.12, respectivamente) (Cuadro 8), lo que se asocia con la absorción de un mayor intervalo de longitudes de onda de luz, dada su apariencia más oscura, ya que de acuerdo con Deguchi, Ohno, Hosokawa, Tatsuzawa y Doi (2013), valores bajos del componente L* contribuyen a la visualización de colores más oscuros y a una alta concentración de pigmentos (antocianinas y carotenoides) (Hinojosa-Gómez *et al.*, 2018).

La pureza de color (C^*) presentó el valor más alto en las flores amarillas de *D. x hortorum* para los días 1, 3 y 5 (93.79, 90.47 y 94.24, respectivamente), seguida por *D. coccinea* (63.49, 70.64 y 55.61, respectivamente), mientras que los valores más bajos se observaron en *D. campanulata* (5.37, 5.92 y 5.05, respectivamente) (Cuadro 8). Ohno *et al.* (2013) al analizar variedades con diferentes colores, encontraron que las variedades claras (blancas) mostraron los valores más altos de L^* y más bajos C^* , lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación. Por otro lado, valores más altos de C^* son por lo general más atractivos para el ojo humano (Yang *et al.*, 2014).

La especie *D. campanulata* mostró las flores liguladas con mayor tonalidad de color (h°), para los días 1, 3 y 5 del periodo de florero, con valores de 338.50, 345.46 y 350.74, respectivamente, seguida por *D. x hortorum* con flores liguladas color púrpura (332.92, 333.63 y 318.92, respectivamente), mientras que, los valores más bajos se registraron en *D. x hortorum* con flores liguladas cereza (15.91, 20.56 y 22.05, respectivamente) (Cuadro 8). La variabilidad con respecto a la tonalidad de color puede ser explicada por las mismas diferencias de color en cada especie analizada, consecuencia de la concentración de pigmentos como las antocianinas y flavonoles, tal como lo indica Liu *et al.* (2016) para flores de 10 especies de *Rhododendron*. Así mismo, es importante señalar que el color es uno de los atributos más importantes para la selección y uso como alimento (Lee *et al.*, 2009; Lara-Cortés *et al.*, 2016) y su conservación se encuentra influenciada por gran diversidad de factores, entre ellos el genotipo y las condiciones de manejo en poscosecha (Ren *et al.*, 2017), sin embargo, la baja concentración de carbohidratos acelera la degradación de pigmentos, lo cual influye en la decoloración de las flores cortadas (Azuma, Onozaki & Ichimura, 2019; Li, Lu, Tang & Shi, 2015).

Cuadro 8. Componentes de color (L^* , C^* y h°) evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.

Especie	Luminosidad (L^*)		
	Días en florero		
	1	3	5
<i>D. brevis</i>	40.47 d ^z	55.86 d	51.18 c
<i>D. merckii</i>	50.93 c	60.64 c	54.44 c
<i>D. coccinea</i>	35.85 e	46.07 e	42.42 d
<i>D. campanulata</i>	74.91 b	76.47 b	73.29 b
<i>D. x hortorum</i> :			
cereza	10.46 g	22.29 g	16.12 f
amarillo	80.28 a	84.49 a	87.52 a
blanco	81.52 a	82.47 a	89.11 a
purpura	26.92 f	27.11 f	29.15 e
rojo	24.55 f	27.12 f	29.46 e
DMSH ^y	4.14	4.42	5.90
CV (%)	4.19	3.95	5.39
	Pureza (C^*)		
<i>D. brevis</i>	33.21 d	28.27 d	19.70 e
<i>D. merckii</i>	27.75 d	18.31 e	16.86 e
<i>D. coccinea</i>	63.49 b	70.64 b	55.61 b
<i>D. campanulata</i>	5.37 f	5.92 f	5.05 f
<i>D. x hortorum</i> :			
cereza	20.18 e	42.55 c	35.34 d
amarillo	93.79 a	90.47 a	94.24 a
blanco	20.19 e	15.96 e	16.76 e
purpura	45.09 c	40.94 c	44.86 c
rojo	39.56 c	41.09 c	48.49 c
DMSH	6.26	4.09	4.99
CV (%)	7.75	4.98	6.40
	Tonalidad (h°)		
<i>D. brevis</i>	304.48 c	314.05 c	307.21 c
<i>D. merckii</i>	306.00 c	315.30 c	310.37 c
<i>D. coccinea</i>	52.66 e	53.95 e	61.28 f
<i>D. campanulata</i>	338.50 a	345.46 a	350.74 a
<i>D. x hortorum</i> :			
cereza	15.91 g	20.56 g	22.05 h
amarillo	93.79 d	96.72 d	94.72 e
blanco	95.00 d	97.85 d	100.07 d
purpura	332.92 b	333.63 b	318.92 b
rojo	25.22 f	33.04 f	32.34 g
DMSH ^y	4.79	6.15	4.03
CV (%)	1.32	1.65	1.09

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación.

La especie silvestre *D. coccinea* mostró los valores estadísticamente más altos de FT en los días 1, 3 y 5 del periodo de florero (15.29, 12.87 y 19.92 mg AG g⁻¹ de peso fresco, respectivamente) con tendencia a disminuir en el día 3 donde fue similar a las flores liguladas purpura de *D. x hortorum* (12.02 mg AG g⁻¹), además, se observó un incremento de FT para el día 5 (Cuadro 9). Un comportamiento similar fue observado por Ahmad y Tahir (2017) en flores del género *Iris*, (*I. germanica* y *I. kashmiriana*), el cual los autores asocian con fallas en la redistribución de estos compuestos entre órganos, así como al incremento en su síntesis como mecanismo de defensa para retrasar la senescencia, ya que, de acuerdo con Zeng *et al.* (2014) estos compuestos poseen habilidad para inhibir la actividad de los radicales libres.

El contenido de FT en *D. coccinea* fue menor al reportado por Navarro-González *et al.* (2015) en flores de *Tagetes erecta* (26.63 mg AG g⁻¹), sin embargo, coinciden en que el color naranja de las flores presentó los valores más altos. Estos resultados concuerdan con la mayor concentración de FT encontrada en flores color naranja de *Tropaelum majus* (907.05 ± 10.36 mg AG g⁻¹ peso seco) con respecto a las rojas y amarillas (799.35 ± 10.77 y 442.02 ± 5.09 mg AG g⁻¹ peso seco, respectivamente) (Arellano *et al.*, 2015).

Por su parte, Lara-Cortés *et al.* (2014) reportaron el mayor contenido de FT en flores purpura de dalia (127.5 mg AG g⁻¹ peso seco) y señalan al ácido gálico y cafeico como los compuestos predominantes entre flores de diferente color, mientras que, Pires *et al.* (2018) encontraron en *Dahlia mignon* una mayor abundancia de ácido clorogénico. La especie *D. campanulata* registró el menor contenido de FT (1.66 - 2.55 mg AG g⁻¹), que son cercanos a los reportados por Rop *et al.* (2012) en 12 especies con flores comestibles, entre ellas, *Dianthus caryophyllus*, *Tagetes patula*, *Rosa odorata*, *Fuchsia x hybrida* y *Viola x wittrockiana* (2.53 - 5.11 g AG kg⁻¹ de peso fresco). Los compuestos fenólicos han recibido considerable atención, debido a su actividad antioxidante y habilidad para inhibir los radicales libres, lo cual tiene implicaciones benéficas en la salud humana (Kaisson *et al.*, 2011).

Durante el periodo de evaluación, el mayor contenido de flavonoides totales se observó en la especie silvestre *D. coccinea* (8.15, 6.78 y 11.32 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco), seguida por *D. x hortorum* con flores color cereza y amarillo (Cuadro 9). Estos resultados son comparables a los reportados por Loizzo *et al.* (2016) en flores comestibles de *C. spinosa* y *H. coronarium* (5.8 y 8.0 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco, respectivamente) pero inferiores a los de *S. nigra* (23.6 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco), además al estudiar ocho flores comestibles, estos autores encontraron que rutina y quercetina fueron los principales flavonoides.

Cuadro 9. Cambios en la concentración de fenoles y flavonoides totales evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.

Especie	Fenoles totales (mg AG g ⁻¹ p.f.) ^x			Flavonoides totales (mg quercetina g ⁻¹ de extracto seco)		
	Días en florero			Días en florero		
	1	3	5	1	3	5
<i>D. brevis</i>	11.91 c ^z	7.26 c	10.23 f	1.82 cd	1.23 ef	1.72 d
<i>D. merckii</i>	10.60 de	7.02 c	8.03 g	1.03 d	0.69 f	0.90 e
<i>D. coccinea</i>	15.29 a	12.87 a	19.92 a	8.15 a	6.78 a	11.32 a
<i>D. campanulata</i>	1.66 g	1.25 d	2.55 h	1.02 d	0.76 f	1.47 de
<i>D. x hortorum:</i>						
cereza	12.06 bc	10.77 b	11.70 cd	7.29 a	5.18 b	7.17 b
amarilla	9.81 e	9.93 b	12.36 c	7.82 a	6.23 a	7.52 b
blanca	6.98 f	7.08 c	10.36 ef	1.90 cd	1.81 de	2.04 d
purpura	13.11 b	12.02 a	13.94 b	2.00 c	1.94 d	2.08 d
roja	11.41 cd	7.10 c	11.02 de	4.21 b	4.12 c	4.55 c
DMSH ^y	1.11	0.94	0.77	0.94	0.60	0.81
CV (%)	5.17	5.37	3.31	11.56	9.04	9.01

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación. ^xAG = ácido gálico, p.f. = peso fresco.

El mayor contenido de flavonoides en *D. coccinea* cuyas flores son color naranja confirma que dicho color está relacionado con los flavonoides (Li *et al.*, 2015), al igual que el color amarillo de las flores de distintas plantas comestibles (Kaisoon *et al.*, 2011). El contenido más bajo de flavonoides en los días 1, 3 y 5 del periodo de florero se encontró en *D. merckii* (1.03, 0.69 y 0.90 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco, respectivamente) y *D. campanulata* (1.02, 0.76 y 1.47 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco, respectivamente).

Todas las especies de dalia presentaron, durante el periodo de florero, una tendencia a disminuir y luego a aumentar el contenido de flavonoides, un comportamiento similar se reporta en flores de tres cultivares de *Paeonia lactiflora* (Zhao, Tao, Han & Ge 2012). Por otra parte, Pires *et al.* (2018) reportaron en *Dahlia mignon* diversos flavonoides entre los que se encuentran quercetina, naringenina, kaempferol y apigenina.

Tal como se observa en el Cuadro 10, la especie cultivada (*D. x hortorum*) de flores liguladas color cereza presentó el mayor contenido de antocianinas en los días 1, 3 y 5 (14.74, 12.03 y 11.97 mg de cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹, respectivamente). Estos resultados fueron menores a los reportados por Garzón, Manns, Riedl, Schwartz y Padilla-Zakour (2015) en flores color naranja y rojo de *Tropaelum majus* (108.8 y 168.0 mg de cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹, respectivamente), sin embargo, son similares con los obtenidos por Benvenuti *et al.* (2016) en flores rojas de *Dianthus x barbatus*, *Pelargonium peltatum* y *Viola x wittrockiana* (13.3, 12.5 y 12.4 mg cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹, respectivamente).

La menor concentración de antocianinas, en los días 1, 3 y 5 del periodo de florero, se presentó en *D. x hortorum* con flores color blanco (0.09, 0.07 y 0.06 mg cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹, respectivamente) y color amarillo (0.24, 0.11 y 0.10 mg de cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹, respectivamente), y en la especie silvestre *D. campanulata* (0.26, 0.24 y 0.43 mg cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹, respectivamente). Estos resultados fueron menores a los obtenidos por Ohno *et*

al. (2013) en *Dahlia variabilis* con flores color púrpura intenso (0.7-1.0 mg 100 mg⁻¹ de pétalos), y con flores color púrpura de menor intensidad (0.3-0.4 mg 100 mg⁻¹ de pétalos), de acuerdo con estos autores, el contenido de antocianinas determinó la intensidad del color de las flores. Lara-Cortés *et al.* (2014) encontraron en flores de dalia color púrpura el contenido más alto de antocianinas totales (257.5 mg 100 g⁻¹), mientras que las flores color blanco y amarillo presentaron el contenido más bajo, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación donde las flores de color más intenso registraron mayor contenido de antocianinas que las flores blancas o claras. El contenido de antocianinas puede ser afectado por condiciones de estrés medioambiental, aspectos genéticos, la variedad y el manejo agronómico (Lee *et al.*, 2009), además, el contenido de antocianinas totales varía a través de los estados de floración (Younis *et al.*, 2014). Las antocianinas son el principal factor asociado con el color en muchas plantas, y son importantes como protección contra daños de radiación UV y en la atracción de polinizadores (Zhang *et al.*, 2015).

La especie silvestre *D. coccinea* destacó por su capacidad antioxidante en los días 1, 3 y 5 del periodo de florero (57.32, 47.28 y 60.43 mg CAEVC g⁻¹, respectivamente), seguida de la especie cultivada *D. x hortorum* con flores liguladas color rojo (34.99, 22.75 y 39.68 mg CAEVC g⁻¹, respectivamente) (Cuadro 10). La mayor capacidad antioxidante observada en *D. coccinea*, cuyas flores son color naranja, concuerda con los resultados obtenidos por Benvenuti *et al.* (2016) quienes encontraron mayor actividad antioxidante en flores color naranja de *Tagetes erecta* (70.42 mmol FeSO₄ 100 g⁻¹) seguida por las flores color rojo de *Fuchsia hybrida*, *Dianthus x barbatus*, *Viola x wittrockiana* y *Pelargonium peltatum* (47.52, 38.67, 36.55 y 34.78 mmol FeSO₄ 100 g⁻¹, respectivamente). Un comportamiento similar fue reportado por Arellano *et al.* (2015) al estudiar flores de *Tropaelum majus* donde las flores color naranja presentaron mayor capacidad antioxidante (DPPH: 3928.226 µM TE g⁻¹; ABTS: 622.92 µM TE g⁻¹ de muestra seca) con relación a las flores rojas y amarillas.

Así mismo, los valores más bajos de CA en los días 1, 3 y 5 se encontraron en *D. campanulata* (7.24, 6.82 y 11.79 mg CAEVC g⁻¹, respectivamente), resultado que fue similar con lo reportado por Rop *et al.* (2012), quienes encontraron una capacidad antioxidante total en flores comestibles de 12 especies de plantas en un intervalo de 4.21 a 6.96 g de equivalentes de ácido ascórbico kg⁻¹ de peso fresco. En este sentido, Benvenuti *et al.* (2016) señalan que el color de las flores se relaciona con la capacidad antioxidante, de tal manera que colores intensos (rojo y azul), son buenos indicadores de este parámetro, a diferencia del color blanco que se asocia con valores bajos, además, la capacidad antioxidante puede estar influenciada de diferente manera por los fitoquímicos presentes en las flores, de modo que una alta capacidad antioxidante puede ser principalmente a causa de carotenoides y no de antocianinas.

Cuadro 10. Cambios en la concentración de antocianinas totales y capacidad antioxidante evaluados en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.

Especie	Antocianinas totales ^x (mg de cianidina-3-glucósido 100 g ⁻¹ p.f.)			Capacidad antioxidante (mg CAEVC g ⁻¹ p.f.)		
	Días en florero			Días en florero		
	1	3	5	1	3	5
<i>D. brevis</i>	2.24 d ^z	1.87 d	2.11 d	16.10 e	13.72 d	15.01 e
<i>D. merckii</i>	1.66 e	1.53 d	1.78 de	15.46 e	13.50 d	15.54 e
<i>D. coccinea</i>	1.31 f	1.17 e	1.52 e	57.32 a	47.28 a	60.43 a
<i>D. campanulata</i>	0.26 g	0.24 f	0.43 f	7.24 f	6.82 e	11.79 f
<i>D. x hortorum:</i>						
cereza	14.74 a	12.03 a	11.97 a	22.97 c	18.00 c	21.89 d
amarilla	0.24 g	0.11 f	0.10 fg	20.86	18.24 c	22.77 cd
blanca	0.09 g	0.07 f	0.06 g	15.11 e	13.60 d	15.60 e
purpura	5.17 b	4.94 b	5.02 b	19.97 d	18.59 c	23.08 c
roja	4.01 c	3.66 c	4.02 c	34.99 b	22.75 b	39.68 b
DMSH ^y	0.29	0.36	0.35	2.74	2.14	1.04
CV (%)	4.18	6.08	5.62	5.63	5.35	1.98

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). ^yDMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación. ^xp.f. = peso fresco, CAEVC = capacidad antioxidante equivalente a vitamina C.

4.5.2 Composición proximal

Los valores del análisis de la composición proximal de las flores liguladas se muestran en el Cuadro 11, primer paso cuando se evalúa el potencial nutricional de un alimento. En esta investigación, el contenido de humedad estuvo en el intervalo de 85.91 a 93.37%, donde *D. campanulata* presentó el valor más alto, mientras que *D. coccinea* mostró el contenido de humedad más bajo, comportamiento que confirma la relación directa entre H y MS, al ser *D. coccinea* sobresaliente en MS (14.09%). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Lara-Cortés *et al.* (2014) en flores de dalia (88 a 92% de humedad), y comparables con el % de humedad indicado en flores comestibles de *Tropoelium majus*, *Tagetes erecta* y *Spilanthus oleracea* (89.32, 83.39 y 81.74%, respectivamente) (Navarro-González *et al.*, 2015). Por su parte, Juárez-Rosete, Aguilar-Castillo, Aburto-González y Alejo-Santiago (2019) indican que la acumulación de materia seca se encuentra asociada con el aporte nutrimental durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, por lo que varía en función del tiempo.

El contenido de PC fue mayor en *D. x hortorum* con flores liguladas amarillas (16.18%) con respecto a las de color púrpura de la misma especie (11.94%). Entre las especies silvestres destacó *D. merckii* (14.77 %). En contraste, Lara-Cortés *et al.* (2014) reportan para flores de dalia valores entre 0.8-4.0%. Sin embargo, resultados similares fueron reportados en flores comestibles de *Agave salmiana*, *Arbutus xalapensis* y *Aloe vera* (16.4, 11.3 y 16.4 g 100 g⁻¹, respectivamente) (Lara-Cortés *et al.*, 2013).

Por otro lado, *D. brevis*, *D. merckii* y *D. campanulata* fueron las especies más sobresalientes con respecto al contenido de GC (3.31, 3.37 y 3.38%, respectivamente), mientras que el porcentaje más bajo fue para *D. x hortorum* con flores liguladas cerezas (1.55%). Estos resultados fueron ligeramente superiores a los reportados por Lara-Cortés *et al.* (2014) en flores de dalia (0.5-1.6%). Debido a que el componente principal de las flores es agua su contenido de grasa es mínimo (Fernandes *et al.*, 2018), por lo que son consideradas un

alimento con bajo nivel calorico (López-Cervantes *et al.*, 2018), recomendables para su consumo en personas con obesidad (Rachkeeree *et al.*, 2018).

El contenido de fibra cruda fluctuó entre 9.78 y 14.34%, y destacó *D. campanulata*, seguida por *D. x hortorum* con flores liguladas rojas (13.77%), mientras que el % más bajo fue para *D. coccinea*. Resultados similares fueron reportados por Lara-Cortés *et al.* (2013) en flores comestibles de *Agave salmiana*, *Euphorbia radians*, *Arbutus xalapensis* y *Aloe vera* (12.7, 12.6, 10.4, y 13.8 g 100 g⁻¹, respectivamente), por lo que podrían ser una buena alternativa como fuente de fibra para reducir el nivel de colesterol (Rachkeeree *et al.*, 2018) y favorecer la evacuación intestinal (Fernandes *et al.*, 2018).

De igual forma, la concentración de CT fue mayor en *D. coccinea* (68.64%), seguida por *D. x hortorum* con flores cereza y purpura (67.01 y 67.05%, respectivamente), mientras que el valor más bajo lo presentó *D. campanulata* (59.88%). Resultados similares reportaron López-Cervantes *et al.* (2018) en flores de *Aloe vera* (60.37 - 68.59%) y Campas-Baypoli *et al.* (2009) en inflorescencias de brócoli (65.13%), lo que indicó que los CT son el principal nutriente al representar más de 50% de peso seco total.

Con respecto a la presencia de cenizas, el mayor contenido se registró en *D. campanulata* (8.74%) seguida por *D. brevis* (7.29%) y superaron en 32.2 y 10.3%, respectivamente, al valor más alto de la especie cultivada *D. x hortorum* con flores liguladas color amarillo (6.61%), mientras que el contenido más bajo lo presentó *D. coccinea* (5.46 %). Resultados similares se encontraron en inflorescencias de brócoli (7.87%) (Campas-Baypoli *et al.*, 2009) y en *Agave salmiana*, *Erythrina americana*, *Euphorbia radians*, *Hibiscus sabdariffa*, *Arbutus xalapensis* y *Aloe vera* (5.8, 9.6, 9.4, 6.5, 6.9 y 8.6 g 100 g⁻¹, respectivamente) (Lara-Cortés *et al.*, 2013), y cuyas variaciones se pueden asociar con el estado nutrimental del suelo, especie, órgano de la planta y el momento de la cosecha (Campas-Baypoli *et al.*, 2009).

Cuadro 11. Composición proximal (%) en flores liguladas de algunas especies silvestres de dalia.

Especie	(%)							
	H ^x	MS	PC	GC	FC	CT	CEN	
<i>D. brevis</i>	88.84 h ^z	11.16 b	12.74 d	3.31 a	11.58 e	65.08 d	7.29 b	
<i>D. merckii</i>	89.53 g	10.47 c	14.77 b	3.37 a	11.30 ef	64.01 f	6.54 c	
<i>D. coccinea</i>	85.91 l	14.09 a	13.52 c	2.60 b	9.78 g	68.64 a	5.46 g	
<i>D. campanulata</i>	93.37 a	6.63 l	13.66 c	3.38 a	14.34 a	59.88 g	8.74 a	
<i>D. x hortorum:</i>								
cereza	89.85 f	10.15 d	14.35 b	1.55 e	11.18 ef	67.01 b	5.90 f	
amarilla	91.01 c	8.99 g	16.18 a	2.01 d	10.90 f	64.30 ef	6.61 c	
blanca	90.40 e	9.60 e	13.53 c	2.25 c	12.08 d	65.76 c	6.38 d	
purpura	90.54 d	9.46 f	11.94 e	2.16 cd	12.65 c	67.05 b	6.21 e	
roja	91.44 b	8.55 h	13.49 c	2.26 c	13.77 b	64.67 de	5.80 f	
DMSH ^y	0.05	0.05	0.45	0.16	0.47	0.52	0.13	
CV (%)	0.03	0.25	1.57	2.94	1.86	0.38	0.94	

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P < 0.05$); ^y DMSH = diferencia mínima significativa honesta, CV = coeficiente de variación, ^xH = humedad, MS = materia seca, PC = proteína cruda, GC = grasa cruda, FC = fibra cruda, CT = carbohidratos totales, CEN = cenizas, % = porcentaje en base a peso seco.

Correlación de Pearson: Los resultados del análisis de correlación de Pearson (Cuadro 12) mostraron correlación positiva de FT, FIT y VC con la CA (0.753, 0.754, 0.850, respectivamente), lo cual indicó que estos compuestos contribuyen de manera importante a la capacidad antioxidante y coincide con los resultados obtenidos en otros estudios (Derradji-Benmeziane, Djamai & Cadot, 2014; González-Barrio, Periago, Luna-Recio, Javier, Navarro-González, 2018; Navarro-González *et al.*, 2015; Xiong *et al.*, 2014). Por otra parte, no se encontró correlación entre AnT y CA, lo cual concuerda con el resultado encontrado en flores comestibles de *Tropaeolum majus*, *Tagetes erecta* y *Spilanthus oleracea* (Navarro-González *et al.*, 2015), ya que pueden contener mayor cantidad de otros flavonoides no determinados como flavonas, flavonoles y chalconas por lo que las AnT tienen una menor contribución a la CA (Hou, Pan & Zhang, 2014). En cuanto a los parámetros de color existió una correlación positiva entre FIT y C* (0.772), pero se encontró una correlación negativa entre h° con FIT (-0.779) y entre L* con AnT (-0.791), lo cual confirma que los flavonoides, en especial las

antocianinas se caracterizan por estar asociados al color de las flores (Zhu *et al.*, 2012).

Cuadro 12. Coeficiente de correlación de Pearson de parámetros de color, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en flores liguladas de algunas especies de dalia.

	L ^{*z}	C*	h°	VC	FT	FIT	AnT	CA
L*	1	-0.001	0.193	-0.188	-0.524**	-0.224	-0.791**	-0.396**
C*		1	-0.472**	0.389**	0.641**	0.772**	-0.074	0.540**
h°			1	-0.662**	-0.451**	-0.779**	-0.311*	-0.575**
VC				1	0.468**	0.820**	0.051	0.850**
FT					1	0.658**	0.298*	0.753**
FIT						1	0.234	0.754**
AnT							1	0.024
CA								1

^zL* = luminosidad, C* = croma (intensidad o saturación), h° = ángulo hue (tono), VC = vitamina C, FT = fenoles totales, FIT = flavonoides totales, AnT = antocianinas totales, CA = capacidad antioxidante. *,** significativo al 1 y 5 % respectivamente.

4.6 Conclusiones

Las especies silvestres *D. merckii* y *D. coccinea* mostraron un alto valor de AT, sin embargo, *D. coccinea* también presentó los valores más altos de VC (76.95-89.67 mg AA 100 g⁻¹ p.f.), FT (12.87-19.92 mg AG g⁻¹ p.f.), FIT (6.78-11.32 mg quercetina g⁻¹ de extracto seco) y CA (47.28-60.43 mg CAEVC g⁻¹ p.f.), lo cual muestra una mayor calidad nutracéutica de esta especie silvestre. El color de las flores está asociado con las antocianinas y la capacidad antioxidante con fenoles, flavonoides y vitamina C como un efecto sinérgico. El análisis de la composición proximal indicó que *D. campanulata* presentó un alto contenido de humedad (93.7%), además de grasa cruda, fibra cruda y cenizas (3.38, 14.34 y 8.74%, respectivamente); de igual manera, *D. coccinea* destacó por su contenido de materia seca (14.09%) y carbohidratos totales (68.64%). Las flores liguladas de dalias silvestres por su contenido de compuestos bioactivos y composición

nutrimental pueden ser usadas para consumo en fresco, sin embargo, su alta perecebilidad indica la necesidad de la implementación de métodos de conservación poscosecha. Además, la variabilidad detectada en el contenido de compuestos bioactivos da la posibilidad de hacer mejoramiento genético.

4.7 Literatura citada

- Ahmad, S. S., & Tahir, I. (2016). Increased oxidative stress, lipid peroxidation and protein degradation trigger senescence in *Iris versicolor* L. flowers. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 22 (4), 507-514, doi: 10.1007/s12298-016-0392-9.
- Ahmad, S. S., & Tahir, I. (2017). Regulatory role of phenols in flower development and senescence in genus *Iris*. *Indian Journal of Plant Physiology*, 22 (1), 135-140, <https://doi.org/10.1007/s40502-016-0278-4>.
- AOAC (2000). Official Method of Analysis of Association of Analytical Chemist International (17th ed.) Horowitz, M. D.
- Arellano L., K., Herrera R., J., Quispe S., M., Espinoza S., C., Veliz S., N., & Orihuela V., W. (2015). Evaluation of phenolic compounds and antioxidant capacity of three color petal cress (*Tropaeolum majus* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81 (14), 319-328.
- Azuma, M., Onozaki, T., & Ichimura, K. (2019). Effects of bacterial proliferation and soluble carbohydrate levels on the vase life of cut dahlia (*Dahlia variabilis*) Flowers. *The Horticulture Journal*, 88 (1), 106-115, doi: <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-176>.
- Babarabie, M., Zarei, H., & Varasteh, F. (2016). Physiological response of *Gerbera jamesonii* L. cut flowers to the cola and peppermint essence. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 6 (3), 1729-1736, doi: 10.22034/IJPP.2016.532688.
- Benvenuti, S., Bortolotti, E., & Maggini, R. (2016) Antioxidant power, anthocyanin content and organoleptic performance of edible flowers. *Scientia Horticulturae*, 199, 170-177, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.052>.
- Campas-Baypoli, O. N., Sánchez-Machado, D. I., Bueno-Solano, C., Núñez-Gastélum, J. A., Reyes-Moreno, C., & López-Cervantes, J. (2009). Biochemical composition and physicochemical properties of broccoli flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60 (4), 163-173, doi: 10.1080/09637480802702015.

- Chen, N. H., & Wei, S. (2017). Factors influencing consumers' attitudes towards the consumption of edible flowers. *Food Quality and Preference*, 56, 93-100, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.10.001>.
- Deguchi, A., Ohno, S., Hosokawa, M., Tatsuzawa, F., & Doi, M. (2013). Endogenous post-transcriptional gene silencing of flavone synthase resulting in high accumulation of anthocyanins in black dahlia cultivars. *Planta*, 237 (5), 1325-1335, doi: 10.1007/s00425-013-1848-6.
- Derradji-Benmeziane, F., Djamaï, R., & Cadot, Y. (2014). Antioxidant capacity, total phenolic, carotenoid, and vitamin c contents of five table grape varieties from algeria and their correlations. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 48, 153-162, doi: 10.20870/oenone.2014.48.2.1564.
- Fernandes, L., Ramalhosa, E, Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Casal, S. (2018). The unexplored potential of edible flowers lipids, *Agriculture*, 10 (8), 1-23, doi:10.3390/agriculture8100146.
- Garzón, G. A., Manns, D. C., Riedl, K., Schwartz, S. J., & Padilla-Zakour, O. (2015). Identification of phenolic compounds in petals of Nasturtium Flowers (*Tropaeolum majus*) by high performance liquid chromatography coupled to mass spectrometry and determination of oxygen radical absorbance capacity (ORAC). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (6), 1803-1811, doi: 10.1021/jf503366c.
- Gebremedhin, H., Tesfaye, B., Mohammed, A., & Tsegay, D. (2013). Influence of preservative solutions on vase life and postharvest characteristics of rose (*Rosa hybrid*) cut flowers. *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research*, 4 (8), 111-118, doi: 10.5897/IJBMBR2013.0171.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Wrolstad, R. E., Acree, T. E., An, H., Decker, E. A., Penner, M. H., Reid, D. S., Schwartz, S. J., Shoemaker, C. F., Sporns, P., Eds.; John Wiley & Sons, New York, USA, <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
- González-Barrio, R., Periago, M. J., Luna-Recio, C., Javier, G. -A. F., Navarro-González, I. (2018). Chemical composition of the edible flowers, pansy (*Viola x wittrockiana*) and snapdragon (*Antirrhinum majus*) as new sources of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 252, 373-380, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.01.102.
- Hinojosa-Gómez, J., San Martín-Hernández, C., Heredia, J. B., León-Félix, J., Osuna-Enciso, T., & Muy-Rangel, M. D. (2018). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivars calyx produced hydroponically: Physicochemical and nutritional quality. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78 (4), 478-485, <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392018000400478>.

- Hou, W., Pan, Y. Z., & Zhang, Y. (2014). Changes in quality, antioxidant compounds and DPPH radical-scavenging activity of *Rosa hybrida* flowers during development. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42 (1), 31-37, doi: 10.1080/01140671.2013.844718.
- Huang, M., Xu, Q., & Deng, X. X. (2014). L-Ascorbic acid metabolism during fruit development in an ascorbate-rich fruit crop chestnut rose (*Rosa roxburghii* Tratt). *Journal of Plant Physiology*, 171 (14), 1205-1216, doi: 10.1016/j.jplph.2014.03.010.
- Jagota, S., & Dani, H. (1982). A new colorimetric technique for the estimation of vitamina C using Folin phenol reagent. *Analytical Biochemistry*, 127 (1), 178-182, [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(82\)90162-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(82)90162-2).
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Aburto-González, C. A., & Alejo-Santiago, G. (2019). Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25 (1), 17-28, doi: 10.5154/r.rchsh.2018.02.006.
- 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.
- Landi, M., Ruffonib, B., Combournacc, L., & Guidia, L. (2018). Nutraceutical value of edible flowers upon cold storage. *Italian Journal of Food Science*, doi: <https://doi.org/10.14674/IJFS-756>.
- 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/r.rchsh.2013.07.024.
- Lara-Cortés, E., Osorio-Díaz, P., Jiménez-Aparicio, A., & Bautista-Baños, S. (2013). Contenido nutricional, propiedades funcionales y conservación de flores comestibles. Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 63(3), 197-208.
- Lara-Cortés, E., Troncoso-Rojas, R., Hernández-López, M., & Bautista-Baños, S. (2016). Evaluation of the antimicrobial activity of cinnamaldehyde in the preservation of edible dahlia flowers, under different storage conditions. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 22 (3), 177-189, doi: 10.5154/r.rchsh.2016.02.002.
- Lee, J. H., Lee, H. J., & Choung, M. G. (2009). Anthocyanin compositions and biological activities from the red petals of Korean edible rose (*Rosa hybrida* cv. Noblered). *Food Chemistry*, 129, 272-278, doi:10.1016/j.foodchem.2011.04.040.

- Li, X., Lu, M., Tang, D. & Shi, Y. (2015). Composition of carotenoids and flavonoids in narcissus cultivars and their relationship with flower color. *PLoS ONE*, 10 (11), doi:10.1371/journal.pone.0142074.
- Liu, L., Zhang, L. Y., Wang, S. L. & Niu, X. Y. (2016). Analysis of anthocyanins and flavonols in petals of 10 *Rhododendron* species from the Sygera Mountains in Southeast Tibet. *Plant Physiology and Biochemistry*, 104, 250-256, doi: 10.1016/j.plaphy.2016.03.036.
- Loizzo, M. R., Pugliese, A., Bonesi, M., Tenuta, M. C., Menichini, F., Xiao, J., & Tundis R. (2016). Edible flowers: a rich source of phytochemicals with antioxidant and hypoglycemic properties, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64 (12), 2467-2474, doi:10.1021/acs.jafc.5b03092.
- López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Cruz-Flores, P., Mariscal-Domínguez, M. F., Servín de la Mora-López, G., & Campas-Baypoli, O. N. (2018). Antioxidant capacity, proximate composition, and lipid constituents of *Aloe vera* flowers. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 10, 93-98, <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.02.004>.
- Mlcek, J. & Rop, O. (2011). Fresh edible flowers of ornamental plants - A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science Technology*, 22, 561-569, doi:10.1016/j.tifs.2011.04.006.
- Navarro-González, I., González-Barrio, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A. B., & Periago, M. J. (2015). Nutritional composition and antioxidant capacity in edible flowers: Characterisation of phenolic compounds by HPLC-DAD-ESI/MSn. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(1), 805-822, doi: 10.3390/ijms16010805.
- Nisar, S., Tahir, I., Ahmad, S., & Dar, R. (2017). Physiological and biochemical aspects of flower development and senescence in *Nicotiana plumbaginifolia* Viv., *Folia Horticulturae*, 29 (1), 25-31, doi: <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0003>.
- Ohno, S., Deguchi, A., Hosokawa, M., Tatsuzawa, F., & Doi, M. (2013). A basic helix-loop-helix transcription factor *Dv1VS* determines flower color intensity in cyanic dahlia cultivars. *Planta*, 238, 331–343, doi: 10.1007/s00425-013-1897-x.
- Ozgen, M., Reese, R. N., Tulio, A. Z., Miller, A. R., & Scheerens, J. C. (2006). Modified 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,20-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (4), 1151-1157, doi: 10.1021/jf051960d.
- Pires, T. G. S. P., Dias, M. I., Barros, L., Galhella, R. G., Alves, M. J., Oliveira, M. B. P. P., Santos-Buelga, G., & Ferreira, I. G. F. R. (2018). Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. *Food Research International*, 105, 580-588, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.014>.

- Rachkeeree, A., Kantadoung, K., Suksathan, R., Puangpradab, R., Page, P. A., & Sommano, S. R. (2018). Nutritional compositions and phytochemical properties of the edible flowers from selected zingiberaceae found in Thailand. *Frontiers in Nutrition*, 5:3, 1-10, doi: 10.3389/fnut.2018.00003.
- Ren, P. J., Jin, X., Liao, W. B., Wang, M., Niu, L. J., Li, X. P., & Zhu, Y. C. (2017). Effect of hydrogen-rich water on vase life and quality of cut lily and rose flowers. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 58 (6), 576-584, doi: 10.1007/s13580-017-0043-2.
- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., Neugebauerova, J., & Vabkova, J. (2012). Edible flowers - a new promising source of mineral elements in human nutrition. *Molecules*, 17 (6), 6672-6683, doi: 10.3390/molecules17066672.
- Sotelo, A., López-García, S., & Basurto-Peña, F. (2007). Content of nutrients and antinutrients in edible flowers of wild plants in México. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62 (3), 133-138, doi: 10.1007/s11130-007-0053-9.
- Villaseñor, J. L. & Redonda-Martínez, R. (2018). A new species of *Dahlia* (Asteraceae, Coreoideae) from the state of Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa*, 362, 239-243, <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.362.2.11>.
- Villavicencio, A. L. C. H., Heleno, S. A., Calhelha, R. C., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). The influence of electron beam radiation in the nutritional value, chemical composition and bioactivities of edible flowers of *Bauhinia variegata* L. var. *candida alba* Buch.-Ham from Brazil. *Food Chemistry*, 241, 163-170, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.093>.
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Methods in ecology. Analysis of phenolic plant metabolites.* Oxford, UK. Blackwell Scientific Publications.
- Weixing, L., Yang, S., Cui, H., Hua, Y., Tao, J. & Zhou, C. (2017). Nutritional evaluation of herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) petals. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 29(7):518-531 doi: 10.9755/ejfa.2017-05-1061
- Xiong, L., Yang, J., Jiang, Y., Lu, B., Hu, Y., Zhou, F., ... & She, C. (2014). Phenolic compounds and antioxidant capacities of 10 common edible flowers from China. *Journal of Food Science*, 79 (4), C517–C525, doi:10.1111/1750-3841.1240.
- Yang, E., Kang, H., Kim, C., & Pak, C. H. (2014). Dependence of the color appearance of some flowers on illumination. *Color Research and Application*, 39, 28-36, <https://doi.org/10.1002/col.21766>.
- Younis, A., Anjum, S., Riaz, A., Hameed, M., Tariq, U., & Ahsan, M. (2014). Production of quality dahlia (*Dahlia variabilis* cv. Redskin) flowers by efficient nutrients management running title: plant nutrition impacts on dahlia quality. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 14 (2), 137-142, doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2014.14.02.12267.

- Zeng, Y., Deng, M., Zhencheng Lv, & Peng Y. (2014). Evaluation of antioxidant activities of extracts from 19 Chinese edible flowers. *SpringerPlus*, 3, 315, doi: 10.1186/2193-1801-3-315.
- Zhang, C., Fu, J. X., Wang, Y. J., Gao, S. L., Du, D. N., Wu, F., ... & Dong, L. (2015). Glucose supply improves petal coloration and anthocyanin biosynthesis in *Paeonia suffruticosa* Luoyang Hong' cut flowers. *Postharvest Biology Technology*, 101, 73-81, doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.11.009.
- Zhao, D. Q., Tao, J., Han, C. X., & Ge, J. T. (2012). Flower color diversity revealed by differential expression of flavonoid biosynthetic genes and flavonoid accumulation in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *Molecular Biology Reports*, 39 (12), 11263-11275, doi: 10.1007/s11033-012-2036-7.
- Zhu, M., Zheng, X., Shu, Q., Li, H., Zhong, P., Zhang, H., ... & Wang, L. (2012). Relationship between the composition of flavonoids and flower colors variation in tropical water lily (*Nymphaea*) cultivars. *PLoS ONE*, 7 (4), e34335, doi:10.1371/journal.pone.0034335.

5 APÉNDICE

Cuadro 1A. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis proximal en raíces tuberosas de algunas especies de dalia (*Dahlia* spp.).

FV	GL	H	MS	PC	GC	FC	CT	CEN
Especies	4	112.98 ** ^Z	112.98 **	23.57 **	0.18 **	4.85 **	69.38 **	6.41 **
Bloque	4	0.69 NS	0.69 NS	0.07 NS	0.02 NS	0.33 NS	0.92 NS	0.13 NS
Error	16	0.53	0.53	0.14	0.01	0.18	0.60	0.15
Total	24							
Media		82.03	17.97	8.83	0.49	3.88	82.40	4.40

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; H = humedad; MS = materia seca; PC = proteína cruda; GC = grasa cruda; FC = fibra cruda; CT = carbohidratos totales; CEN = cenizas. ^Z NS, ** no significativo y altamente significativo, respectivamente.

Cuadro 2A. Cuadrados medios y significancia estadística de sólidos solubles totales, acidez titulable, inulina, vitamina C, fenoles totales y capacidad antioxidante en raíces tuberosas de algunas especies de dalia (*Dahlia* spp.).

FV	GL	SST	AT	Inulina	VC	FT	CA
Especies	4	11.99 ** ^Z	0.018 **	243.33 **	0.001 **	0.93 **	1.296 **
Bloque	4	0.93 NS	0.001 NS	6.09 NS	0.000 NS	0.03 NS	0.002 NS
Error	16	0.80	0.001	20.09	0.000	0.02	0.003
Total	24						
Media		7.59	0.223	62.15	0.031	1.16	0.995

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; SST = sólidos solubles totales; AT = acidez titulable; VC = vitamina C; FT = fenoles totales; CA = capacidad antioxidante. ^Z NS, ** no significativo y altamente significativo, respectivamente.

Cuadro 3A. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis proximal en flores liguladas de algunas especies de dalia (*Dahlia* spp.).

FV	GL	H	MS	PC	GC	FC	CT	CEN
Especies	8	20.76 **	20.76 **	7.37 **	2.22 **	10.30 **	31.02 **	4.80 **
Error	36	0.001	0.001	0.05	0.01	0.12	0.20	0.004
Total	44							
Media		90.10	9.90	13.80	2.54	11.96	65.16	6.55

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; H = humedad; MS = materia seca; PC = proteína cruda; GC = grasa cruda; FC = fibra cruda; CT = carbohidratos totales; CEN = cenizas.
^zNS, ** no significativo y altamente significativo, respectivamente.

Cuadro 4A. Cuadrados medios y significancia estadística de peso fresco, acidez titulable, sólidos solubles totales, luminosidad, saturación y tonalidad en flores liguladas de algunas especies de dalia (*Dahlia* spp.).

FV	GL	PF	AT	SST	L*	C*	h°
Día 1 en florero							
Especies	8	2.03 ** ^z	0.60 **	0.010 **	3438.68 **	3523.60 **	100804.24 **
Error	36	0.06	0.03	0.001	3.94	9.01	5.28
Total	44						
Media		0.92	0.85	0.151	47.32	38.74	173.83
Día 3 en florero							
Especies	8	3.19 **	0.11 **	0.014 **	3003.45 **	3649.56 **	102397.17 **
Error	36	0.03	0.02	0.002	4.49	3.85	8.71
Total	44						
Media		1.15	0.58	0.162	53.61	39.35	178.95
Día 5 en florero							
Especies	8	2.86 **	5.26 **	0.003 *	3440.97 **	3720.88 **	97553.81 **
Error	36	0.09	0.11	0.001	8.00	5.73	3.74
Total	44						
Media		0.84	1.57	0.096	52.52	37.43	177.52

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; PF = peso fresco; AT = acidez titulable; SST = sólidos solubles totales; L* = luminosidad; C* = saturación; h° = tonalidad. ^z*** significativo y altamente significativo.

Cuadro 5A. Cuadrados medios y significancia estadística de vitamina C, fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante en flores liguladas de algunas especies de dalia (*Dahlia* spp.).

FV	GL	VC	FT	FIT	AnT	CA
Día 1 en florero						
Especies	8	0.209 ** ^Z	78.59 **	45.92 **	107.25 **	1093.26 **
Error	36	0.000	0.28	0.20	0.02	1.73
Total	44					
Media		0.442	10.31	3.92	3.30	23.34
Día 3 en florero						
Especies	8	0.148 **	61.69 **	29.01 **	73.06 **	657.08 **
Error	36	0.001	0.20	0.08	0.03	1.05
Total	44					
Media		0.367	8.37	3.19	2.85	19.17
Día 5 en florero						
Especies	8	0.201 **	107.32 **	65.13 **	71.08 **	1213.40 **
Error	36	0.001	0.14	0.15	0.03	0.25
Total	44					
Media		0.418	11.12	4.31	3.00	25.09

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; VC = vitamina C; FT = fenoles totales; FIT = flavonoides totales; AnT = antocianinas totales; CA = capacidad antioxidante. ^Z* altamente significativo.

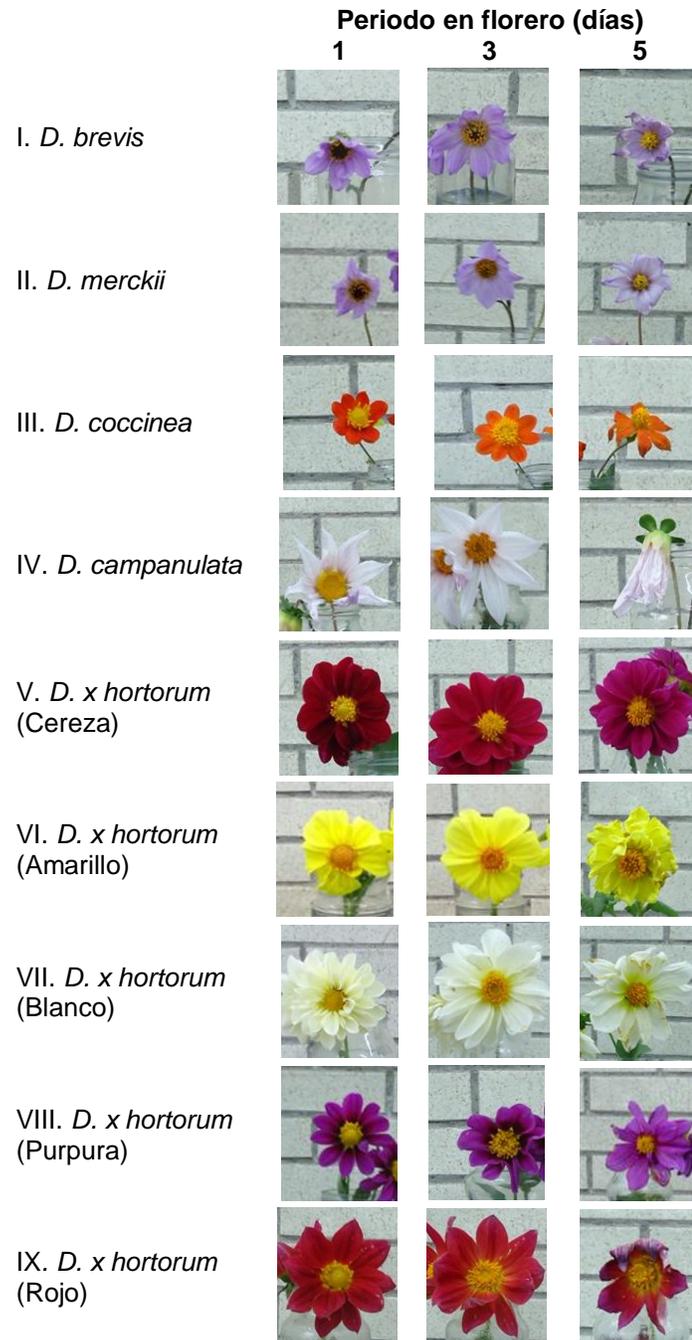


Figura 1A. Flores de especies silvestres (I, II, III, IV) y la especie cultivada de dalia (V, VI, VII, VIII y IX) en los días 1, 3 y 5 del periodo de florero.



1 DE JUNIO DE 2016.
No. DE OFICIO: 161

USUARIO: **ESTEBAN ARTURO RIVERA ESPEJEL**

PROCEDENCIA: CAMPO SAN MARTÍN, UACH

TIPO DE MUESTRA: SUELO (1 MUESTRA)

Nº CONTROL	pH	C.E. dSm ⁻¹	MO %	N mgKg ⁻¹	P mgKg ⁻¹	K mgKg ⁻¹	Ca mgKg ⁻¹	Mg mgKg ⁻¹
594	7.48	0.73	1.61	7.6	31.50	192	3243	1038

Nº CONTROL	CIC Cmol(+) Kg ⁻¹	Fe mgKg ⁻¹	Cu mgKg ⁻¹	Zn mgKg ⁻¹	Mn mgKg ⁻¹	B mgKg ⁻¹	SO ₄ meqL ⁻¹	Dens. Apar. tm ⁻³
594	24.4	7.79	1.62	1.18	9.28	1.32	1.32	1.29

Nº CONTROL	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
594	50.8	29.3	20.0	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO

METODOLOGIA:

pH: POTENCIOMETRICO, RELACION SUELO-AGUA, 1:2.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE): PUENTE DE CODUCTIVIDAD EN SUSPENSION MUESTRA: AGUA, 1.5.

MATERIA ORGANICA (MO): WALKLEY Y BLACK.

NITROGENO (N): EXTRAIDO CON CLORURO DE POTASIO 2N Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR.

FOSFORO ASIMILABLE (P): OLSEN.

POTASIO (K): EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACION 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISION DE FLAMA.

CALCIO, MAGNESIO (Ca, Mg): EXTRAIDO CON ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACION 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC): ACETATO DE AMONIO 1.0 N pH 7.0 Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR.

BORO (B): EXTRAIDO CON CaCl₂ 1.0M Y DETERMINADO FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA-H

SULFATOS (SO₄): TURBIDIMETRIA DE CLORURO DE BARIO (BaCl₂) EN EL EXTRACTO DE LA PASTA.

DENSIDAD APARENTE (DAP.): METODO DE LA PROBETA

HIERRO, COBRE, MANGANESO (Fe, Cu, Mn): EXTRAIDO CON DTPA RELACION 1:4 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

TEXTURA (TEX): HIDROMETRO DE BOUYOUCOS.

Figura 2A. Análisis de fertilidad de suelo.