



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**ACUMULACIÓN DE INULINA DURANTE EL DESARROLLO EN ESPECIES
DE DALIA (*Dahlia spp.*)**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

Isaias De luna Garcia



Bajo la supervisión de: Ma. de Jesús Juárez Hernández, Dra.

**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
COMISION DE EXAMENES PROFESIONALES**



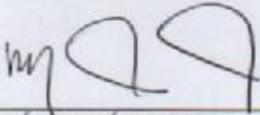
Chapingo, México, junio de 2018

**ACUMULACIÓN DE INULINA DURANTE EL DESARROLLO EN ESPECIES DE
DALIA (*Dahlia spp.*)**

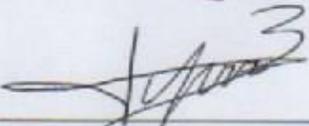
Tesis realizada por **ISAIAS DE LUNA GARCIA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

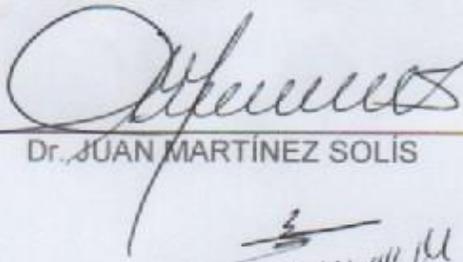
DIRECTOR


Dra. Ma. de JESÚS JUÁREZ HERNÁNDEZ

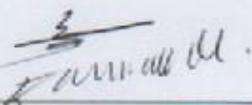
CODIRECTOR


Dra. PATRICIA DUPRÉ

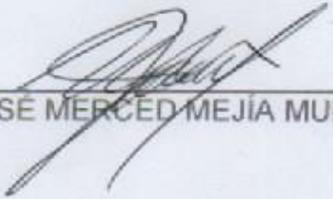
ASESOR


Dr. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS

ASESOR


Dr. ELISEO SOSA MONTES

ASESOR


M.C. JOSÉ MERCED MEJÍA MUÑOZ

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE CUADROS	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
DATOS BIOGRÁFICOS	IX
I INTRODUCCIÓN GENERAL	11
1.1 Objetivo general.....	12
1.2 Objetivos específicos	12
1.3 Hipótesis	12
II REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1 Antecedentes	13
2.2 Descripción botánica.....	13
2.2.1 <i>Dahlia x hortorum</i>	14
2.2 .2 <i>Dahlia brevis</i>	14
2.2.3 <i>Dahlia coccinea</i>	15
2.2.4. <i>Dahlia neglecta</i>	16
2.2.5. <i>Dahlia parvibracteata</i>	17
2.3. Composición química de raíces tuberosas de dalia	19
2.3.1 Ácido benzoico	19
2.3.2 Proteína cruda	19
2.3.3 Fibra cruda	19
2.3.4 Inulina.....	19
2.4 Propiedades de la inulina en la salud.....	21
2.4.1 Efectos de la inulina sobre la hiperlipidemia y la microflora intestinal	22
2.4.2 Actividades antioxidantes in <i>vitro</i> e in <i>vivo</i> de la inulina.....	23
2.4.3 Actividad antioxidante in vitro e in vivo de un fructano de las raíces de <i>Arctium lappa</i> L.....	23
2.5 Papel de la inulina en la planta.....	24
2.5.1 La inulina y su función como osmolito	24
2.5.2 La inulina ayuda a resistir el estrés por sequía	24

2.5.3 La acumulación de inulina	25
2.5.4 Carbohidratos de reserva.....	26
2.7 Método para la obtención de inulina.....	27
2.8 LITERATURA CITADA	29
III ACUMULACIÓN DE INULINA DURANTE EL DESARROLLO EN ESPECIES DALIA (<i>DAHLIA SPP.</i>) INULIN ACCUMULATION DURING DAHLIA SPECIES (<i>DAHLIA SPP.</i>) DEVELOPMENT	32
3.1 INTRODUCCIÓN.....	33
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.2.1 Localización y fecha del experimento	34
3.2.2 Características edafoclimáticas del lugar del experimento	34
3.2.3 Germinación, trasplante, requerimientos hídricos y nutrimentales	35
3.2.4 Manejo agronómico	35
3.2.5 Variables respuesta	36
3.2.5.1 Altura de planta	36
3.2.5.2 Diámetro basal del tallo.....	37
3.2.5.3 Número de raíces tuberosas por planta	37
3.2.5.4 Peso fresco de raíces tuberosas por planta	37
3.2.5.5 Materia seca de la raíz tuberosa	37
3.2.5.6 Peso seco de la parte aérea	38
3.2.6 Método para la cuantificación de inulina	38
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
3.3.1. Altura de planta	40
3.3.2 Peso seco de la parte aérea.....	43
3.3.3. Diámetro basal del tallo.....	44
3.3.4 Número de raíces tuberosas	47
3.3.5 Peso fresco de raíz tuberosa.....	49
3.3.6 Materia seca de raíces tuberosas.....	51
3.3.7 Contenido de Inulina en raíces tuberosas.....	53
3.4 CONCLUSIONES.....	56

3.5 Recomendaciones.....	56
3.6 Perspectivas	56
3.7 LITERATURA CITADA	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de extracción de Inulina.....	39
Figura 2 Altura de planta (cm) de cinco especies de Dalia en botón floral, floración y madurez.....	42
Figura 3 Materia seca de la parte aérea, de cinco especies de dalia en botón floral, floración y madurez.....	44
Figura 4 Diámetro basal del tallo en cm. de cinco especies de dalia medido en la etapa de botón floral, floración y madurez.....	46
Figura 5 Número de raíces tuberosas en la etapa de botón floral, floración y fin del ciclo en diferentes especies de dalia.....	48
Figura 6 Peso fresco de raíces tuberosas de cinco especies de dalia en la etapa de botón floral, floración, madurez.....	50
Figura 7 materia seca de raíz tuberosa de cinco especies de dalia medida en etapa de madurez.....	52
Figura 8 Raíces de las especies de dalia en las etapas de desarrollo de botón floral, floración, y madurez.....	53
<i>Figura 9</i> Concentracion de Inulina en las raíces tuberosas de cinco especies de dalia en botón floral, floración y madurez.....	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Contenido promedio de inulina de algunas especies de plantas.....	20
Cuadro 2 Análisis de varianza de las variables evaluadas de cinco especies de dalia	40
Cuadro 3 Comparación de medias de altura de planta (cm) de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.....	42
Cuadro 4 Comparación de medias de peso seco de la parte aérea de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.....	44
Cuadro 5 Comparación de medias de diámetro basal del tallo de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.....	46
Cuadro 6 Comparación de medias de número de raíces tuberosas de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.....	48
Cuadro 7 Comparación de medias de peso fresco de raíz tuberosa de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.....	51
Cuadro 8 Peso seco de raíces tuberosas en diferentes especies de dalia en la etapa de madurez.....	52

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme permitido realizar los estudios del posgrado.

A la Dra. Ma. de Jesús Juárez Hernández por su valiosa colaboración en la revisión de este proyecto.

A la Dra. Patricia Dupré por su valiosa aportación en la culminación de este trabajo.

Al Dr. Juan Martínez Solís por su empeño y valiosas observaciones que contribuyeron para la mejora de este proyecto.

Al Dr. Eliseo Sosa Montes por su orientación, confianza, disposición y facilidades en todo momento para la culminación de esta investigación.

Al M.C. José Merced Mejía Muñoz por su apoyo incondicional, la confianza brindada, disposición en todo momento y por la motivación para la culminación del proyecto.

Al Ing. Claudio Flores Espinoza por su amistad y amable atención en todo momento y al personal del laboratorio de nutrición de Zootecnia (Ing. Benito Bello olivera, Emilio David Lopez Calvera y Aldo Cebrero Luna), por su amistad y apoyo en todo momento

Al técnico laboratorista Rosalba por las facilidades en el laboratorio de floricultura.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Isaias De luna Garcia

Fecha De nacimiento 01-04-1992

Lugar de nacimiento: Zozocolco de Hidalgo. Ver.

Profesión: Ing. Agrónomo Especialista en Fitotecnia

Cédula: 9938351

Desarrollo Académico

Preparatoria: Cecyt Coxuhui “Técnico En Contabilidad”

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo “Ing. Agrónomo Especialista en Fitotecnia”

ACUMULACIÓN DE INULINA DURANTE EL DESARROLLO EN ESPECIES DE DALIA (*Dahlia spp.*)

INULIN ACCUMULATION DURING DEVELOPMENT IN DAHLIA SPECIES (*Dahlia spp.*)

Isaias De Luna Garcia¹ y Ma. de Jesús Juárez Hernandez²

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la dinámica de acumulación de inulina y materia seca en raíces tuberosas de *Dahlia neglecta*, *D. coccinea*, *D. brevis*, *D. x hortorum* y *D. parvibracteata* en las etapas de botón floral, floración y maduración. El estudio fue realizado en el Campo Experimental San Martín de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Se establecieron semilleros con una mezcla de sustrato de turba y vermiculita (2: 1, v / v) las plántulas se trasplantaron del invernadero a campo abierto a las 5 semanas después de la emergencia. El diseño de tratamientos fue un factorial que consistió en cinco especies de dalia y tres etapas de desarrollo con 15 tratamientos, cada uno con 8 repeticiones. La unidad experimental fue una planta, todas las plantas tuvieron las mismas condiciones ambientales. Las variables respuesta más importantes fueron el número de raíces tuberosas, la altura de la planta, el peso fresco y seco de la raíz tuberosa y el contenido de inulina, en los cuales la interacción entre las etapas de desarrollo y las especies de dalia fue significativa. Respecto al peso fresco de raíz tuberosa e inulina, *D. coccinea* y *D. x hortorum* aumentaron progresivamente conforme avanzaba el estado de desarrollo de las plantas, *D. coccinea* presentó los valores más sobresalientes de estas variables (2.78 kg / planta y 59.6 %,) respectivamente en la etapa de maduración cuando su materia seca fue 23.4 % de las raíces tuberosas., por otra parte *D. parvibracteata* mostró mayor altura de planta que las demás especies.

Palabras clave: peso de la raíz, raíces tuberosas, *Dahlia spp.*

1 Tesista

2 Director

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the dynamics of inulin and dry matter accumulation in tuberous roots of *Dahlia neglecta*, *D. coccinea*, *D. brevis*, *D. x hortorum* and *D. parvibracteata* during the floral bud, flowering and maturation stages. The study was conducted in the San Martín experimental station at the Autonomous University of Chapingo, Mexico. A seed nursery with a substrate mixture of peat moss and vermiculite (2: 1, v / v) was established. The plantlets were transplanted from the greenhouse to the field at 5 weeks after germination. A factorial treatment design consisting of five *Dahlia* species and three development stages (15 treatments) each with 8 replications, was used. The experimental unit was one plant; all the them had the same environmental conditions. The most important variables were roots number, plant height, the fresh and dry weight and the inulin content of the tuberous root. The interaction between development stages and dahlia species on these variables was significant. The fresh weight and inulin content of tuberous root of *D. coccinea* and *D. x hortorum* progressively increased as the stage of development of the plants progressed. *D. coccinea* presented the higher values of these variables (2.78 kg / plant and 59.6 %) at maturation stage, when its dry matter was 23.4 %, however, *D. parvibracteata* showed a higher plant height than the other species.

Key words: root weight, tuberous roots, *Dahlia spp.*

I INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Dalia* se encuentra dentro de la familia Asteraceae o Compositae (compuestas), cuenta con más de 41 especies (Asociación Mexicana de la *Dalia* 2014; Castro *et al.*, 2014). Su importancia económica es como planta ornamental principalmente (De Hertog y Le Nard, 1995) aunque ahora se reconoce su importancia medicinal y nutricional (Mejía *et al.*, 2008)

En México, es poco lo que se conoce en cuanto al cultivo de las dalias, que se limita generalmente a los jardines particulares y no existe la afición por mejorar o encontrar nuevas variedades que podrían ser el inicio de la industria nacional y de exportación. Se sabe que sus raíces tuberosas poseen propiedades alimenticias, medicinales y forrajeras, por lo que al fomentar su cultivo se contribuye a la nutrición, a la herbolaria y a la ganadería mexicana (Mejía *et al.*, 1992; Laguna, 1992).

En los últimos años se ha despertado un interés sobre alimentos que no sólo nos aporten o proporcionen los nutrimentos necesarios, sino que además tengan efectos prebióticos como el de ayudar a prevenir o combatir algunas enfermedades, todo esto ha propiciado una inquietud en la investigación de sustancias que se puedan adicionar a los mismos. La inulina es uno de ellos; en diversas investigaciones se ha visto que es benéfico para la salud. Estos ingredientes, además de tener las propiedades de las fibras alimentarias para regular el tránsito intestinal, contribuyen a la mejor absorción del calcio, a la estimulación de las defensas naturales de la flora intestinal (efecto bífidus) y a reducir el colesterol y los niveles de azúcar en sangre, actualmente presenta un interés como materia prima para la obtención de inulina ya que sus raíces almacenan gran cantidad de ella (Biblioteca Digital De La Medicina Tradicional Mexicana, 2014).

El interés de este proyecto de investigación se enfoca en determinar cómo afecta el estado fenológico en la producción y acumulación de azúcares de reserva en la raíz tuberosa de diferentes especies de dalia.

1.1 Objetivo general

Determinar contenido de inulina y biomasa en raíces tuberosas de *Dahlia neglecta*, *Dahlia coccinea*, *Dahlia brevis*, *Dahlia x hortorum* y *Dahlia parvibracteata*.

1.2 Objetivos específicos

Determinar la dinámica de acumulación de inulina en diferentes especies de dalia en tres etapas de desarrollo.

Evaluar las diferencias morfológicas y de biomasa de las especies de *Dahlia*: *Dahlia neglecta*, *Dahlia coccinea*, *Dahlia brevis*, *Dahlia x hortorum* y *Dahlia parvibracteata* en tres etapas de desarrollo.

1.3 Hipótesis

La concentración de inulina y biomasa en las raíces tuberosas de dalia es diferente entre especies y su valor más alto se presenta en la etapa de madurez.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

La dalia es nativa de Mesoamérica y endémica de México, con 41 especies del género dalia (Treviño de Castro *et al.*, 2007); Por lo que la biodiversidad del género está concentrada en nuestro territorio.

En la actualidad la dalia cultivada se ha extendido por casi todos los países del mundo. Sin embargo, en México se conoce muy poco acerca de su cultivo y mejoramiento. A pesar de ser el país de origen y de que, en 1963, fuera declarada por decreto presidencial “Flor Nacional” (Treviño de Castro *et al.*, 2007).

2.2 Descripción botánica

El género dalia forma parte de la familia botánica *Asteraceae* (compuestas). 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 y en lo general tienen raíces tuberosas muy desarrolladas. Sus tallos son huecos (de ahí su nombre en Náhuatl “Acocoxóchitl”) o compactos y, las hojas son opuestas o verticiladas (se originan alrededor de un mismo punto y se distribuyen en diferentes direcciones), simples a tres veces compuestas. El follaje varía entre láminas enteras y láminas divididas (Mera y Bye, 2006). Las flores están formadas de varias estructuras (compuestas) que en conjunto se denominan cabezuelas: flores liguladas (en forma de lengua) ubicadas al exterior, cuya apariencia es similar a la de un pétalo (blancas, moradas, amarillas o rojas); y las tubulares o flores de disco (amarillas o moradas), que

semejan un plato, ambas están dispuestas sobre una base común llamada receptáculo (Mera y Bye, 2006).

2.2.1 *Dahlia x hortorum*

Es una planta con raíces tuberosas, tallos anuales, robustos, ramosos, de 50-100 cm de altura. Sus flores son terminales o axilares. Las dos principales especies son *D. variabilis* (precursores de los “D. decorativos”) y *D. juarezzi* (precursores de los “D. cactus”), Las dalias cultivadas son híbridos de infinidad de cruces realizadas entre las especies *D. coccínea*, *D. gracilis*, *D. variabilis* etc. Las hay con flores simples, semidobles y dobles que presentan los más diversos tamaños y coloridos; se calcula que hay más de 3000 variedades catalogadas (Vilarnau y Guarro, 1974).

2.2 .2 *Dahlia brevis*

Dahlia brevis es una planta herbácea de 0.4 -0.7 m de altura. Tallos de 2-5 mm de diámetro, muy estriado y pubescente. Hojas simples, pinnadas o pinnatisectas, de 3.5-14 cm de longitud; 5-7 divisiones o pinnas, opuestas, raramente sub opuestas o alternadas; la pinna basal tiene 12-40 mm de longitud, 4-12 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 7-22 mm de longitud, 0.5-4 mm de ancho, usualmente alado en las bases decurrentes de las divisiones laterales; raquis alado, pubescente, Inflorescencias en capítulo, de 1-3 por planta, oblicuamente erectas en anthesis, pedúnculos de 10-24 cm de longitud; flores liguladas púrpura claro, extendidas en anthesis, 10-25 mm de longitud, 6-14 mm de ancho, elípticas, agudas o denticuladas; flores de disco amarillas, corola con venación púrpura, lóbulos marginalmente púrpura o completamente purpúreos. Aquenios 6-7 mm de longitud, 2-3 mm de ancho. Número 7 cromosómico, $n = 16$. Su etapa de

floración se lleva a cabo anualmente durante los meses de agosto a septiembre (Sorensen, 1969).

2.2.3 *Dahlia coccinea*

Dahlia coccinea es una planta de 0.45-3 m de altura. Tallos generalmente no ramificados en la porción floreciente, de 2-25 mm de diámetro, glabra a densamente pubescente especialmente en los nodos, a veces visiblemente glauco, de color verde a púrpura cuando está fresco, los nudos generalmente se septan o incompletan; entrenudos huecos, raramente sólidos, de 2.5-30 cm de largo. Hojas opuestas, 3 por nudo, extremadamente variable de simple y desunido a tripinnado, de 12-35 cm de largo incluyendo el pecíolo; 3-11 divisiones primarias, sésiles o peciolulados; Pinna basal de 4,5 a 16 cm de largo, su pínula basal (de hojas de 2 o 3 pinnadas) de 1,8-7 cm de largo, segmento terminal de las hojas, pinna y pínula comúnmente ligeramente mayor que sus folíolos complementarios; último segmento ovado a ovado-elíptico o estrechamente ovado-lanceolado, raramente ligeramente obovado, ápices con bases generalmente 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 (1-) 2-14 dientes por lado; pecíolo ranurado arriba, en forma de media luna en sección transversal, a veces muy estrechamente alado, glabro o pubescente, de 1-11 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. Cabezas generalmente erecto u oblicuamente erecto, en pedúnculos de 2-30 cm de

largo. Las brácteas envolventes externas se extienden o se reflejan en la anthesis, acentuada, a veces larga acuminada atenuada, de 6-15 mm de largo, de 3-7 mm de ancho, de vez en cuando reticulada, glabra, ventralmente glabras o puberulosas, a menudo cruzadas; brácteas internas de color escarlata en todo o sólo las puntas escarlata, 11-17 mm de largo, 3-8 mm de ancho, flores de disco con número de 71-157, amarillo o a veces escarlata, 8-10 mm de largo, los lóbulos de la corola se extienden o se erigen; estilo de ramas lineales-lanceoladas, flexuosas, de 4-4,5 mm de largo, de menos de 0,8 mm de ancho, aquenio lineales-oblongadas a obovadas o espatuladas, de 8-13 mm de largo, de 1.8-5.5 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).

2.2.4. *Dahlia neglecta*

Esta especie no descrita anteriormente fue recolectada el 11 de septiembre de 1995, NE de Tulancingo, Hidalgo, en una zona de *Quercus* (roble) y *Opuntia* arborescente (cactus de tamaño de árbol), a una altura de 2,320 m.s.n.m.

Los individuos de la herbácea *Dahlia neglecta* Saar son de tallos de hasta 1.5 m de altura, con entrenudos huecos, glaucos y nudos sólidos. Las cabezas florales más grandes, incluidas las flores de los rayos, tienen 12.5 cm de diámetro. Las lígulas son de color lavanda claro con vetas más oscuras en la superficie abaxial (inferior) y una mancha amarilla en la base en el lado adaxial (superior). Las puntas de la lígula suelen estar cuspidadas, y las puntas de las plantas cultivadas en el cultivo a veces se tuercen ligeramente (observación visual). La floración en su hábitat natural comienza en agosto y continúa hasta finales de septiembre o hasta octubre (Saar, 2002).

2.2.5. *Dahlia parvibracteata*

Esta especie fue descubierta durante un viaje de recolección en 1995 al este y centro-sur de México (Saar y Sorensen, 2000). Dos poblaciones se ubicaron en el estado de Guerrero, al norte de Taxco, a una altura de 1,820 metros.

Las plantas de la población de holotipo crecían desde el suelo atrapado entre rocas volcánicas y escombros en el sol, sombra parcial y luz filtrada en una zona bajo especies de *Buddleia*, *Acacia* y *Quercus*. La segunda población crecía entre matorrales a lo largo de un cercado.

Dahlia parvibracteata es una planta herbácea perenne, erecta, de varios tallos. Tiene una altura de 0.8 a 1.5 m, generalmente más alto con una exposición al sol cada vez mayor. Los tallos son rojizos pero variables y de corta pubescencia a levemente glaucos. Las hojas medianas tienen 17.5 a 28 cm de largo incluyendo pecíolos, dos veces compuesto con estípites con frecuencia en el primer nudo del raquis, convirtiéndose una vez compuesto sin estípites en simples en la base de la porción de floración. Las flores son numerosas en los tallos terminales o axilares, ya sea solo en pedúnculos largos o en tallos desnudos de ramificación corta, sostenidos sobre el follaje. El capítulo mide 5-8 cm de diámetro, incluidos los rayos. Los floretes de disco son fértiles y amarillos; Los floretes de los rayos son estériles con 7-8 lígulas de color lavanda claro con vetas más oscuras en la superficie inferior. Las 7-8 brácteas involucrales internas (filarias) tienen 9-6 mm de largo y 4-7.5 mm de ancho. Las 5-6 brácteas involucrales externas son estrechamente espatuladas a oblongo-lanceoladas, 9-14 mm de largo y solo 2-3 mm de ancho. Estas brácteas externas se reflejan en la anthesis y se proyectan desde una base capitulo plana y algo similar a un disco. La floración (en 1995) ocurrió entre agosto y septiembre en su hábitat natural (Saar y Sorensen, 2000). La floración

de plantas en parcelas de investigación en el norte de Illinois y el oeste de Kentucky se retrasó hasta los últimos días de septiembre o principios de octubre, presumiblemente debido a los largos días en primavera y principios de verano en estas latitudes más altas. Las 5-6 brácteas involúcras externas son estrechamente espatuladas a oblongo-lanceoladas, 9-14 mm de largo y solo 2-3 mm de ancho. Estas brácteas externas se reflejan en la antesis y se proyectan desde una base capitulo plana y algo similar a un disco. La floración (en 1995) ocurrió entre agosto y septiembre en su hábitat natural (Saar y Sorensen, 2000). La floración de plantas en parcelas de investigación en el norte de Illinois y el oeste de Kentucky se retrasó hasta los últimos días de septiembre o principios de octubre, presumiblemente debido a los largos días en primavera y principios de verano en estas latitudes más altas. Las 5-6 brácteas involúcras externas son estrechamente espatuladas a oblongo-lanceoladas, 9-14 mm de largo y solo 2-3 mm de ancho. Estas brácteas externas se reflejan en la antesis y se proyectan desde una base capitulo plano y algo similar a un disco. La floración (en 1995) ocurrió entre agosto y septiembre en su hábitat natural (Saar y Sorensen, 2000).

El epíteto específico, *parvibracteata*, se eligió para llamar la atención sobre las pequeñas brácteas involúcras externas estrechas, que se retuercen un poco, comienzan a doblarse hacia afuera desde las brácteas internas y se alargan más allá del botón floral antes de abrirse (Saar y Sorensen, 2000).

2.3. Composición química de raíces tuberosas de dalia

La dalia, así como la mayoría de las compuestas tiene como sistema de almacenamiento de carbohidratos, la inulina que es un polímero de fructosa (Heywood, 1977).

2.3.1 Ácido benzoico

Es un ácido orgánico con acción bactericida inhibidora del crecimiento de hongos y levaduras que se encuentra en algunas frutas, en las raíces tuberosas de *Dahlia coccinea* contienen 0.67 % y en *Dahlia campanulata* 0.60 % (Jiménez, 2016).

2.3.2 Proteína cruda

La proteína cruda mide el contenido de nitrógeno total de un producto y, de eso se, estima la cantidad de proteína dentro de ese producto. mediciones de proteína cruda incluyen nitrógeno de las proteínas, así como de fuentes de nitrógeno no proteico que se originan a partir de moléculas tales como la creatina y la urea. El nitrógeno no proteico contribuye poco a la nutrición humana, el contenido de proteína cruda en raíces tuberosas de *Dahlia brevis* es de 15.3 % y en *Dahlia x hortorum* 11.7 % (Jiménez, 2016).

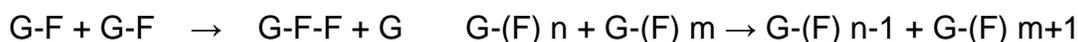
2.3.3 Fibra cruda

La fibra es la parte no digerible de los alimentos que resiste la digestión y absorción en el intestino delgado humano y que experimenta una fermentación parcial o total en el intestino grueso, las raíces tuberosas de dalia contienen fibra, en *D. brevis* reportan 11.2 % y en *Dahlia x hortorum* 6.15 % de fibra cruda (Jiménez, 2016).

2.3.4 Inulina

Se concentra y almacena en diferentes tejidos de la planta, y generalmente las raíces. La inulina es un carbohidrato lineal de unidades de D-fructosa (F) con

enlaces β (2 \rightarrow 1) y una Glucosa (G) en un extremo. En las plantas, la inulina es sintetizada a partir de la sacarosa (G-F) por la acción de dos enzimas llamadas fructosiltransferasas según el modelo de Edelman y Jefford (1967):



La inulina también está presente en otros vegetales como achicoria, alcachofa e incluso plátano. La inulina ofrece beneficios tecnológicos y nutricionales, y fácilmente puede ser incorporada a una gran gama de productos. En la actualidad la inulina es extraída a partir de la achicoria (*Cichorium intybus*) y aunque *Helianthus tuberosus* es la planta más productora de inulina, la dalia se presenta como una planta alternativa en su producción.

Además de su función en la planta como carbohidrato de reserva, se le atribuí a también un papel en la tolerancia al estrés hídrico provocado por sequía, frío o salinidad (Valluru y Van den Ende, 2008).

Cuadro 1 Contenido promedio de inulina de algunas especies de plantas

Especie vegetal Inulina	(g/100 g b. s.+)
Pataca (<i>Helianthus tuberosus</i>)	89
Achicoria (<i>Cichorium intybus</i>)	79
Dalia (<i>Dahlia spp.</i>)	59, 52 - 54 *
Cebolla (<i>Allium cepa L.</i>)	48
Poro (<i>Allium porrum L.</i>)	37
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	29
Yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)	27
Espárrago (<i>Asparagus officinalis L.</i>)	4
Platano (<i>Musa cavendishii</i>)	2
Centeno (<i>Secale cereale</i>)	1

Fuente: Van-Loo et al. (1995), * De luna-García, I., y Jarquín-Mendoza, C. A (2015), + base seca

2.4 Propiedades de la inulina en la salud

La inulina tiene la capacidad de incrementar la viscosidad del contenido intestinal y de absorber ciertos compuestos como son los ácidos biliares. Las características que tiene en común son la no digestibilidad de estas por las enzimas que se encuentran en el intestino delgado; además muchos polisacáridos asociados con la fibra dietética, así como la inulina y los fructooligosacáridos (FOS) pueden ser fermentados por los microorganismos en el colon (Schneeman, 1999).

Administrar inulina o FOS como parte de la dieta disminuye considerablemente el número de células malignas en el colon, el grado de inhibición fue mayor con la dieta de inulina que con FOS. El mecanismo preciso por el cual la inulina y los FOS inhiben las lesiones preneoplásicas del colon aún no se encuentra del todo comprendido, se sabe que los consumos de estos compuestos incrementan la biomasa de bífidobacterias y se incrementa la producción de ácido láctico que disminuye el pH intestinal, creando un ambiente bactericida para *E. coli* y *Clostridium perfringens* (Reddy, 1999).

Por otro lado, la inulina y los FOS sirven como sustratos estimulando el crecimiento de bifidobacterias e inhiben el crecimiento de bacterias nocivas; reducen el pH del colon y en algunas investigaciones se indica que pueden disminuir los lípidos en el suero de la sangre, principalmente los triglicéridos y aumenta la retención de calcio en el cuerpo humano; también reduce la incidencia de lesiones precarcinogénicas en el colon reduciendo el riesgo de cáncer (Prosky, 1999).

La inulina y los FOS han sido utilizados como sustitutos de grasa o azúcar debido a su valor calórico. En personas con un tracto gastrointestinal normal, la inulina y los FOS llegan probablemente casi al 100 % (Roberfroid, 1999). La inulina y los FOS que entran al colon son fermentados casi en su totalidad por la flora bacteriana; la energía derivada de la fermentación es el resultado de la producción de ácidos grasos de cadena corta y ácido láctico, los cuales al ser

metabolizados contribuyen con 1.5 kcal/g de energía utilizable, otros productos de la fermentación como la biomasa bacteriana y los gases son eventualmente excretados (Niness, 1999). Aunque existen pruebas convincentes en animales sobre el efecto de la inulina y FOS en la disminución de lípidos, en estos estudios se han realizado con altas dosis de inulina y FOS, que no se podrían suministrar en humanos, porque ingerir dosis mayores a 30 g/día podría traer efectos gastrointestinales adversos. Los estudios en humanos se realizaron en individuos sanos, utilizando diferentes niveles de suplementación de inulina (9 a 20 g/día); hay dos reportes donde se menciona que no hay efecto de la inulina y FOS en los lípidos séricos, mientras que otros trabajos mencionan que existe una disminución significativa en los triglicéridos (-19 % y -27 %), con un ligero cambio en el colesterol total y de baja densidad (Williams, 1999).

2.4.1 Efectos de la inulina sobre la hiperlipidemia y la microflora intestinal

Los efectos de la inulina de alcachofa de Jerusalén sobre la hiperlipidemia (grasas en los vasos sanguíneos) y la microflora intestinal en ratones alimentados con una dieta alta en grasas (HFD). Los ratones hiperlipidémicos alimentados con HFD tratados con inulina tenían triglicéridos hepáticos lipídicos (TG) en suero, concentraciones de colesterol total hepático (TC) e índice aterogénico (AI) disminuidos. El tratamiento con inulina aumentó la actividad de la superóxido dismutasa hepática (SOD) y disminuyó la concentración de malondialdehído hepático (MDA). El análisis mostró que el tratamiento con inulina mejoró la microflora intestinal; en particular, aumentó significativamente el número de *Bifidobacterium* en el intestino de ratones alimentados con HFD. La inulina es por lo tanto un alimento funcional potencialmente para prevenir y tratar la hiperlipidemia (QiuHong *et al.*, 2018).

2.4.2 Actividades antioxidantes *in vitro* e *in vivo* de la inulina

Actividad captadora de radicales 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) la actividad de eliminación de radicales DPPH se usa ampliamente para evaluar la capacidad antioxidante de muestras biológicas. Es un radical libre estable y muestra la absorción más fuerte en una longitud de onda de 517 nm. En este método, las sustancias antioxidantes son capaces de reducir la DPPH radical a la difenil-picrilhidrazina. La actividad antioxidante se puede expresar como su capacidad para recoger el radical DPPH. Los estudios demostraron que la inulina tenía una actividad de eliminación de radicales DPPH más débil, radical ABTS actividad de barrido y poder reductor férrico en vitamina C en estudios *in vivo*. Las gallinas mostraron que la suplementación dietética con inulina mejoró significativamente el estado antioxidante de las gallinas ponedoras (Hong-Mei, S. *et al.*, 2018).

2.4.3 Actividad antioxidante *in vitro* e *in vivo* de un fructano de las raíces de *Arctium lappa* L.

La actividad antioxidante *in vitro* e *in vivo* de un polisacárido soluble en agua (ALP1), Purificado de las raíces de *A. lappa* L., ensayos *in vitro* indicaron que ALP1 tenía un fuerte secuestro de radicales hidroxilo y actividad quelante ferrosa. En modelos de ratones inducidos por D-galactosa, la administración de ALP1 mejoró significativamente múltiples indicadores del estado antioxidante, incluido el aumento de la actividad de superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa y enzimas Catalasa aumento de los valores de capacidad antioxidante total y niveles disminuidos de Malondialdehído en suero e hígado muestras. Sobre la base de estos hallazgos, ALP1 podría tener un efecto favorable en el mantenimiento o mejorar los sistemas antioxidantes y podría considerarse como un potencial antioxidante para las industrias de alimentos funcionales, farmacéutica, cosmética o nutracéutica (Wei *et al.*, 2014).

2.5 Papel de la inulina en la planta

La inulina y la tolerancia al estrés de congelación y desecación existen investigaciones que proporcionan la evidencia experimental de que los fructooligosacaridos de las plantas pueden estabilizar las membranas durante el estrés de congelación y desecación donde, las inulinas (polímeros de fructosa lineales) aislados de raíces de achicoria y tubérculos de dalia estabilizan las vesículas unilamelares grandes de fosfatidilcolina de huevo durante la liofilización, mientras que otro polisacárido, hidroxietil almidón, fue completamente ineficaz esto hace que sea más probable un rol funcional de los fructanos en la tolerancia al estrés de las plantas. Las inulinas parecen comportarse más como azúcares de baja masa molecular que los polímeros similares. Es posible que la diferencia entre la inulina y los otros polímeros resida en el hecho de que la inulina es una molécula lineal con una estructura de orden poco elevada, mientras que el hidroxietilalmidón y el dextrano están altamente ramificados y son posiblemente partículas más compactas que las inulinas (Hincha *et al.*, 2000).

2.5.1 La inulina y su función como osmolito

Los fructanos actúan como un osmorregulador, la acumulación preferencial de fructanos de bajo grado de polimerización, junto con el aumento dentro las capas más internas de los bulbos, da como resultado una disminución en el potencial osmótico. Esto conduce a una disminución en el potencial de agua total (Orthen, 2001).

2.5.2 La inulina ayuda a resistir el estrés por sequía

Es posible que, además de ser un carbohidrato de almacenamiento, los fructanos tengan otras funciones fisiológicas. Debido a su solubilidad, pueden ayudar a las plantas a sobrevivir periodos de estrés osmótico inducidos por la sequía o el frío. Para investigar la posible significación funcional de los fructanos, en una investigación (Pilon *et al.*, 1995) utilizaron plantas de tabaco

transgénico (*Nicotiana tabacum*) que acumulan fructanos bacterianos y, por lo tanto, poseen un suministro adicional para los carbohidratos en donde las plantas de tabaco produciendo fructanos se desempeñaron significativamente mejor bajo estrés por sequía mediado por polietilenglicol. La tasa de crecimiento de las plantas transgénicas fue significativamente mayor, al igual que el peso fresco (+ 33 %) y el peso seco (+ 59 %). En el momento de la cosecha, las plantas transgénicas (KP) estresadas por la sequía produjeron significativamente más peso fresco y seco que las plantas de tabaco (WT) estresadas, la diferencia de peso observada entre las plantas KP y WT estresadas por la sequía fue especialmente pronunciada para las raíces: las raíces de las plantas KP aumentaron un 73 % en peso bajo estrés por sequía en comparación con las plantas no sometidas a estrés, mientras que las raíces WT mostraron una disminución.

Las plantas de tabaco transgénico que expresan el gen bacteriano SacB, que conduce a la acumulación de fructanos en una especie sin fructano nativo la introducción de la síntesis de fructano en el tabaco conduce a una mayor resistencia al estrés por sequía inducida. La novedad de estos resultados es que proporcionan los primeros datos experimentales que sugieren que la acumulación de fructanos en las plantas es efectiva como un dispositivo contra el estrés hídrico, por lo tanto, favorecemos la explicación de que la biosíntesis de fructanos está de alguna manera involucrada en el desempeño mejorado bajo estrés por sequía (Pilon *et al.* 1995).

2.5.3 La acumulación de inulina

El contenido de inulina en alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*) reportado por Li. W *et al.* (2015) varía dependiendo del estado fenológico, diez días antes de la floración era bajo y fue subiendo hasta 50 días después de floración, posteriormente presento una disminución gradual hasta el final a los 80 días después de floración.

2.5.4 Carbohidratos de reserva

Las plantas cuyas reservas de carbohidratos son el resultado de polifuctosanos de tipo inulina constituyen una fuente de carbohidratos que podrían utilizarse en la industria alimenticia.

El un estudio Ben *et al.* (2010) se centró en recopilar información sobre los patrones de reservas de carbohidratos durante el ciclo de crecimiento de los alcahofa de Jerusalén en donde la acumulación máxima de carbohidratos polimerizados se alcanzó a mediados de octubre (fin del crecimiento e inicio de la floración) hasta diciembre (justo después del período de maduración). Después de este período, el contenido de polifruktanos disminuye mientras que la concentración simple de carbohidratos aumenta.

2.6 Especie con acumulación de inulina

2.6.1 *Helianthus tuberosus*

La familia Asteraceae contiene 476 géneros, El género *Helianthus*, en la familia Asteraceae, tiene alrededor de 50 especies. La especie más importante en términos comerciales es el girasol cultivado (*Helianthus annuus* L.) principalmente por sus semillas oleaginosas. Por el contrario, *H. tuberosus* se distingue por sus tubérculos grandes, que han sido seleccionados por su valor alimenticio. Ninguna otra especie de *Helianthus* se cultiva en gran medida, aunque varias tienen valor como plantas ornamentales. La clasificación, identificación y distribución del género *Helianthus*.

Rizomas: extendiéndose hacia afuera y ligeramente hacia abajo desde el tallo subterráneo se ven rizomas delgados como cordones (tallos subterráneos) que crecen hasta 1.5 m. Los rizomas son generalmente blancos y forman tubérculos en sus puntas. Rutinariamente se ramifican con rizomas secundarios y terciarios formados, las plantas cultivadas en un suelo arcilloso donde los rizomas no podían penetrar formaban tubérculos a lo largo de la base de la parte superficial del tallo.

La inulina es el carbohidrato de almacenamiento de la alcachofa de Jerusalén, mientras que el almidón es el carbohidrato de almacenamiento en la mayoría de las plantas. Sólo un pequeño número de plantas acumulan inulina en cantidades suficientes para una extracción rentable, con achicoria (*Cichorium intybus* L.) y la alcachofa de Jerusalén es la especie más importante que almacena inulina.

La inulina se almacena principalmente en los tubérculos, pero el almacenamiento temporal también se produce en los tallos antes del llenado del tubérculo. La inulina da a la planta sus propiedades distintivas y su valor particular para la industria.

Los tubérculos de la alcachofa de Jerusalén típicamente comprenden aproximadamente 80 % de agua, 15 % de carbohidratos y 1 % a 2 % de proteína. Sin embargo, los datos sobre la composición de la alcachofa de Jerusalén son relativamente escasos en comparación con otros vegetales, y se han registrado variaciones significativas para ciertos parámetros.

El carbohidrato de almacenamiento de la alcachofa de Jerusalén es la inulina y, por lo tanto, el carbono en los tubérculos se encuentra predominantemente en forma de inulina (Kays y Nottingham, 2008).

2.7 Método para la obtención de inulina

Para la extracción de la inulina, las raíces o tubérculos son macerados y tratados con una lechada de cal y vapor, el jugo es entonces clarificado, previo a la reducción de volumen y filtración, el clarificado es pasado a un enfriador donde las hojuelas son producidas. Estas hojuelas son separadas por una centrífuga, lavadas y decoloradas, el producto purificado es tratado finalmente con ácido diluido por lo que entonces es convertido a oligofruktosa. Este hidrolizado es neutralizado y evaporado en un recipiente al vacío para obtener un jarabe (Martinez, 1999).

Se ha establecido que la fructosa pura (jarabe para diabéticos), se obtiene por la hidrólisis de la inulina con ácidos diluidos, ya que el antiguo proceso de preparación a partir de azúcar invertida o melazas no genera un producto puro, el primer paso en la producción de levulosa es la preparación de inulina. La primera etapa de la obtención de inulina se inicia con 1 kg de tubérculos de dalia previamente lavados los cuales son cortados para extraer el jugo utilizando una licuadora, seguidamente se agrega carbonato de calcio para regular el pH hasta 7.6 para evitar la hidrólisis de la inulina. El procedimiento continúa con la filtración y calentamiento a 70 °C para eliminar albuminoides hasta concentrar el líquido hasta la cuarta parte de volumen en el baño María.

Después de concentrar el extracto se añade alcohol al 96 %, determinándose que el volumen adecuado para la máxima precipitación de los cristales (con relación a la cantidad de extracto de los tubérculos de dalia) es de 1:1. Luego se enfria la muestra hasta una temperatura de 2 °C para lograr la formación de los cristales de inulina. Después de precipitar la inulina ésta fue sometida a filtración de los cristales usando una bomba al vacío los cuales se llevan a secar en una estufa con ventilación regulada a 30°C. (Fuentes *et al.*, 2013).

2.8 LITERATURA CITADA

Ben-Chekroun, M., Amzile, J., El-Yachioui, M., El-Haloui, N. E., and Prevost, J. (2010). Qualitative and quantitative development of carbohydrate reserves during the biological cycle of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 22,1, 31-37.

Biblioteca Digital De La Medicina Tradicional Mexicana. (2014). Atlas de la medicina tradicional mexicana (Dalia). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t&id=7386>

Bonnett, G. D., Sims, I. M., John, J. A. S. y Simpson R. J. (1994). Purification and characterization of fructans with (2,1) and (2,6) glycosidic linkages suitable for enzyme studies. *New Phytol.* 127, 261-269

De Luna-García, I., y Jarquín-Mendoza, C. A. (2015). Efecto de la fecha de siembra en la concentración de inulina en tubérculos de dalia (*Dahlia* spp.) (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. México.

Edelman J. and T. G. Jefford. (1968). The mechanism of fructosan metabolism in higher plants as exemplified in *helianthus tuberosus*. *New Phytol*, 67, 517-53.

Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, Estado de México. Recuperado de: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15099a.html>

Fuentes-Campos, M. E., Cotrina-Pedraza, L., Romero Guzmán, B. (2013). Extracción y caracterización de la inulina presente en los tubérculos de la *Dahlia* spp, Extraction and characterization of inulin from tubers of *dahlia* spp *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 31, 81-85.

Garzón-Solis, C., Mejía-Muñoz, J.M., Trejo-Calzada, R., Gómez-Lorence, F., Espinosa-Flores, A. Y Sánchez-Abarca, C. (2009). Fenología de *Dahlia campanulata* (*Dahlia campanulata* Saar) nueva especie para la horticultura ornamental. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 8, 18-24.

Heywood, V. And Harborne, J. (1977). The biology and chemistry of the compositae. *Academic Press* pp. 1489-1477.

Hincha, D. K., Hellwege, E. M., Heyer, A. G. and Crowe, J. H. (2000), Plant fructans stabilize phosphatidylcholine liposomes during freeze-drying. *European Journal of Biochemistry*, 267, 535-540.

Hong-Mei, S., Hai-Zhu, Z., Jun-Yan, Y., Ran, L., Hui, S. and Hong-Xin W. (2018). *In vitro* and *in vivo* antioxidant activities of inulin. *Plos ONE*. 13(2). 1-12.

Jiménez-Ruiz, E.F. (2017). Caracterización fisicoquímica y contenido de inulina en raíces tuberosas de cinco especies de dalia (*Dahlia* spp). (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. pp. 48-73.

Kays, S. J.; Nottingham, S. F., 2008. Chemical Composition and Inulin Chemistry .Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* L. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA, pp 29, 43, 53-58.

Laguna, C. A. (1992). Variabilidad genética y distribución geográfica de la *Dahlia* (*Dahlia* spp) y posible utilización en su mejoramiento genético. Resumen del III Congreso Nacional de Horticultura Ornamental. Cuernavaca, Morelos, México.

Laguna-Cerda, A., Valeriano-Martínez, J. y Guadarrama-Guadarrama M.E. (2004). Reducción de la altura en plantas de dalia [*Dahlia variabilis* (Willd.) Desf.] con Unicozole-P (Sumagic). *Ciencia Ergo sum*, 11(1), 59-64.

Madrigal, L., y Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. Caracas, Venezuela, *ALAN*, 57(4), 387-396.

Mera O. L. y Bye (2006). La Dahlia una belleza originaria de México. *Revista Digital Universitaria*, 7 (11) 2-11.

Niness, K.R. (1999). nutritional and health benefits of inulin and oligofructose. *American Society for Nutritional Sciences*, 129, 1402 - 1406.

Orthen, B. (2001). Sprouting of the fructan and starch storing geophyte *Lachenalia minima*: Effects on carbohydrate and water content within the bulbs *Physiologia Plantarum*, 113, 308-314.

Orthen, B. and Wehrmeyer, A. (2004). Seasonal dynamics of non-structural carbohydrates in bulbs and shoots of the geophyte *Galanthus*. *Physiologia Plantarum*, 120, 529-536.

Pichardo-Ruiz, F. D.; Villegas-Monter, Á.; Hernández-Livera, A.; Colinas-León, M. T. (2003). Cambios morfológicos en plantas de dalia (*Dahlia pinnata* cav.) tratadas con paclobutrazol. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 9(1), 151-161.

Pilon-Smits, E., Ebskamp, M., Paul, M. J., Jeuken, M., Weisbeek, P. J., and Smeekens, S. (1995). Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiology*. 107, (1), 125-130.

Prosky, L. (1999). Inulin and oligofructose are part of the dietary fiber complex. *Journal of AOAC International*, 82(2), 223-226.

QiuHong Y., Jianjing Z., Zhikun X., Yongwen C., Tianyun S., Xiaohua L., Zhaopu L., Xiumei G., Zed R., Jianfeng S., and Jing, Z. (2018). Inulin from Jerusalem artichoke tubers alleviates hyperlipidemia and increases abundance of bifidobacteria in the intestines of hyperlipidemic mice. *Journal of Functional Foods*, 40, 187-196.

Reddy, B. (1999). Possible mechanism by which pro-and prebiotics influence colon carcinogenesis and tumor growth. *Journal Nutrition*, 129(7), 1478-1482.

Roberfroid, M.B. (1999). Caloric value of inulin and oligofructose. *Journal Nutrition*, 129, 1436-1437.

- Saar, D. E; Sorensen P.D. y Hjerting J. P. (2003). *Dahlia campanulata* and *D. cuspidate*. (Asteraceae, Coreopsidae). Two new species from Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, 64, 19 - 24.
- Saar, De (2002) *Dahlia neglecta* (asteraceae): una nueva especie de Hidalgo, México. *Sida*, 20, 593-595.
- Saar, De y Sorensen P. D. (2000). *Dahlia parvibracteata* (Asteraceae): nueva especie de Guerrero, México. *Novon*, 10, 407-410.
- Saar, De., Polans, No. y Sorensen, PD. (2003). Un análisis filogenético del género *Dahlia* (Asteraceae) basado en regiones espaciales transcritas internas y externas de ADN ribosómico nuclear. *Systematic Botany*, 28, 627-639.
- Schneeman, B. O. (1999). Fiber, inulin and oligofructose: Similarities and differences. *Journal Nutrition*, 129, 1424-1427.
- Schorr. G. and Guiraud, J. P. (1997). sugar potential of different jerusalem artichoke cultivars according to harvest. *Bioresource Technology*. 60, 15-20.
- Treviño de Castro, G., Mera Ovando, L. M., Bye, B. R., Mejía-Muñoz, J. M., y Laguna-Cerda, A. (2007). Historia de la dalia (acocoxóchitl), la flor nacional de México. Tlalnepantla, Estado de México, México: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). pp 27.
- Valluru, R. and Van den Ende W. (2008). Plant fructans in stress environments: emerging concepts and future prospects. *Journal of Experimental Botany*, 59, 2905-2916.
- Van-Loo, J., Coussement, P., De Leenheer, L., Hoebregs, H., and Smiths, G. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 525-552.
- Vilarnau, E. G., y Guarro, E. (1974). *Jardinería: cultivo de las flores: Manual práctico, escrito especialmente para los aficionados a la jardinería*. Buenos Aires: Albatros. pp. 281 - 279.
- Wancong-Li., Jun-Zhang., Chunwei-Yu., Qing-Li., Fang-Dong., Gang-Wang., Guodong-Gu., Zhanyong-Guo. (2015). Extraction degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from *Jerusalem artichoke*. *Carbohydrate Polymers*, 121, 315-319.
- Wei-Liu., Jiajia-Wang., Zhenzhen-Zhang., Jinnan-Xu., Zhuohong-Xie., Margaret-Slavin., Xiangdong-Gao. (2014). *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of a fructan from the roots of *Arctium lappa* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 65, 446-453.
- Williams, C. (1999). Effect of inulin on lipid parameters in humans. *Journal Nutrition*, 129, 1471-1473.

III ACUMULACIÓN DE INULINA DURANTE EL DESARROLLO EN ESPECIES DALIA (*Dahlia spp.*) INULIN ACCUMULATION DURING DAHLIA SPECIES (*Dahlia spp.*) DEVELOPMENT

Isaias De luna Garcia¹ y Ma. de Jesùs Juàrez Hernandez²

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la dinámica de acumulación de inulina y materia seca en raíces tuberosas de *Dahlia neglecta*, *D. coccinea*, *D. brevis*, *D. x hortorum* y *D. parvibracteata* en las etapas de botón floral, floración y maduración. El estudio fue realizado en el Campo Experimental San Martín de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Se establecieron semilleros con una mezcla de sustrato de turba y vermiculita (2: 1, v / v) las plántulas se trasplantaron del invernadero a campo abierto a las 5 semanas después de la emergencia. El diseño de tratamientos fue un factorial que consistió en cinco especies de dalia y tres etapas de desarrollo con 15 tratamientos, cada uno con 8 repeticiones. La unidad experimental fue una planta, todas las plantas tuvieron las mismas condiciones ambientales. Las variables respuesta más importantes fueron el número de raíces tuberosas, la altura de la planta, el peso fresco y seco de la raíz tuberosa y el contenido de inulina, en los cuales la interacción entre las etapas de desarrollo y las especies de dalia fue significativa. Respecto al peso fresco de raíz tuberosa e inulina, *D. coccínea* y *D. x hortorum* aumentaron progresivamente conforme avanzaba el estado de desarrollo de las plantas, *D. coccínea* presentó los valores más sobresalientes de estas variables (2.78 kg / planta y 59.6 %,.) respectivamente en la etapa de maduración cuando su materia seca fue 23.4 % de las raíces tuberosas., por otra parte *D. parvibracteata* mostró mayor altura de planta que las demás especies.

Palabras clave: peso de la raíz, raíces tuberosas, *Dahlia spp.*

1 Tesista

2 Director

ABSTRACT

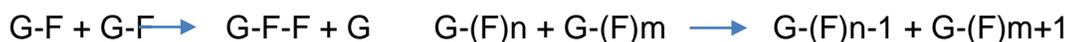
The objective of this study was to determine the dynamics of inulin and dry matter accumulation in tuberous roots of *Dahlia neglecta*, *D. coccinea*, *D. brevis*, *D. x hortorum* and *D. parvibracteata* during the floral-bud, flowering and maturation stages. The study was conducted in the San Martín experimental station at the Autonomous University of Chapingo, Mexico. A seed nursery with a substrate mixture of peat moss and vermiculite (2: 1, v / v) was established. The plantlets were transplanted from the greenhouse to the field at 5 weeks after germination. A factorial treatment design consisting of five *Dahlia* species and three development stages (15 treatments) each with 8 replications, was used. The experimental unit was one plant; all the them had the same environmental conditions. The most important variables were roots number, plant height, the fresh and dry weight and the inulin content of the tuberous root. The interaction between development stages and dahlia species on these variables was significant. The fresh weight and inulin content of tuberous root of *D. coccinea* and *D. x hortorum* progressively increased as the stage of development of the plants progressed. *D. coccinea* presented the higher values of these variables (2.78 kg / plant and 59.6 %) at maturation stage, when its dry matter was 23.4 %, however, *D. parvibracteata* showed a higher plant height than the other species.

Key words: root weight, tuberous roots, inulin content.

3.1 INTRODUCCIÓN

Ante los problemas de sobrepeso, azúcar en la sangre y enfermedades digestivas el consumo de alimentos que ayuden a combatir estos trastornos es cada día más indispensable. Por lo que se ha incrementado el interés sobre alimentos funcionales, la inulina es considerada como alimento funcional (Madrigal y Sangronis 2007), y sus beneficios en la alimentación humana son el de fibra dietética con los efectos fisiológicos atribuibles a este tipo de compuestos como son la disminución de lípidos y glucosa en la sangre y la acción laxante, otro beneficio ligado al anterior es la capacidad de la inulina de modular la flora intestinal.

La inulina es un carbohidrato lineal de unidades de D-fructosa (F) con enlaces β (2 \rightarrow 1) y una Glucosa (G) en un extremo. En las plantas, la inulina es sintetizada a partir de la sacarosa (G-F) por la acción de dos enzimas llamadas fructosiltransferasas según el modelo de Edelman y Jefford (1967):



la inulina es un fructano producido por las plantas, como la achicoria (*Cichorium intybus*), alcachofa (*Cynara scolymus*), dalia (*Dahlia spp.*).

La dalia pertenece a la familia de las Asteraceae o Compositae (compuestas), cuenta con más de 41 especies (Asociación Mexicana de la Dalia 2014; castro *et.al.*,2014) con centro de origen mexicano, las raíces tuberosas de dalia son una fuente de almacenamiento de inulina, aunque también se encuentra eriodictiol, diastasa, fitina y ácido benzoico, componentes químicos que son medicinalmente activos (Whitley, 1985; Biblioteca digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2014).

Una parte de los azúcares de la fotosíntesis forman productos de reserva dependiendo del estado fisiológico de oferta y demanda dentro de la planta. La inulina además de ser un carbohidrato de reserva también juega un papel

importante en la protección celular y ajuste osmótico, en el caso de estrés hídrico (Guzmán *et al.*, 2015). La acumulación de inulina y la biomasa de raíces tuberosas es variable entre especies del género *dalia* al respecto se conoce poco sobre este tema. (De luna y Jarquín, 2015) Por tal motivo en esta investigación se determinó la dinámica de acumulación de inulina en diferentes especies de *dalia* durante tres etapas de desarrollo: botón floral, floración y madurez.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se estudiaron cuatro especies silvestres de *dalia* y una cultivada en cuanto al contenido y la manera de acumular los azúcares de reserva, así como la biomasa radical. El experimento inició con la germinación de las semillas de las diferentes especies de *dalia*. Se usaron charolas de unicel con 200 cavidades, donde se depositó dos semillas por cavidad, el tiempo de emergencia fue diferente, de tal manera que *Dahlia x hortorum* tardó 5-8 días, *Dahlia coccínea* pasados 25-30 días, *Dahlia brevis* 15-20 días, *Dahlia neglecta* 15-25 días y *Dahlia parvibracteata* 10-18 días, cuando las plantas alcanzaron una altura de 10-15 cm se realizó el trasplante en la parcela experimental

3.2.1 Localización y fecha del experimento

El trabajo se realizó en el Campo Experimental San Martín de la Universidad Autónoma Chapingo que se encuentra ubicado en las coordenadas 19°29'23"N y 98°53'37"O y altitud de 2246 m.s.n.m.

3.2.2 Características edafoclimáticas del lugar del experimento

El clima es templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9°C, con heladas poco frecuentes y una precipitación pluvial media anual de 686.0 mm. Sus vientos dominantes son del sur (Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones en línea, 2018)

El suelo de la parcela experimental tuvo un pH de 7.48 y una conductividad eléctrica de 0.73 dSm^{-1} , de textura es franco arcilloso y una capacidad de intercambio catiónico de $24.4 \text{ Cmol, Kg}^{-1}$ con una densidad aparente de 1.29 g/cm^3

3.2.3 Germinación, trasplante, requerimientos hídricos y nutrimentales

Para el establecimiento del experimento se partió de semillas silvestre provenientes de colectas, se seleccionaron las semillas que tenían sanidad y mayor tamaño para la reparación del sustrato se mezclaron peat moss y vermiculita (2:1), v/v. La mezcla se colocó sobre un plástico y se agregó agua hasta llevarla a capacidad de campo, una vez llenadas las charolas la siembra se realizó colocando 2 semillas de cada especie en una cavidad, procurando que la semilla quedara a 0.5 cm de profundidad, en seguida las charolas fueron sobrepuestas una con otra y tapadas con un plástico de color negro, todo esto se realizó con la finalidad de dar las mejores condiciones para favorecer su germinación. El trasplante se realizó cinco semanas después de la germinación de la siguiente manera, con una estaca se hizo un orificio en el campo y se colocó la plántula hasta cubrir el cepellón (5-8 cm); la distancia entre plantas fue de 40 cm y entre surcos de 80 cm. Una vez trasplantadas las plantas, los riegos se realizaron cada día hasta cumplir dos semanas después de este tiempo, se regó cada 2 o 3 días con agua libre de sales proveniente del pozo profundo del sistema de bombeo del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo; en días de lluvia, se suspendió el riego.

3.2.4 Manejo agronómico

El terreno donde se trabajó se surcó con intervalos a 80 cm entre surcos y con una altura de surco de aproximadamente 15 cm, posterior al surcado se instaló el sistema de riego colocando una cintilla por surco, en seguida se procedió a trasplantar. Los deshierbes fueron manuales y se realizaron en cuanto fue requerido, la aplicación de fertilizante fue granulado la cual fue de la formula

triple 17 a razón de 3 gramos por planta, se realizaba cada mes hasta la etapa de floración.

3.2.5 Variables respuesta

Para la evaluación de las variables respuesta se cultivaron las plantas de dalia hasta llegar al estado fenológico de interés: cabe mencionar que ninguna especie coincidió ya que los ciclos de cultivos entre especies difieren.

Las variables agronómicas fueron altura de planta (cm), diámetro del tallo basal (cm), número de raíces tuberosas, peso fresco (g) de raíces tuberosas, peso seco de parte aérea, materia seca de las raíces tuberosas y concentración de inulina en las raíces tuberosas (% en base seca), todas las variables se evaluaron durante las tres etapas fenológicas que fueron:

Etapa de botón floral. Cuando las plantas de la especie a evaluar llegaban a esta etapa en un 80 % de toda su población de las plantas que conformaba la parcela experimental se procedía a medir todas las variables respuesta planteadas

Etapa de floración. Cuando las plantas de la especie a evaluar llegaban a esta etapa en un 80 % de toda su población de las plantas que conformaba la parcela experimental se procedía a medir todas las variables respuesta planteadas

Etapa de maduración. Se tomaron todas las variables respuesta cuando todas las plantas de cada especie se secaron de la parte aérea.

3.2.5.1 Altura de planta

Con el propósito de determinar la variable altura de planta, se tomaron ocho plantas al azar de cada especie en botón floral, floración y al final del ciclo, se midieron con un flexómetro graduado desde la base hasta el ápice principal.

3.2.5.2 Diámetro basal del tallo

En el registro del diámetro basal se midió a nivel del suelo para ello se utilizó un vernier, se realizó en los tiempos establecidos.

3.2.5.3 Número de raíces tuberosas por planta

Para llevar a cabo la medición de esta variable se extrajeron las raíces tuberosas con una pala, posteriormente se cuantificó el número de raíces tuberosas totales por planta en los tres estados fenológicos, botón floral, floración, y madurez.

3.2.5.4 Peso fresco de raíces tuberosas por planta

Para determinar el peso fresco de esta variable después de cuantificar el número de raíces tuberosas se pesaron en una balanza digital.

3.2.5.5 Materia seca de la raíz tuberosa

Para la determinación de la materia seca de las raíces tuberosas, estas se cosecharon e inmediatamente se pesaron 100 gramos de materia fresca, como muestra de cada especie, con un total de ocho repeticiones por especie. Posteriormente se procedió a cortarla s en rodajas de 1-2 milímetros de grosor en seguida se colocaron las muestras en la estufa de secado a 60 °C por dos días y el porcentaje de materia seca se calculó mediante la siguiente ecuación

$$\% \text{ de materia seca de raíz tuberosa} = \frac{\text{Peso de la raíz tuberosa seca}}{\text{Peso de la raíz tuberosa fresco}} \times 100$$

3.2.5.6 Peso seco de la parte aérea

Para la cuantificación de la materia seca de la parte aérea en las diferentes etapas de estudio, la parte aérea de plantas se metió en bolsas de papel para posteriormente introducirlas a la estufa a 60°C por dos días, una vez transcurrido el tiempo de secado se obtuvo el peso seco con una báscula digital.

3.2.6 Método para la cuantificación de inulina:

De la parcela experimental se tomaron plantas al azar por especie para lo cual las raíces tuberosas antes de ser analizadas se cortaron en pequeñas rodajas (menor de 1 mm de grosor) y se tomó una pequeña cantidad (5-10 g). Las muestras fueron cubiertas con un pedazo de tela que dejaba pasar libremente el aire (manta de cielo) y antes de ser liofilizadas se metieron a un tanque de nitrógeno líquido para congelarlos.

La inulina de dalia se extrajo de acuerdo a la metodología reportada por (Leite *et. al.* 2007) con algunas modificaciones según la siguiente descripción.

1. Tamizado: se tomaron las muestras liofilizadas y se molieron en un mortero de porcelana hasta que quedó un polvo fino.
2. Mezclado: posteriormente se mezcló el polvo de dalia 1:10 con una solución con agua destilada al 2 % con tierras diatomeas, con un pH de 7.2.
3. Calentado y agitación: la mezcla preparada anteriormente se llevó a baño maría a una temperatura de 80 °C por un lapso de 60 minutos con una agitación continua para lo ello se utilizó el agitador THERMO SCIENTIFIC.
4. Filtrado: se filtró con papel whatman del número dos para poder retener partículas de 8 um, con ayuda de una bomba de vacío, después del filtrado se procedió a desechar las partículas más grandes y sólo se quedó con el jugo extraído en donde se encontraba la inulina.
- 5.-Congelacion: El líquido extraído se llevó a congelación a una temperatura de -20 °C por 24 horas.
- 6.- Centrifugado: Después de que la muestra pasó las 24 horas congeladas, se procedió a su descongelación a temperatura ambiente hasta alcanzar los a 4

°C, posteriormente las muestras se centrifugaron a 3000 revoluciones por 15 minutos y el sobrenadante se desechó.

7.- Cuantificación de la inulina: Después del centrifugado la inulina precipitada se metió a la estufa de secado a 60° C por 24 horas una vez seca se determinó el porcentaje de inulina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inulina} = \frac{\text{Peso de inulina}}{\text{Peso de materia seca}} \times 100$$

Proceso de extracción de inulina en raíces tuberosas

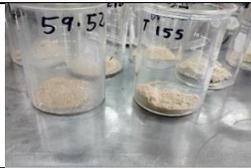
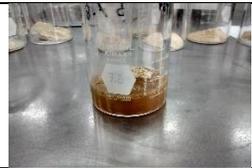
La muestra se molió en mortero de porcelana	Muestras de dalia en frascos para la extracción de inulina	Mezcla de las muestras con la solución de tierras diatomeas	Baño maría a 80°C para extracción de inulina
			
Después del baño maría	Filtrado de las muestras con una bomba de vacío	Extracto listo para ser congelado a -20 °C	Muestras congeladas
			
Descongelamiento a temperatura ambiente	Centrifugada a 3000 revoluciones durante 15 minutos	Separación del sobrenadante por decantación	Inulina después del centrifugado y la decantación
			

Figura 1 Proceso de extracción de Inulina

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos de las especies *D. coccinea*, *D. x hortorum*, *D. brevis*, *D. parvibracteata*, *D. neglecta*, de las variables altura de planta, diámetro basal del tallo, número de raíces tuberosas, peso seco de la parte aérea, peso fresco de las raíces tuberosas, inulina y materia seca de la raíz, fueron analizados estadísticamente con un análisis de varianza y una prueba de medias de ($P \leq 0.05$) donde se mostraron diferencias estadísticas sobre todas las variables evaluadas, mostrando los mejores tratamientos .

Cuadro 2 Análisis de varianza de las variables evaluadas de cinco especies de dalia

F.V.	G. L.	AP	NR	DB	PR	MS	MSR	IN
Tratamientos	14	1797 7.15*	1990.2 7**	9.32 **	6217269.9 0**	54943.35 **	1433.54 **	1923.65**
Error	105	259.9 0	74.55	.294	198252.39	3895.48	68.84	96.19
Total	119							
C.V.		0.140 7	0.336	0.21 92	0.4247	0.4077	0.11335 8	0.280

**significativo a una $p \leq 0.01$; FV: fuente de variación; C.V.: coeficiente de variación; G.L.: grados de libertad; AP: altura de planta; NR: número de raíces tuberosas; DB: diámetro basal; PR: peso de raíces tuberosas por planta; MS: materia seca de la parte aérea; MSR: materia seca de la raíz tuberosa; IN: inulina.

3.3.1. Altura de planta

Los resultados de la altura de planta (Cuadro 3) muestra que *D. brevis* en sus tres etapas evaluadas, botón floral (32.7 cm), floración (33.1 cm) y madurez

(40.3 cm) y *D. x hortorum* (45.6 cm) en botón floral tuvieron el mismo comportamiento ($p \leq 0.05$) esto se puede deber a varios factores, uno de ellos es a las características morfológicas propias de las especie Sorensen (1969). Mientras que los valores más altos fueron para *D. neglecta*-madurez (147.25 cm), *D. parvibracteata*-floración (148.375 cm), *D. neglecta*-floración (152.9375 cm), *D. parvibracteata*-botón floral (162.25 cm) y *D. parvibracteata*-madurez (164.8 cm). Por otra parte, el pH del suelo donde se cultivó era ligeramente alcalino de 7.8 lo que pudo ocasionar dificultades para su desarrollo en general para todas las especies evaluadas (Yamaguchi, 2005). En estudios anteriores, Pineda-Marín (2016) reporto alturas de 42 cm para *D. sherffii*, los cuales son similares a alturas presentadas en este estudio para *D. brevis* en las tres etapas en las que se evaluó y para *D. x hortorum* en botón floral y para *D. coccinea* reporto 200 cm en floración, valores por arriba de los encontrados en este trabajo para *D. coccinea* en floración. Por otra parte Garzón *et al.*(2008), reportaron una altura de 0.3 hasta 1.07 metros para *D. campanulata* en condiciones de cultivo, valores similares para *D. coccinea* en botón floral, floración, y para *D. x hortorum* en floración y fin del ciclo, así también Pichardo *et al.*(2002), reportaron altura de 92.3 cm en *Dahlia pinnata* con el tratamiento de 0.0 ppm de paclobutrazol, valor similar al de *D. x hortorum* en floración y fin del ciclo fenológico; así también Laguna-Cerda *et al.*(2003), reportaron una altura de 90.17 cm y 90.67 cm para *D. variabilis* en el tratamiento 0.0 ppm de uniconazole-p, valores por debajo de los encontrados para *D. coccinea*, *D. parvibracteata* y *D. neglecta* en sus tres etapas fenológicas estudiadas, pero similares a las alturas de *D. x hortorum* en floración y fin del ciclo. Las alturas alcanzadas posiblemente sean determinadas más fuertemente por la información genética inherente puesto que en el género *dalia* las especies son determinadas debido a que crecen hasta cierto tamaño, florecen una sola vez y mueren (anuales) (Salisbury-Roos,1992) y por la interacción ambiente-genotipo. Debido a que los materiales estudiados son especies diferentes entre sí y su hábitat natural no coincide al entorno en las que se evaluaron, por lo cual esto

pudo provocar un estrés (temperatura alta) lo que pudo haber influido de manera favorable o desfavorable en su crecimiento (Salisbury y Roos, 1992).

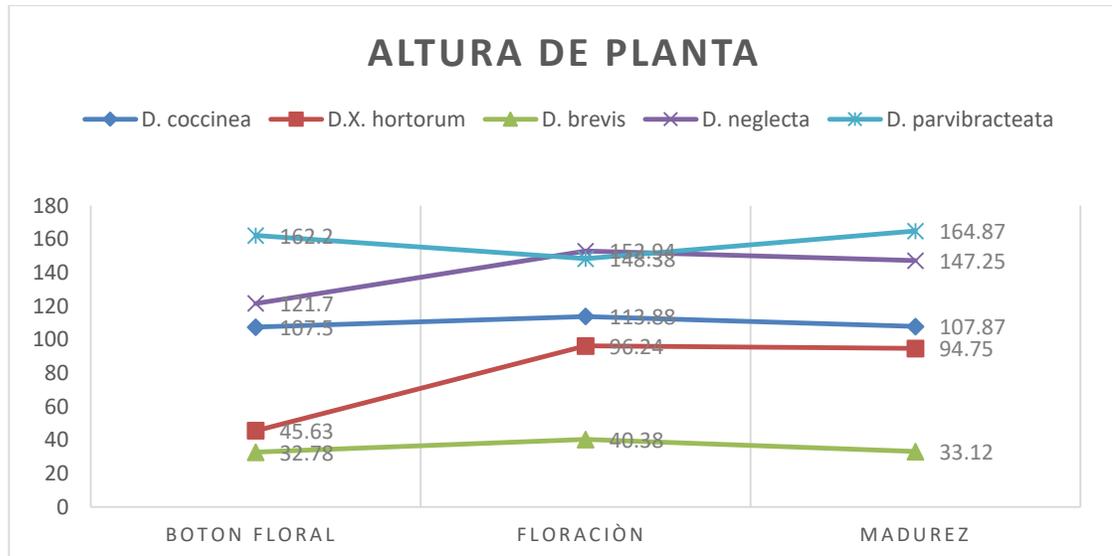


Figura 2 Altura de planta (cm) de cinco especies de *Dalia* en botón floral, floración y madurez.

Cuadro 3 Comparación de medias de altura de planta (cm) de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.

Tratamiento	Altura de planta, cm
<i>D. brevis</i> -botón floral	32.7 d ^t
<i>D. brevis</i> -madurez	33.1 d
<i>D. brevis</i> -floración	40.3 d
<i>D. x hortorum</i> - botón floral	45.6 d
<i>D. x hortorum</i> -madurez	94.7 c
<i>D. x hortorum</i> -floración	96.2 c
<i>D. coccinea</i> -botón floral	107.5 c
<i>D. coccinea</i> -madurez	107.8 c
<i>D. coccinea</i> -floración	113.8 c
<i>D. neglecta</i> -botón floral	121.7 bc
<i>D. neglecta</i> -madurez	147.2 ab
<i>D. parvibracteata</i> -floración	148.3 ab
<i>D. neglecta</i> -floración	152.9 a
<i>D. parvibracteata</i> - botón floral	162.2 a
<i>D. parvibracteata</i> -madurez	164.8 a
DMSH	22.60

^t Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

3.3.2 Peso seco de la parte aérea

Los resultados (Cuadro 4) de peso seco de la parte aérea muestra que *D. brevis* en botón floral (1.9 g), floración(6 g) y madurez (7.5 g) es estadísticamente igual ($p \leq 0.05$) a *D. x hortorum* en botón floral (23.6 g), las cuales fueron los valores más bajos encontrados en este estudio, sin embargo los valores más altos pertenecen a las especies de *D. coccinea*-madurez (140.8 g), *D. coccinea*-boton floral (164.4 g), *D. neglecta*-boton floral (164.4 g), *D. parvibracteata*-madurez (173.1 g), *D. hortorum*-floración(176.3 g), *D. parvibracteata*-boton floral (222.7 g), *D. neglecta*-floración (223.7 g) y *D. neglecta*-madurez (248.9 g) los cuales son estadísticamente igual entre sí en cuanto a materia seca de la parte aérea.

Las biomásas acumuladas de las especies evaluadas donde los tallos, hojas, flores, botones florales, semillas varió dependiendo de las características fenotípicas propias de cada especie descritas por Sorensen (1969) (Saar y Sorensen, 2000), (Saar, 2002). por lo que *D. parvibracteata*, *D. neglecta* y *D. coccinea* al ser Dalias arbustivas presentaron los valores más altos de materia seca, caso contrario al de *D. brevis* que es una planta de porte bajo.

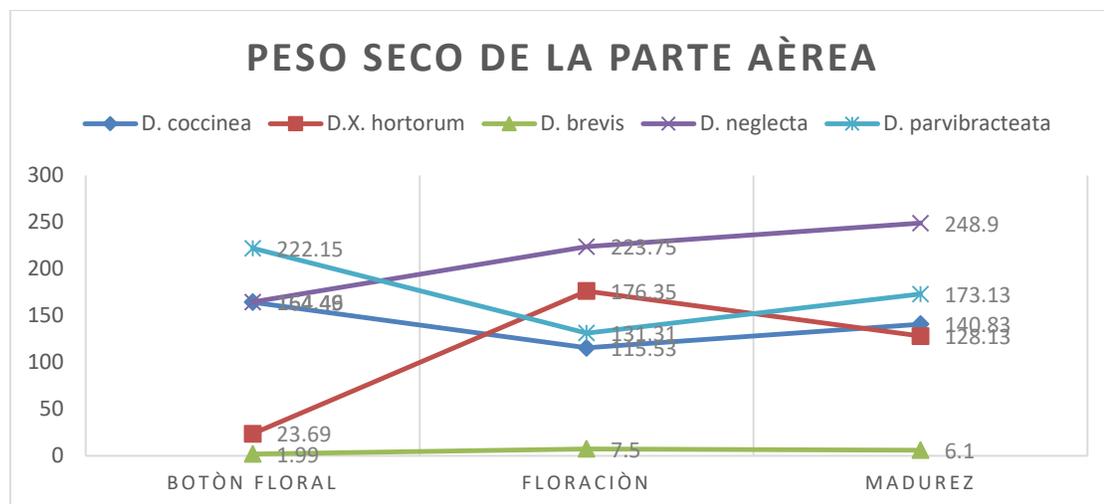


Figura 3 Materia seca de la parte aérea, de cinco especies de dalia en botón floral, floración y madurez

Cuadro 4 Comparación de medias de peso seco de la parte aérea de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.

Tratamiento	Medias
<i>D. brevis</i> -boton floral	1.9 e ^t
<i>D. brevis</i> -madurez	6.0 e
<i>D. brevis</i> -floración	7.5 ed
<i>D. x hortorum</i> -boton floral	23.6 edc
<i>D. coccinea</i> -floración	115.5 dcb
<i>D. x hortorum</i> -madurez	128.1 cb
<i>D. parvibracteata</i> -floración	131.3 cb
<i>D. coccinea</i> -madurez	140.8 ba
<i>D. coccinea</i> -boton floral	164.4 ba
<i>D. neglecta</i> -boton floral	164.4 ba
<i>D. parvibracteata</i> -madurez	173.1 ba
<i>D.x hortorum</i> -floración	176.3 ba
<i>D. parvibracteata</i> -boton floral	222.1 ba
<i>D. neglecta</i> -floración	223.7 ba
<i>D. neglecta</i> -madurez	248.9 a
DMSH	87.5

^t Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

3.3.3. Diámetro basal del tallo

Los resultados presentados de diámetro basal muestran (Cuadro 5) que *D. brevis* en sus tres etapas evaluadas, botón floral (0.2 cm), floración (0.3 cm)

ymadurez (0.4 cm) presentaron valores más bajos del estudio así también fueron estadísticamente iguales entre sí ($p \leq 0.05$); por el contrario los valores más altos fueron para *D. x hortorum*-madurez (2.48 cm), *D. neglecta*-botón floral (2.8 cm), *D. neglecta* en floración (2.9 cm), *D. coccinea*-madurez (3 cm), *D. parvibracteata*- botón floral (3 cm), *D. x hortorum* en floración (3.3 cm) y *D. neglecta* (3.4 cm), los cuales fueron estadísticamente iguales entre sí.

El diámetro del tallo basal puede ser un indicador del vigor de la parte subterránea de la planta ya que como lo indicaron Mejía-Muñoz y Mendoza-Arizmendi (1995) existe una relación entre el diámetro de la corona, el peso y número de las raíces tuberosas, cabe mencionar que las especies se desarrollaron bajo las mismas condiciones edafoclimáticas por lo que los resultados se derivan de las características propias de cada especie descritas por Sorensen (1969), (Saar y Sorensen, 2000), (Saar, 2002).

En estudios recientes De luna-García, I., y Jarquín-Mendoza, C. A (2015) reportaron 4.35 cm , 5.1 cm y 5.9 cm de diámetro basal para *D. x hortorum*, valores por arriba de los encontrados en este trabajo, por otro lado Jiménez (2017) presentó datos de *D. brevis*, *D. coccinea* y *D. x hortorum* de 0.69 cm, 2.35 cm y 1.54 cm respectivamente comparando los valores encontrados en esta investigación con la misma especie, los valores son similares para *D. coccinea* y *D. x hortorum* medidos en botón floral , mientras que *D. coccinea* en floración fue similar, para *D. x hortorum* los valores fueron menores a los encontrados en este estudio, y para los resultados al final del ciclo , para *D. coccinea* y *D. x hortorum* los valores presentados es este estudio fueron superiores.

En otro estudio Pineda-Marín, L. (2016) reportó para *D. coccinea* y *D. sherffii* 1.7 cm y 1.4 cm respectivamente, para *D. coccinea* los valores medidos en estado de botón floral, floración y madurez, fueron más altos, para las demás especies, por el contrario, para *D. brevis* el diámetro fue menor. Por otra parte, Pichardo-Ruiz *et al* (2003) reportó para *D. pinnata* 1.66 cm de diámetro, valor similar al obtenido para *D. x hortorum* en botón floral.

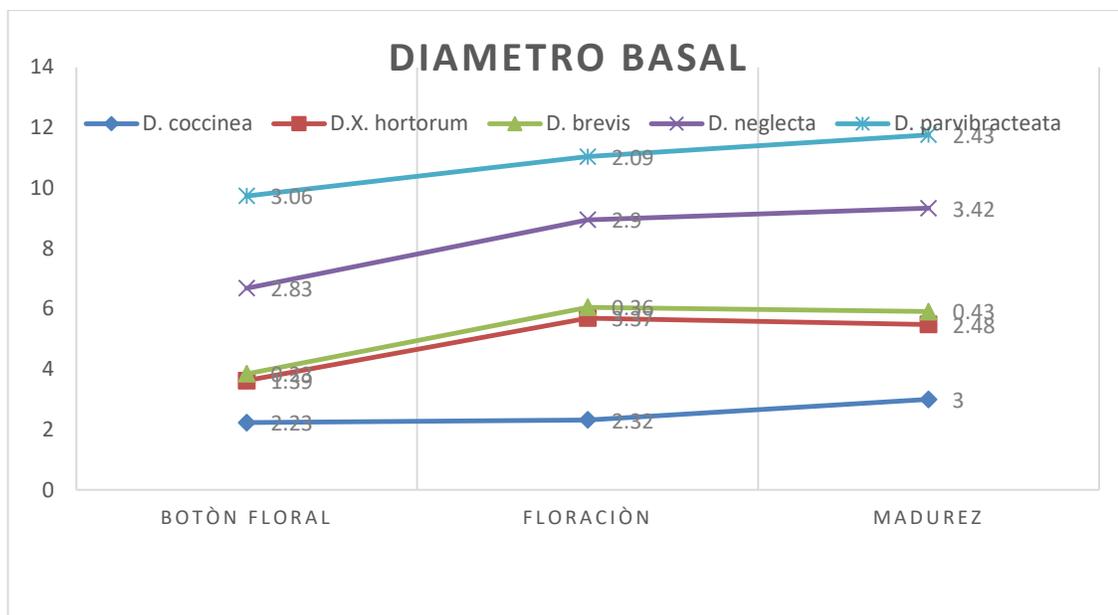


Figura 4 Diámetro basal del tallo en cm. de cinco especies de dalia medido en la etapa de botón floral, floración y madurez.

Cuadro 5 Comparación de medias de diámetro basal del tallo de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.

Tratamientos	Medias
<i>D. brevis</i> - botón floral	0.23 f ^t
<i>D. brevis</i> -floración	0.36 f
<i>D. brevis</i> -madurez	0.43 f
<i>D. x hortorum</i> - botón floral	1.39 f
<i>D. parvibracteata</i> -floración	2.09 ed
<i>D. coccinea</i> - botón floral	2.2 edc
<i>D. coccinea</i> -floración	2.3 edc
<i>D. parvibracteata</i> -madurez	2.43 dcb
<i>D. x hortorum</i> -madurez	2.48 dcba
<i>D. neglecta</i> - botón floral	2.8 dcba
<i>D. neglecta</i> -floración	2.9 dcba
<i>D. coccinea</i> -madurez	3 0 dcba
<i>D. parvibracteata</i> - botón floral	3.06 cba
<i>D. x hortorum</i> -floración	3.3 ba
<i>D. neglecta</i> -madurez	3.4 a
DMSH	.76

^t Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

3.3.4 Número de raíces tuberosas

El número de raíces tuberosas (Cuadro 6) muestran ($p \leq 0.05$) que *D. brevis*, en sus tres etapas botón floral (1.6) , floración (2.2) y madurez (2.5) fue estadísticamente igual entre las tres etapas de desarrollo, los cuales son los valores más bajos ($p \leq 0.05$), por otro lado *D. neglecta* en botón floral (35.7) *D. coccinea*-madurez (36.75), *D. neglecta*-floración (47.5), y *D. neglecta* en madurez (50.2) fueron estadísticamente iguales entre sí, mostrando los valores más altos en el número de raíces tuberosas por planta.

Aunque las dosis de fertilizantes que se aplicaron fue la misma para todas las especies, pudiera ser que el nitrógeno aplicado pudo provocar una inhibición en cierta medida en la formación de raíces tuberosas Krauss A (1985). Por otra parte, la formación de raíces tuberosas se ve afectado negativamente por el fotoperiodo de día largo mientras que el fotoperiodo de día corto incrementa la acumulación de fructanos en plántulas de dalia Legnani et al. (2001) ya que todas las especies se desarrollaron bajo las mismas condiciones, por tal motivo el número de raíces tuberosas pudieran derivarse de las características fenotípicas propias de las especies, descritas por Sorensen (1969), (Saar y Sorensen, 2000), (Saar, 2002)

En estudios recientes De luna-García, I., y Jarquín-Mendoza, C. A (2015) reportaron un numero de 13 raíces tuberosas por planta para *D. x hortorum*, valores por debajo al encontrado durante la etapa de botón floral y floración para la misma especie mientras que para el final del ciclo el valor encontrado fue mayor. Por otra parte, Laguna-Cerda et al. (2003), reportaron 20.5 raíces tuberosas para *Dahlia variabilis*, valor similar al encontrado en este trabajo para *D. coccinea* en botón floral, *D. parvibracteata* y *D.x hortorum* en madurez ò el final del ciclo.

En este contexto Pichardo et al. (2003), reportó para *Dahlia pinnata* 6.7 raíces tuberosas, valor por arriba del encontrado en este trabajo para *D. brevis* y por debajo para las demás especies.

Pineda (2016), reportó para *D. coccínea* 43 raíces tuberosas valor por arriba del encontrado en este estudio para *D. coccínea* en sus tres evaluaciones así también reportó 8 raíces tuberosas para *D. sherffii*, valor por arriba de *D. brevis*, pero por debajo de las demás especies.

Jiménez-Ruiz (2017) reporta 8 raíces tuberosas para *D. coccínea*, valor por debajo de los encontrados en este trabajo para la misma especie evaluada, mientras que para *D. x hortorum* reportaron una media de 9.7 raíces tuberosas valor similar al presentado en este trabajo para la misma especie en botón floral, pero valores por debajo a los cuantificados en las etapas de floración y fin del ciclo, pudiera deberse a los aporques que se le realizó ya que estos pudieran provocar la diferenciación de raíces tuberosas.

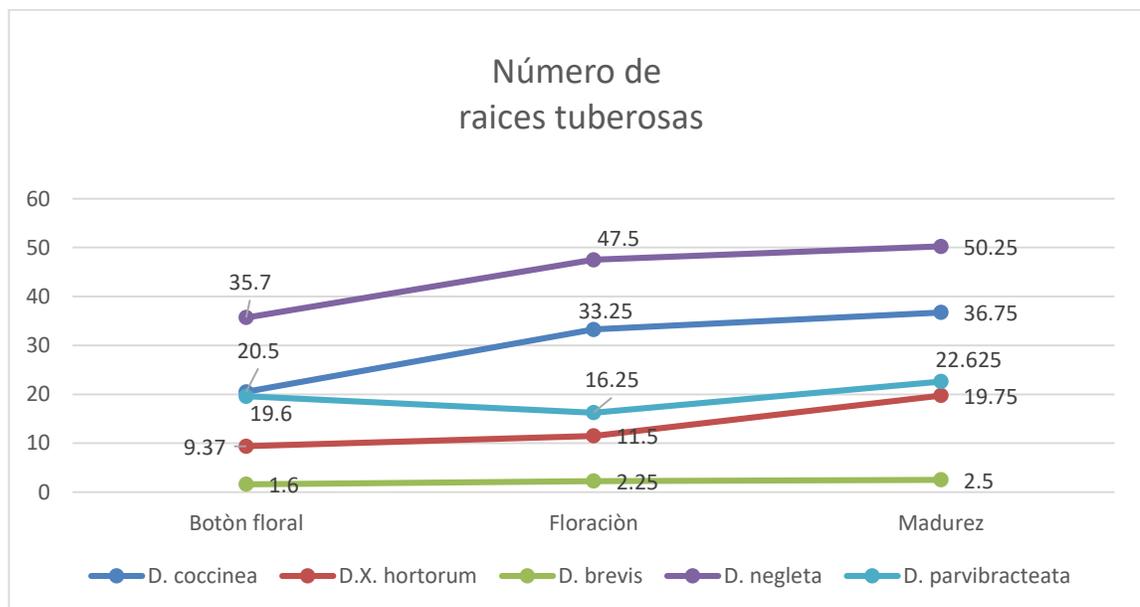


Figura 5 Número de raíces tuberosas en la etapa de botón floral, floración y fin del ciclo en diferentes especies de dalia.

Cuadro 6 Comparación de medias de número de raíces tuberosas de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.

Tratamientos	Número de raíces tuberosas
<i>D. brevis</i> -botón floral	1.6 f t
<i>D. brevis</i> -floración	2.2 f
<i>D. brevis</i> -madurez	2.5 f
<i>D. x hortorum</i> - botón floral	9.3 ef
<i>D. x hortorum</i> -floración	11.5 ef

<i>D. parvibracteata</i> -floración	16.2 ef
<i>D. parvibracteata</i> - botón floral	19.6 de
<i>D. x hortorum</i> -madurez	19.7 de
<i>D. coccinea</i> - botón floral	20.5 de
<i>D. parvibracteata</i> -madurez	22.6 cde
<i>D. coccinea</i> -floración	33.2 bcd
<i>D. neglecta</i> - botón floral	35.7 abc
<i>D. coccinea</i> -madurez	36.7 abc
<i>D. neglecta</i> -floración	47.5 ab
<i>D. neglecta</i> -madurez	50.2 a
DMSH	12.10

[†] Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

3.3.5 Peso fresco de raíz tuberosa

Los resultados presentados muestran (Cuadro 7) el peso de raíces tuberosas g/planta donde *D. brevis*-boton floral (8.3 g.), *D. hortorum*-boton floral (22.6 g), *D. brevis*-floración (40.6 g), *D. brevis*-madurez (78.4 g), *D. hortorum*-floración (156.8 g) fueron los valores más bajos ($p \leq 0.05$) por el contrario el valor más alto fue para *D. Coccinea*-floración (2604.7 g), *D. coccinea*-madurez (2785 g.) los cuales fueron estadísticamente iguales entre sí. El peso fresco de raíz tuberosa puede ser influenciado directamente por la actividad de la enzima fructosiltransferasa encargada de la fabricación de la inulina que al acumularse en mayor proporción el peso de la raíz tuberosa aumenta (Vijn, R. y Smeeken, S.1999). Por otra parte (Legnani *et al.*, 2001) reporta que los días cortos estimulan la formación de raíces tuberosas en por lo que pudiera existir una relación entre la cantidad de raíces tuberosas y el peso fresco total de las raíces de las especies, las especies de *D. coccinea*, *D. neglecta* son de porte arbustivo Sorensen (1969), (Saar y Sorensen, 2000), (Saar, 2002). de tal manera que en el presente trabajo estas especies presentaron mayor peso de raíces tuberosas lo que pudiera indicar que existe una relación entre mayor altura y peso de raíces tuberosas. En otros estudios Garzon *et al.* (2009) reportaron de 0.35 kg. a 5.5 kg. y 1.7 kg a 2 kg de raíces tuberosas para *D. campanulata* valores dentro del rango a los registrados en este trabajo para las especies evaluadas

excepto *D. brevis*, mientras que Pichardo *et al.* (2003) reportaron 221.4 g. para *D. pinnata* valor similar el registrado para *D. x hortorum* en floración. Por otro parte Pineda (2016) reporto 1300 g para *D. coccinea*, valor por debajo cuando se midió en botón floral, mientras que cuando se midió en floración y final del ciclo los valores estuvieron por arriba para la misma especie evaluada. En este contexto Jiménez-Ruiz (2017) reporto pesos de raíz tuberosa de *D. brevis*, *D. coccinea* y *D. x hortorum* de 72.2 g ,871.6 g y 303.1 g/planta respectivamente , comparando los datos obtenidos, *D. brevis* estuvo por debajo en botón floral y floración mientras que al final del ciclo fue ligeramente superior, para *D. coccinea* en botón floral los valores registrados fueron inferiores , mientras que en floración y al final del ciclo obtuvo un rendimiento ampliamente superior, para *D. x hortorum* el rendimiento obtenido en botón floral y floración fue inferior , para el final del ciclo la media obtenida en este estudio fue superior al reportado. Mientras que De luna y Jarquín (2015) reportaron 358.4 g, 248.7 g y 306.2 g/planta para *D. x hortorum*, comparando con la misma especie en este estudio en las etapas botón floral y floración se obtuvieron pesos por debajo, por el contrario, para el final del ciclo se encontró un peso superior al reportado por De luna y Jarquín (2015).

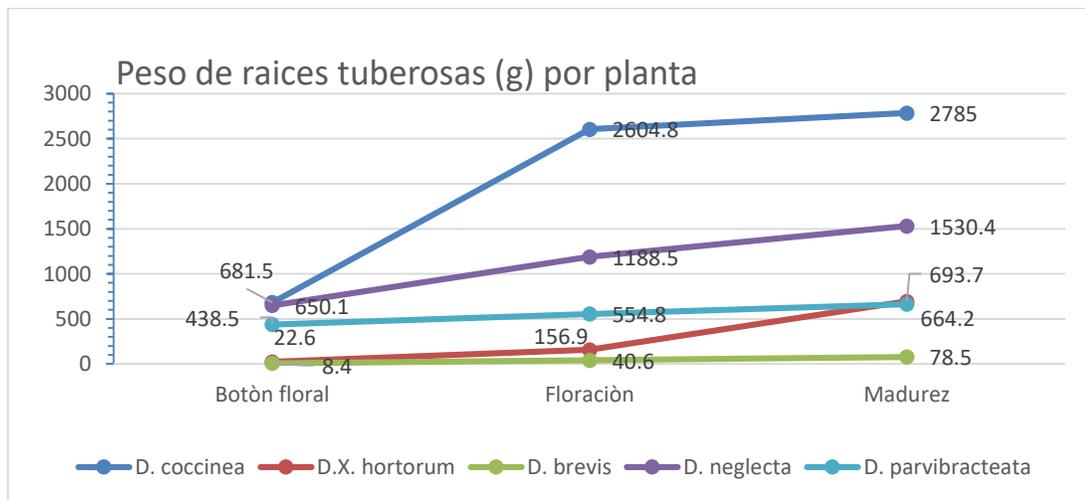


Figura 6 Peso fresco de raíces tuberosas de cinco especies de dalia en la etapa de botón floral, floración, madurez.

Cuadro 7 Comparación de medias de peso fresco de raíz tuberosa de cinco especies de dalia en tres etapas de desarrollo.

Tratamientos	Medias	
<i>D. brevis</i> -boton floral	8.3	d ^t
<i>D. x hortorum</i> -boton floral	22.6	d
<i>D. brevis</i> -floración	40.6	d
<i>D. brevis</i> -madurez	78.4	d
<i>D. x hortorum</i> -floración	156.8	d
<i>D. parvibracteata</i> -boton floral	438.4	dc
<i>D. parvibracteata</i> -floración	554.8	dc
<i>D. neglecta</i> -boton floral	650.0	dc
<i>D. parvibracteata</i> -madurez	664.2	dc
<i>D. coccinea</i> -boton floral	681.5	dc
<i>D. x hortorum</i> -madurez	693.7	dc
<i>D. neglecta</i> -floración	1188.4	cb
<i>D. neglecta</i> -madurez	1530.3	b
<i>D. coccinea</i> -floración	2604.7	a
<i>D. coccinea</i> -madurez	2785.0	a
DMSH	624.27	

^t Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

3.3.6 Materia seca de raíces tuberosas

Los resultados para la materia seca (Cuadro 8) de las raíces tuberosas, esta fue medida al final del ciclo, donde mostraron que *D. brevis* con 14.2 % de materia seca fue la más baja siendo estadísticamente igual ($p \leq 0.05$) a *D. X hortorum* y *D. neglecta*, mientras que *D. parvibracteata* fue la que presento el valor más alto con 29.4 % de materia seca.

Las especies con menor contenido de materia seca en raíces tuberosas puede deberse a una menor acumulación de inulina en las raíces (cuadro 10) lo cual al a ver menor porcentaje de inulina se refleja en un contenido de materia seca menor, esto puede estar influenciado por una menor actividad de la enzima fructosiltrasferasa la cual es la encargada de la biosíntesis de la inulina (Vijn, R. y Smeeken, S.1999) o por la degradación de la inulina por parte de la enzima inulinasa (Li *et al.*, 2015).

La acumulación de materia seca está directamente relacionada a los órganos de demanda, el tallo, hojas, flores, y raíz tuberosa cuando el tallo deja de acumular materia seca, y el sistema radical inicia una acumulación más

pronunciada, por su parte las hojas dejan de ganar peso un poco después que el tallo (Mejía y Arizmendi, 1995).

En otros estudios Jiménez (2016), reportaron que para *D. brevis* un 13.4%, para *D. coccínea* un 20.3 % y para *D x hortorum* 15.1 % valores similares a los presentados en este trabajo.

Cuadro 8 Peso seco de raíces tuberosas en diferentes especies de dalia en la etapa de madurez.

Especies	Media
<i>D. brevis</i>	14.2 c [†]
<i>D. x hortorum</i>	15.0 c
<i>D. neglecta</i>	15.1 c
<i>D. coccínea</i>	23.4 b
<i>D. parvibracteata</i>	29.4 a
DMSH	4.24

[†] Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

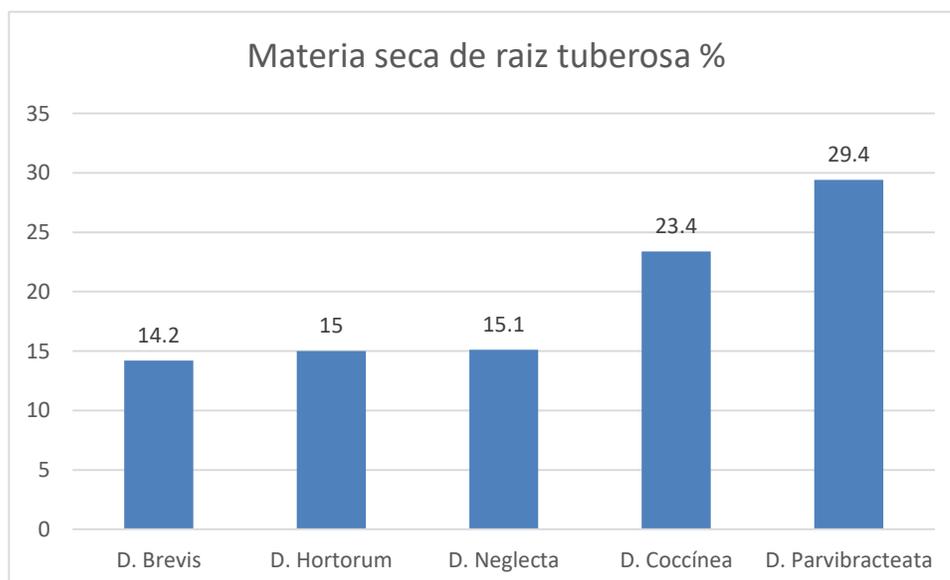


Figura 7 materia seca de raíz tuberosa de cinco especies de dalia medida en etapa de madurez

	<i>D. hortorum</i>	<i>D. coccinea</i>	<i>D. neglecta</i>	<i>D. parvibracteata</i>	<i>D. brevis</i>
Boton floral					
Floracion					
Maduracion					

Figura 8 Raíces de las especies de dalia en las etapas de desarrollo de botón floral, floración, y madurez.

3.3.7 Contenido de Inulina en raíces tuberosas

Los resultados de inulina (Cuadro 9) muestran que *D. x hortorum* en botón floral (7.5 %), *D. brevis* (8.1 %) en botón floral, *D. x hortorum* en floración (21.6 %), *D. brevis* madurez (21.7 %), *D. brevis*-floración (23 %) y *D. parvibracteata* (24.2 %) fueron estadísticamente iguales entre sí ($p \leq 0.05$), y los cuales son los valores más bajos en cuanto a concentración de inulina, por lo contrario los valores más altos encontrados en este trabajo fueron para las especies de *D. parvibracteata*-boton floral (52.8 %), *D. coccinea*-floración (52.3 %) y *D. coccinea*-madurez (59.6 %) en madurez los cuales a su vez fueron estadísticamente iguales entre sí para la variable inulina.

En este contexto Jiménez-Ruiz, (2017) reportaron para *D. brevis* 71.7 %, *D. coccinea* 71.8 % y para *D. x hortorum* 82.9 % de inulina, estos valores están por arriba de los encontrados en esta investigación para todas las especies por otra parte De luna y Jarquin (2015) reportaron 52 % y 54 % de inulina para *D.x*

hortorum valor por arriba al encontrado para la misma especie, pero similar para el obtenido para *D. coccinea* en floración y para *D. parvibracteata* en botón floral.

Para explicar el comportamiento de *D. parvibracteata* en cuanto a su disminución en la cantidad de inulina con el avance de las etapas fenológicas, podría ser que a medida que los tallos y las hojas se secan el contenido de inulina disminuye después de alcanzar un máximo debido a una despolimerización progresiva causada por la enzima conocida como β -1,2-fructan-fructanohidrolasa (inulinasa) (Li. *et al.* 2015), Otra evidencia que contribuye a esta hipótesis es la del reportado por (Schorr y Guiraud, 1997) donde al inicio de la cosecha de tubérculos de alcachofa de Jerusalén estos contenían más azúcares y disminuyó con el paso de tiempo. Aunque en este estudio no se cuantificó el grado de polimerización de la inulina, se debe tener en cuenta ya que si se quiere aplicaciones industriales, puede haber una relación entre la cantidad de inulina y el grado de polimerización, además de que el grado de polimerización y la inulina puede variar con el tiempo de cosecha, para las especies que se comportaron de una manera progresiva en la cantidad de inulina tal vez se deba a una aumentó en su síntesis combinado con la disminución de su degradación (Román *et al.* 2013) , (Li, W. *et al* 2015)

La disminución en la cantidad de inulina en las raíces tuberosas de dalia puede deberse entre otras razones a que las tasas fotosintéticas no fueron suficientes para satisfacer las demandas del crecimiento (Orthen y Andreas ,2004) por el contrario el incremento de inulina en la etapa final de *D. coccinea* pudiera deberse al incremento de la actividad de la enzima fructosiltransferasa por medio de una señal del fotoperiodo corto, ya que en las etapas de floración a madurez fue en los meses de septiembre a noviembre por que los días se van acortando hasta llegar al solsticio de invierno en México que es el día 21 de diciembre (Legnani *et al.*, 2001)

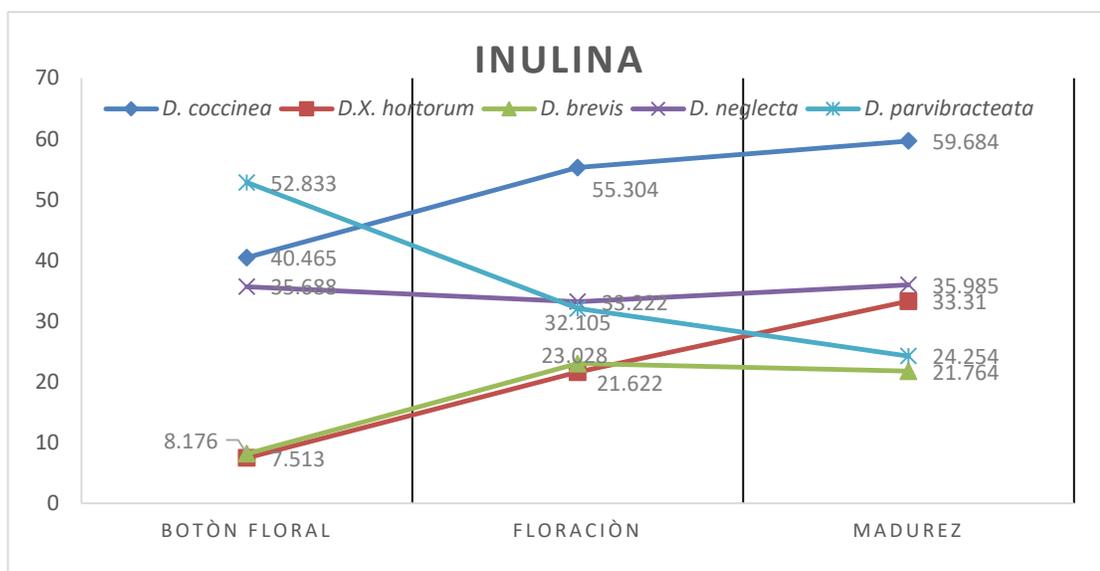


Figura 9 Concentración de Inulina en las raíces tuberosas de cinco especies de dalia en botón floral, floración y madurez.

Cuadro 9 Concentración de inulina en raíces tuberosas en diferentes etapas de desarrollo en diferentes especies de dalia.

Inulina, % en base seca	
	Medias
<i>D. x hortorum</i> -boton floral	7.5 f [†]
<i>D. brevis</i> -boton floral	8.1 f
<i>D. x hortorum</i> -floración	21.6 fe
<i>D. brevis</i> -madurez	21.7 fe
<i>D. brevis</i> -floración	23.0 fe
<i>D. parvibracteata</i> -madurez	24.2 fed
<i>D. parvibracteata</i> -floración	32.1 ed
<i>D. neglecta</i> -floración	33.2 ed
<i>D. x hortorum</i> -madurez	33.3 ed
<i>D. neglecta</i> -boton floral	35.6 ed
<i>D. neglecta</i> -madurez	35.9 edc
<i>D. coccinea</i> -boton floral	40.4 dcb
<i>D. parvibracteata</i> -boton floral	52.8 cba
<i>D. coccinea</i> -floración	55.3 ba
<i>D. coccinea</i> -madurez	59.6 a
DMSH	13.75

[†] Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

3.4 CONCLUSIONES

La dinámica en la acumulación de inulina es diferente entre especies en los diferentes estados fenológicos evaluados.

D. neglecta presentó pocos cambios en concentración de inulina durante las etapas de botón floral, floración, y madurez.

La mayor concentración de inulina en botón floral fue para *D. parvibracteata* con 52.8 %; en la etapa de floración fue para *D. coccínea* con 55.3% y en la etapa de madurez para *D. coccínea* con 59.6 %.

La menor acumulación de inulina por etapas fue: en botón floral fue para *D. x hortorum* con 7.5%, en floración fue para *D. x hortorum* con 21.6% y en madurez fue para, *D. brevis* con 21.7%.

La acumulación de inulina para *D. coccínea* y *D. x hortorum* fue de manera progresiva conforme avanzaban las etapas fenológicas.

El comportamiento en acumulación de inulina fue anormal para *D. parvibracteata* y *D. brevis* que disminuyeron al final del ciclo desde 52.8% a 24.2% y 23% hasta 21% respectivamente

3.5 Recomendaciones

Para obtener un mayor rendimiento de inulina proveniente de dalia, se recomienda trabajar con *Dahlia coccínea* y manejarla con aporque vigoroso y cosechar las raíces tuberosas al final del ciclo normal de la planta.

3.6 Perspectivas

La investigación realizada para la obtención de inulina en las diferentes especies de dalia establece las bases para trabajos posteriores y pueda emplearse para la disminución de la glucosa en la sangre de personas con diabetes.

3.7 LITERATURA CITADA

Ben-Chekroun, M., Amzile, J. El-Yachioui, M., El-Haloui N. E., and Prevost, J. (2010). Qualitative and quantitative development of carbohydrate reserves during the biological cycle of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 22,1, 31-37.

De luna-García, I., y Jarquín-Mendoza, C. A. (2015). Efecto de la fecha de siembra en la concentración de inulina en tubérculos de dalia (*Dahlia* spp.) (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. 37 p.

Garzón-Solis, C., Mejía-Muñoz, J.M., Trejo-Calzada, R., Gómez-Lorence, F., Espinosa-Flores, A. y Sánchez-Abarca, C. (2009). Fenología de dalia campanulata (*Dahlia campanulata* Saar.): Nueva especie para la horticultura ornamental. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 8, 18-24.

Hincha, D. K., Hellwege, E. M., Heyer, A. G. and Crowe, J. H. (2000). Plant fructans stabilize phosphatidylcholine liposomes during freeze-drying. *European Journal of Biochemistry*, 267, 535-540.

Jiménez-Ruiz, E.F. y Martínez-Solís, J. (2017). Caracterización fisicoquímica y contenido de inulina en raíces tuberosas de cinco especies de dalia (*Dahlia* spp). (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. p. 48-73.

Jiménez-Ruiz., E. F. y Martínez-Solís, J. (2017). Caracterización fisicoquímica y contenido de inulina en raíces tuberosas de cinco especies de dalia (*Dahlia* spp). (Tesis de maestría) Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. México, 48-51, 60-61.

Kays, S. J. and Nottingham, S. F. (2008). Chemical Composition and Inulin Chemistry Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke *Helianthus tuberosus* L. pp. 53-85, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, USA.

Krauss A (1985) Interacción de nutrición nitrogenada, fitohormonas y tuberización. en fisiología de la patata. *Potato physiology. Academic Press Londres*. 209-231.

Laguna-Cerda, A., Valeriano-Martínez, J. y Guadarrama-Guadarrama M.E. (2004). Reducción de la altura en plantas de dalia [*Dahlia variabilis* (Willd.) Desf.] con Unicozole-P (Sumagic) *CIENCIA ergo sum*, 11-1, 59-64.

Legnani, G. and Miller B.W. (2001) Short photoperiods induce fructan accumulation and tuberous root development in *Dahlia* seedlings. *New Phytologist*, 149: 449-454.

- Leite-Tonelia, J. T. C., X-Murra, F.E., Martinelli, p., Dal-Fabbro, I.M. and Jin-Park k. (2007). Optimization of a physical concentration process for inulin. *Journal of Food Engineering*, 80, 832-838.
- Li, W., Zhang, J., Yu, C., Li, Q., Dong, F., Wang, G., Gu, G., and Guo, Z. (2015). Extraction degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from *Jerusalem artichoke*. *Carbohydrate Polymers*, 121, 315-319.
- Liu, W., Wang, J., Zhang, Z., Xu, J., Xie, Z., Slavin, M. and Gao, M. (2014). In vitro and in vivo antioxidant activity of a fructan from the roots of *Arctium lappa* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 65, 446-453.
- Orthen, B. (2001). Sprouting of the fructan and starch storing geophyte *Lachenalia minima*: Effects on carbohydrate and water content within the bulbs *Physiologia Plantarum*, 113, 308-314.
- Orthen, B. and Wehrmeyer, A. (2004). Seasonal dynamics of nonstructural carbohydrates in bulbs and shoots of the geophyte *Galanthus nivalis*. *Physiologia Plantarum*, 120, 529-536.
- Pichardo-Ruiz, F. D., Villegas-Monter, Á., Hernández-Livera², A. y Colinas-León, M. T. (2003). Cambios morfológicos en plantas de dalia (*Dahlia pinnata* cav.) tratadas con paclobutrazol. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 9(1), 151-161.
- Pilon-Smits, E., Ebskamp, M., Paul, M. J., Jeuken, M., Weisbeek, P. J., and Smeekens, S. (1995). Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiology*, 107(1), 125-130.
- Pineda-Marin, L. y Colinas-León, M.T. (2016) Descripción morfológica y mejoramiento genético de dalia (*D.coccinea* y *D. sherffii*) bajo condiciones cultivadas en Chihuahua y Chapingo, Mexico.(Tesis de doctorado).) Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. México, 30, 49,52,92.
- Qihong, Y., Jianjing, Z., Zhikun, X., Yongwen, C., Tianyun, S., Xiaohua, L., Zhaopu, L., Xiumei, G., Zed, R., Jianfeng, S and Jing, Z. (2018). Inulin from Jerusalem artichoke tubers alleviates hyperlipidemia and increases abundance of bifidobacteria in the intestines of hyperlipidemic mice. *Journal of Functional Foods*, 40, 187-196.
- Román-Guzmán, I.D.G., Bravo-Andrade, S.D., Tapia-Campos, E.; Qui-Zapata, J. y Dupré, P. (2013). Efecto del estrés hídrico sobre el contenido de inulina y otros carbohidratos en dalia (*Dahlia* sp.) *Congreso internacional de química y biología y agronomía*, 4^{to} 58-65.
- Salisbury F. B. y Ross, C. W. (1992). Crecimiento y desarrollo. Fisiología de las plantas 3, desarrollo de las plantas y fisiología ambiental (pp. 529-564.), Thomson Editores Spainparanifno, S.A. Magallanes, 25; 28015 Madrid España.
- Schorr-Galindo and J. P. Guiraud. (1997). Sugar potential of different Jerusalem artichoke cultivars according to harvest. *Bioresource Technology*, 60, 15-20.

Shang, H. M., Zhou, H. Z., Yang, J. Y., Li, R., Song, H. and Wu, H. X. (2018). *In vitro* and *in vivo* antioxidant activities of inulin. *Plos One*, 13(2), 1-12.

Van-Loo, J., Coussement, P., De-Leenheer, L., Hoebregs, H., and Smiths, G. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 525-552.

Vijn, R. and Smeeken, S. (1999) Fructan: More Than a Reserve Carbohydrate. *Plant Physiology*, 120, 351-359.

Yamaguchi, T. and Blumwald, E. (2005) Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *TRENDS in Plant Science*, 10(12), 615-620