



## DETERMINACIÓN DE FRUCTANOS EN ÓRGANOS VEGETATIVOS DE *AGAVE OFFOYANA* (ASPARAGACEAE), POTENCIALIDADES DE SU USO COMO PREBIÓTICO

### DETERMINATION OF FRUCTANS IN VEGETATIVE ORGANS OF *AGAVE OFFOYANA* (ASPARAGACEAE) AND ITS POTENTIAL USE AS A PREBIOTIC

A.R. HERNÁNDEZ MONTESINOS<sup>1\*</sup>, D. ALFONSO GONZÁLEZ<sup>2</sup>, DAYANNA CORONADO ACOSTA<sup>3</sup>,  
R. REYES FERNÁNDEZ<sup>3</sup>, DAYMARA RODRÍGUEZ ALFONSO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal, C. Central, km 47½, San José de las Lajas, C.P. 32700, Mayabeque, Cuba

<sup>2</sup>Jardín Botánico Nacional, Universidad de La Habana, Carretera El Rocío km 3 ½, C.P. 19230. Calabazar, Boyeros, La Habana, Cuba

<sup>3</sup>Universidad Agraria de La Habana, Autopista Nacional, km 23 ½, C.P. 32700, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

\* Email: [andresraulhm@gmail.com](mailto:andresraulhm@gmail.com)

Los fructanos son carbohidratos en los que predominan los enlaces entre residuos de fructosa. Se sintetizan en aproximadamente 15 % de las angiospermas. Estas moléculas tienen diversas aplicaciones en la alimentación y la salud, debido a la ausencia de digestibilidad y a su utilización selectiva por la microbiota intestinal benéfica en animales monogástricos. El objetivo de este trabajo fue determinar mediante métodos cromatográficos la presencia de fructanos en órganos vegetativos de la especie endémica *Agave affoyana* (maguey). Las plantas se recolectaron en tres estados fisiológicos diferentes durante dos periodos climáticos. Se tomaron de la reserva florística manejada Tres Ceibas de Clavellina, de la provincia Matanzas, Cuba. Las muestras se analizaron por diferentes métodos cromatográficos. La cromatografía de capa fina mostró presencia de fructanos en tallos y hojas, no así en las raíces. La acumulación fue mayor en los tallos. Ambos órganos contienen desde el trisacárido hasta moléculas con alto grado de polimerización. La presencia del polisacárido fue mayor en las hojas de la base con respecto a las del medio y del ápice caulinar. Hubo aumento en la acumulación de fructanos en las muestras de órganos recolectados en el período poco lluvioso. La cromatografía líquida de alta resolución confirmó la presencia de los fructooligosacáridos extraídos del tallo. Los resultados demostraron que *Agave affoyana* acumula fructanos en el tallo, aunque también están presentes en las hojas. Esta especie cubana se puede utilizar en la obtención de fructanos para la alimentación y la salud humana y animal.

Fructans are carbohydrates in which the links between fructose residues predominate. They are synthesized in approximately 15 % of angiosperms. These molecules have various applications in food and health, due to the lack of digestibility and their selective use by the beneficial intestinal microbiota in monogastric animals. The objective of this study was to determine, using chromatographic methods, the presence of fructans in vegetative organs of the endemic species *Agave affoyana* (maguey). Plants were collected in three different physiological states during two climatic periods. They were taken from the managed floristic reserve Tres Ceibas de Clavellina, in Matanzas province, Cuba. Samples were analyzed by different chromatographic methods. Thin layer chromatography showed the presence of fructans in stems and leaves, but not in roots. The accumulation was greater in stems. Both organs contain from the trisaccharide to molecules with a high degree of polymerization. The presence of the polysaccharide was greater in the leaves at the base than in the middle and shoot apex. There was an increase in the accumulation of fructans in the organ samples collected during the dry season. High-performance liquid chromatography confirmed the presence of fructooligosaccharides extracted from the stem. Results showed that *Agave affoyana* accumulates fructans in the stem, although they are also present in leaves. This Cuban species can be used to obtain fructans for human and animal feeding and health.

**Palabras clave:** cromatografía, fructooligosacáridos, maguey

**Key words:** chromatography, fructooligosaccharides, maguey

Recibido: 02 de junio de 2023

Aceptado: 16 de septiembre de 2023

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

**Declaración de contribución de autoría CRediT:** A.R. Hernández Montesinos: **Investigación, Visualización, Redacción-borrador original.** D. Alfonso González: **Conceptualización, Investigación, Supervisión, Redacción-borrador original.** Dayanna Coronado Acosta: **Investigación, Supervisión, Redacción-borrador original.** R. Reyes Fernández: **Investigación, Redacción-borrador original.** Daymara Rodríguez Alfonso: **Investigación, Redacción-borrador original.**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## Introducción

Los fructanos son carbohidratos en los que predominan los enlaces entre residuos de fructosa. Esta definición es independiente del tamaño de la molécula, ya que existen fructanos que contienen desde dos hasta más de 10<sup>6</sup> unidades (Waterhouse y Chatterton 1993). Existen diferentes criterios para la clasificación de los fructanos. De acuerdo con lo planteado por Waterhouse y Chatterton (1993), su agrupación se fundamenta en tres criterios esenciales: el tipo de enlace predominante entre los residuos de fructosa, el grado de polimerización (GP) de la molécula y su procedencia. De acuerdo con esto, los términos que aparecen en la bibliografía con más frecuencia son: kestosas, inulina, levana, fleína y graminana, cada uno descrito con sus estructuras características. Los fructanos oligoméricos, que contienen una sacarosa unida a uno o varios residuos de fructosa, reciben el nombre de fructooligosacáridos (FOS) y pueden ser de origen microbiano o vegetal.

Van den Ende (2013) y Franco-Robles y López (2015) establecieron un criterio de clasificación a partir del tipo de enlace glicosídico presente. Estos autores agrupan los fructanos en inulinas, levanas, graminanas y neofructanos (neoinulinas o inulinas neoserias y neolevanas o levanas neoserias). Existe un tipo específico de fructano, que se caracteriza por una estructura compleja muy ramificada, con una glucosa externa en las graminanas y una interna en los neofructanos. Estos compuestos se producen en los agaves, razón por la cual reciben el nombre de agavinas (Mancilla y López 2006).

En el reino vegetal Plantae, aproximadamente 15 % de las plantas con flores son capaces de sintetizar y almacenar este compuesto en hojas, tallos y raíces, fundamentalmente en órganos de almacenamiento, como bulbos, tubérculos y rizomas (Hendry 1993). Estas plantas se encuentran en un pequeño grupo de familias mono y dicotiledóneas: *Amaryllidaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae*, *Nolinaceae* y *Asparagaceae* (Franco-Robles y López 2015).

La propiedad medicinal más estudiada de los fructanos es su acción prebiótica (Ayala et al. 2018, Guillot 2018 y Armas et al. 2019). Además, intervienen en la disminución del índice de masa corporal, la reducción de la grasa corporal total y los triglicéridos en individuos obesos (Padilla-Camberos et al. 2018). También reducen los indicadores glucémicos en individuos con prediabetes y diabetes mellitus, prevén el cáncer colorrectal, la osteoporosis y tienen propiedades de protección cerebral (Wang et al. 2019 y Espinosa-Andrews et al. 2021). Los fructanos se incorporan a los alimentos por sus propiedades tecnológicas: emulsionantes, estabilizantes, gelificantes y edulcorantes (Verma et al. 2021). Además, las agavinas de *Agave tequilana* se utilizan en la producción industrial de bebidas, como el tequila y el mezcal (Hernández 2018).

En la actualidad, se incrementa el uso de los fructanos como aditivos prebióticos en la producción animal (de Lange et al. 2010). García-Curbelo et al. (2018) incluyeron agavinas de *Agave fourcroydes* L. en la dieta de cerdos y obtuvieron modificaciones en el metabolismo lipídico, relacionadas con la disminución del colesterol total, lipoproteínas de baja densidad y lípidos totales. Alvarado-Loza et al. (2017), al suministrar 2 % de inulina de *Agave* en el alimento de conejos informaron su influencia positiva en la digestibilidad y microbiota intestinal. Además, Chávez-Mora et al. (2019) presenciaron incremento en el porcentaje de postura y peso del huevo, así como en índices de su calidad, a favor de tratamientos con oligofructosa de *Agave*.

El género *Agave* se considera originario de México, donde se encuentran 272 especies de las 310 informadas. De estas, 135 son endémicas (Mancilla y López 2006).

En Cuba, este género incluye 16 especies nativas (Greuter y Rankin 2017). El *Agave offoyana* Jacobi se conoce comúnmente como maguey. Es una especie endémica (Romero-Jiménez et al. 2015) y se encuentra distribuida en la costa norte y algunas regiones interiores (de Zayas 1980). Crece en bosques siempreverdes, micrófilos costeros y subcosteros. Constituye un recurso local, utilizado como planta medicinal, melífera y ornamental (Romero-Jiménez et al. 2015).

Varias especies de *Agave* se utilizan en la obtención de productos con aplicación en la salud, la industria y la alimentación humana y animal. Sin embargo, no son cubanas. Entre las 24 especies que crecen en Cuba, *A. offoyana* se destaca por sus dimensiones y pudiera almacenar fructanos como fuente de carbono, como ocurre en varias especies mexicanas.

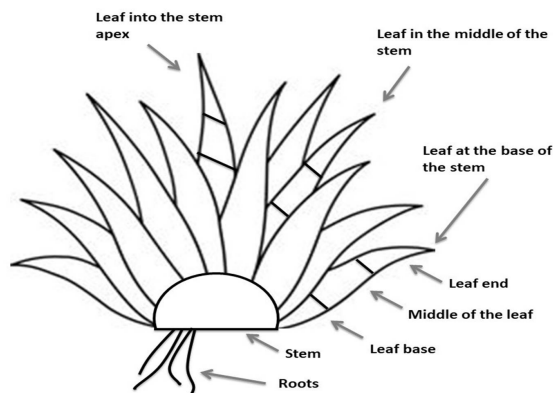
El objetivo de este trabajo fue determinar mediante métodos cromatográficos la presencia de fructanos en órganos vegetativos de la especie endémica *Agave offoyana* (maguey).

## Materiales y Métodos

*Material vegetal:* Los ejemplares de *Agave offoyana* se recolectaron en la reserva florística manejada Tres Ceibas de Clavellina, provincia Matanzas, Cuba (23°05'48.6" N y 81°39'20.5" O). Para la identificación de las plantas, se utilizaron como referencia las características de esta especie, descritas en Flora de Cuba, fascículo primero (León 1946).

Se tomaron muestras en dos momentos del año. La primera, en diciembre de 2016, período poco lluvioso, y la segunda, en julio de 2017, época lluviosa. En diciembre, se recolectaron nueve plantas, tres juveniles, tres adultos y tres en florecimiento (etapa temprana), próximas a los cuatro, ocho y diez años de edad, respectivamente. En julio, se estudiaron tres ejemplares adultos cercanos a los diez años de edad.

De cada planta recolectada en diciembre, se tomaron muestras de raíces, tallos y una hoja insertada en la base, medio y ápice del tallo. De las recogidas en julio, solo se tomaron muestras del tallo y la hoja insertada en el medio del tallo (cuarta hoja a partir de la base del tallo) (figura 1). Las muestras se trasladaron por separado en bolsas de plástico al laboratorio de biotecnología vegetal de la facultad de Agronomía, de la Universidad Agraria de La Habana.



**Figura 1.** Esquema de recolección de muestras de órganos vegetativos en las plantas de *Agave offoyana* Jacobi.

*Determinación de fructanos mediante cromatografía en capa fina (TLC):* Para la extracción de los fructanos, se modificó el protocolo seguido por Wack y Blaschek (2006). Todas las muestras recolectadas se procesaron en el laboratorio, donde se fraccionó, esterilizó y trituró cada órgano por separado. Las hojas se seccionaron en base, medio y extremo (figura 1). Los segmentos de órganos (tallos, hojas y raíces) se pesaron y esterilizaron por separado, con agua, en proporción 1:2 (p/v), en autoclave, a 121°C y 1 atm de presión durante 40 min. Luego, se trituraron por separado en una licuadora hasta obtener una pasta. Se colocaron en tubos de 1.5 mL y se centrifugaron a 9000 r.p.m. en una microcentrífuga para lograr la fase acuosa.

La determinación de la presencia de fructanos se realizó mediante cromatografía en capa fina (TLC), según el método propuesto por Trujillo *et al.* (2004). Para ello se aplicó 1.5 µL de la fase acuosa extraída de raíces, tallos y hojas en una placa de TLC (silica gel en láminas de aluminio, Fluka, Alemania) y se introdujo tres veces en una cámara cerrada, que contenía 10 mL de solución de corrida (1-butanol, 2-propanol y agua en proporción 3:12:0.5).

La placa se reveló mediante la aplicación de una solución (butanol saturado 93 mL, ácido ortofosfórico 85 % 7 mL y urea 3 g). Se añadió, además, etanol absoluto hasta obtener la transparencia de la solución y se incubó a 80 °C para acelerar la reacción. La combinación de estos reactivos permitió visualizar los perfiles y la molécula de fructosa.

Se utilizó como patrón de peso molecular un extracto acuoso del bulbo de la cebolla (*Allium cepa* L.), según lo descrito por Vijn *et al.* (1998).

*Determinación de fructanos mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC):* Para determinar la presencia de fructanos, se utilizó la muestra del tallo de una planta adulta recolectada en diciembre y se analizó por HPLC, según lo descrito por Meyer (2010). Previo a la realización de la HPLC, se realizaron las TLC de los órganos de las plantas recolectadas en diciembre, lo que permitió seleccionar el que se usó como muestra.

La corrida se realizó en una columna (0.8 x 25.0 cm) de Nucleosil NH<sub>2</sub> (Sigma, EE.UU.) con la utilización de acetonitrilo en agua al 80 %, como solución de elución, y flujo de 0.4 mL min<sup>-1</sup> a 37 °C. Los azúcares eluidos se hallaron con un refractómetro diferencial (Knauer, Alemania). Para la calibración del equipo, se utilizaron los patrones sacarosa, 1-kestosa y nistosa, preparados a 10 mg mL<sup>-1</sup>.

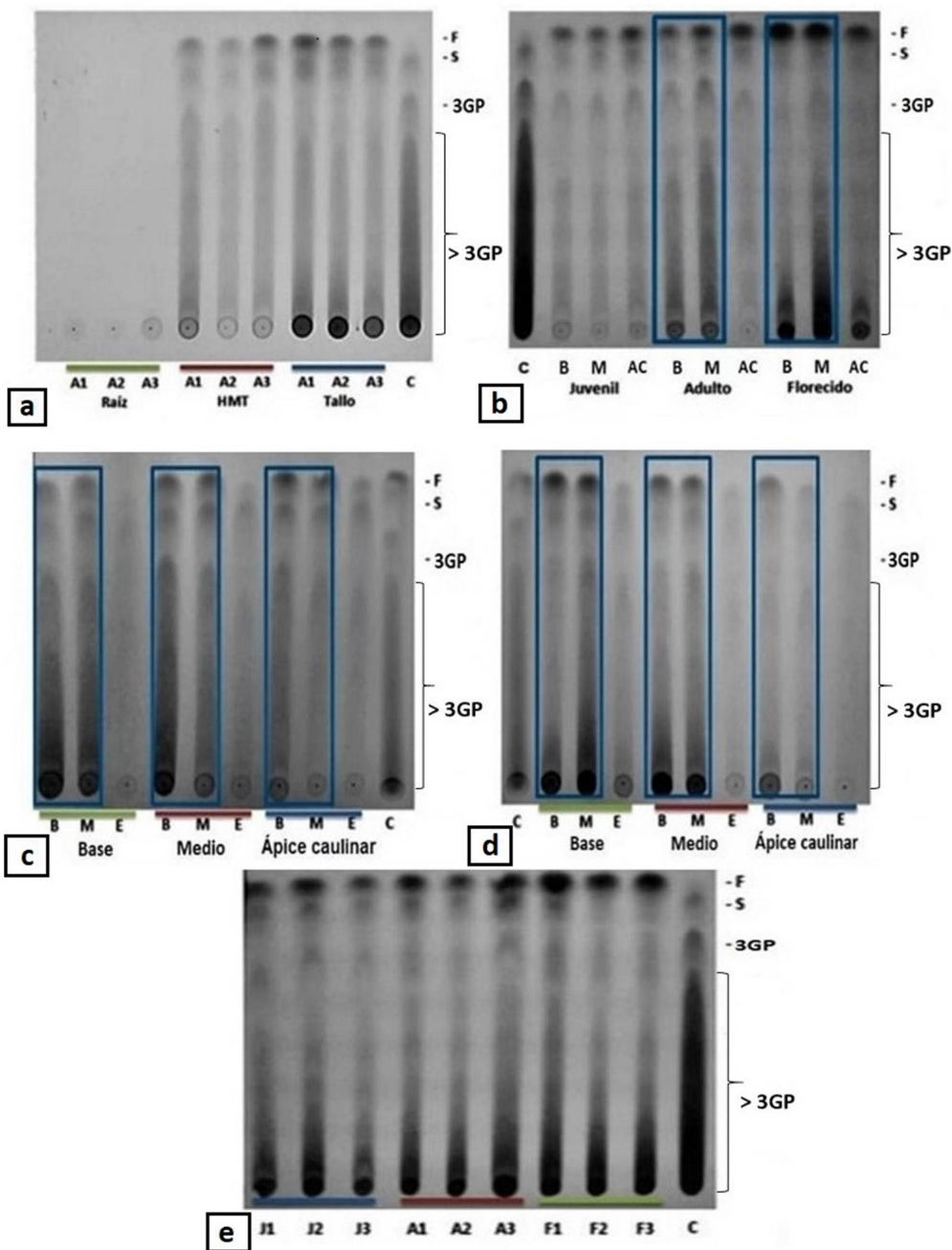
## Resultados

Los perfiles de productos, obtenidos de muestras de órganos de plantas adultas, revelaron que *A. offoyana* almacena fructanos como fuente de carbono. Estos carbohidratos se acumularon en los tallos, principalmente, y se encuentran, en menor concentración, en las hojas. No se hallaron en las raíces. Se observaron polímeros de bajo y alto peso molecular en ambos órganos de la planta (figura 2a).

*A. offoyana* contiene fructanos en las hojas de las plantas juveniles, adultas y en florecimiento (figura 2b), aunque en las dos últimas la concentración es mayor que en las plantas jóvenes. En la misma figura, también la TLC dejó ver que el juvenil produce principalmente fructanos de bajo peso molecular en las hojas. Sin embargo, en la planta adulta y en florecimiento, se observaron moléculas de bajo y alto grado de polimerización, lo que se evidenció en la mancha oscura presente en el punto de aplicación.

En las figuras 2c y 2d se muestra que en las hojas insertadas en la base y el medio del tallo de plantas adultas y florecidas hubo mayor presencia de fructanos que en las hojas del ápice caulinar. Además, al fraccionar dichas hojas en base, medio y extremo, se constató que en las zonas de la base y el medio existe mayor concentración de fructanos que en el extremo. Como ilustran las figuras, en la zona basal de las hojas de la base, el medio y el ápice caulinar, existe mayor presencia de moléculas con alto peso molecular que en la parte media. Hubo poca representación de las mismas en el extremo de las hojas.

Las plantas jóvenes, adultas y en florecimiento almacenaron cantidades similares de fructanos en muestras de tallo tomadas en el período poco lluvioso (figura 2e).



a. Raíz, hoja\* insertada en la base del tallo y tallo de tres plantas adultas  
 b. Hojas\* insertadas en la base, medio y ápice caulinar en plantas juveniles, adultas y en florecimiento  
 c. Hojas de una planta adulta (base, medio y ápice caulinar) seccionadas en base, medio y extremo.  
 d. Hojas de una planta florecida (base, medio y ápice caulinar) seccionadas en base, medio y extremo.  
 e. Tallos de plantas juveniles, adultas y en florecimiento (colectados en diciembre). J (juvenil), A (adulto), F (florecido), HMT (hoja insertada en el medio del tallo), B (base), M (medio), AC (ápice caulinar). E (extremo), C (cebolla), F (fructosa), S (sacarosa), 3GP (trisacárido), GP (grado de polimerización). \*Se refiere a la zona basal de la hoja

**Figura 2.** Perfiles de productos obtenidos mediante TLC de los extractos de los diferentes órganos de plantas de *Agave offoyana* Jacobi

Además, en esta figura se deja ver la TLC y la presencia de polímeros de bajo y alto peso molecular durante las tres fases de crecimiento de la planta. La concentración de los carbohidratos aumentó ligeramente con el grado de desarrollo de la planta.

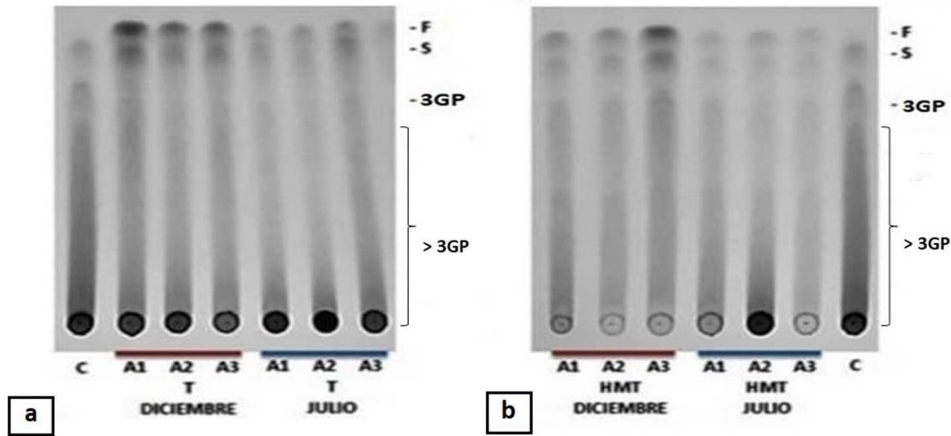
El tallo y las hojas insertadas en el medio del tallo de plantas adultas almacenaron fructanos en el período poco lluvioso (diciembre) y lluvioso (julio), aunque hubo ligero aumento en la acumulación en estos órganos durante el período poco lluvioso. Las manchas claras sobre el fondo oscuro en el punto de aplicación de algunas muestras indican la saturación por fructanos de alto peso molecular (figuras 3a y 3b).

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) mostró la presencia de fructanos desde moléculas con GP 3 hasta GP 6. Esta técnica no permite separar moléculas con

mayor GP, las que se visualizan agrupadas en un solo pico. El polímero con mayor concentración es el constituido por tres unidades de fructosa (figura 4).

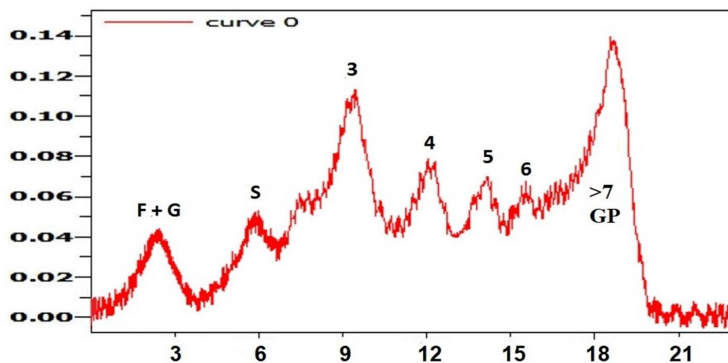
### Discusión

Los fructanos se encuentran en varias familias de plantas como carbohidratos de reserva. También funcionan como sustancias osmoprotectoras durante la sequía y el estrés por frío (Ritsema y Smeekens 2003). Las plantas estudiadas de *A. offoyana* contienen más fructanos en los tallos con respecto a las hojas. Estos polímeros son el principal carbohidrato de reserva presente en los tallos de *Agave* (Mellado-Mojica *et al.* 2009). También los fructanos son los carbohidratos más abundantes en plantas adultas de *Agave fourcroydes* (García-Curbelo *et al.* 2009).



a. Tallo de plantas adultas recolectadas en diciembre y julio.  
 b. Hojas\* insertadas en el medio del tallo de plantas adultas recolectadas en diciembre y julio. A (adulto), T (tallo), HMT (hoja insertada en el medio del tallo), C (cebolla), F (fructosa), S (sacarosa), 3GP (trisacárido), GP (grado de polimerización). \* Se refiere a la zona basal de la hoja

**Figura 3.** Perfiles de productos obtenidos mediante TLC de los extractos de los diferentes órganos de plantas de *Agave offoyana* Jacobi



**Figura 4.** Perfil cromatográfico obtenido mediante HPLC de los extractos del tallo de *Agave offoyana* Jacobi. G (glucosa), F (fructosa), S (sacarosa), GP (Grado de Polimerización).

De igual forma, *Agave tequilana* tiene más fructanos en el tallo que en las hojas. En esta especie, la cabeza o piña (tallo y bases foliares), almacena mayor cantidad de azúcares no reductores totales, en los que predomina la inulina y fructooligosacaridos (FOS). Le sigue la base de las hojas, donde prevalecen la inulina y, en menor cantidad, FOS (Montañez-Soto et al. 2011 y Ferrer-Serrano et al. 2023).

Las hojas insertadas en la base del tallo de *A. offoyana* son verdes, sin daños mecánicos. Crecen sobre hojas muertas previas o en fase de senescencia. Representan las más maduras de la planta y poseen la mayor cantidad de fructanos. Sin embargo, en *A. fourcroydes*, las hojas intermedias almacenan la mayor concentración de fructanos (García-Curbelo et al. 2009). En hojas de *A. offoyana*, ocurrió en la base de este órgano. Esto coincide con lo informado en plantas adultas de *A. tequilana*, donde el contenido de fructanos equivale a 68.6 % respecto a los de la cabeza o piña. La base de las hojas constituye la segunda fracción con mayor aporte a la biomasa del cultivo de *A. tequilana*. Lo integran, principalmente, inulina, en menor cantidad FOS, y azúcares reductores (Montañez-Soto et al. 2011). También en las hojas inferiores de *Agave mapisaga* se encontró 68 % de FOS y 32 % de fructanos con alto peso molecular (Plascencia et al. 2019).

La acumulación de los fructanos en *A. offoyana* se produce desde la fase juvenil hasta el inicio de la floración. De igual forma, el contenido de carbohidratos está directamente relacionado con la edad y la etapa fisiológica de *A. tequilana*. Las concentraciones más altas se observaron en las plantas adultas, mientras que en los juveniles se cuantificaron las más bajas (Mellado-Mojica et al. 2009). En un estudio con plantas de *Agave angustifolia* Haw. y *Agave potatorum* Zucc., de uno a seis años de edad, se determinó que la concentración de carbohidratos simples era mayor en las plantas jóvenes y que los fructanos de mayor GP predominan en las plantas adultas para ambas especies (Márquez-López et al. 2022).

Los ejemplares de *A. offoyana* se recolectaron en un área natural. Los tallos y hojas de plantas juveniles (cuatro años, aproximadamente) mostraron menor acumulación de fructanos, de bajo y alto GP, con respecto a las adultas y en inicio de la floración. En los tallos y la base de las hojas de diferentes especies de *Agave*, las plantas de dos a cuatro años exhibieron las mayores concentraciones de azúcares libres y fructanos con bajo GP. Por el contrario, las plantas de 10 a 12, mostraron baja concentración de fructanos con mayor GP (Aldrete-Herrera et al. 2019). Opuesto al resultado anterior, en piñas de *A. fourcroydes* se obtuvo mayor cantidad de azúcares en plantas de 12 años de edad, con respecto a las de siete (Ferrer-Serrano et al. 2023). De igual forma, en *A. tequilana*, de cuatro años de edad, se muestran menores concentraciones de fructanos con respecto a las de seis y ocho años. Las correspondientes

a los diez años hidrolizan la fructosa para abastecer la demanda energética de la etapa de florecimiento (Mellado-Mojica et al. 2009).

Las plantas almacenan polisacáridos durante el período vegetativo para aportar la energía necesaria durante la etapa reproductiva (Pérez y Martínez-Laborde 1994). Sin embargo, *A. offoyana* acumula estos carbohidratos aún durante el inicio de la floración de forma similar a la fase adulta, lo que se pudiera deber al mecanismo de reproducción asexual que prosigue al sexual, y que tiene lugar en la misma inflorescencia (García-Beltrán et al. 2017). A diferencia de *A. offoyana*, las concentraciones de este carbohidrato disminuyeron en plantas de *A. tequilana* que se encontraban en la etapa de florecimiento (Mellado-Mojica et al. 2009). En la mayoría de los trabajos realizados en especies del género *Agave*, las plantas se cosecharon antes de la floración, debido a que la función principal del almacenamiento de los polímeros de fructosa es su utilización durante la floración y fructificación (García-Curbelo et al. 2009, Arrizon et al. 2010, García-Curbelo et al. 2015 y Godínez-Hernández et al. 2016). A medida que se inicia la etapa reproductiva, se suprime el desarrollo de hojas fotosintéticamente activas y las hojas y tallos envejecen, lo que indica que las reservas de carbohidrato se utilizaron para la fase reproductiva (Delgado et al. 2012).

El tallo y las hojas de las plantas adultas de *A. offoyana* almacenaron fructanos en ambos periodos del año, aunque en el poco lluvioso se evidenció ligero aumento de su acumulación (figuras 3a y 3b). En Cuba existen dos periodos estacionales (lluvioso y poco lluvioso) con características específicas. En el lluvioso se acumula más de 80 % de la precipitación anual (ONEI 2021). El poco lluvioso no favorece el desarrollo vegetativo de las plantas por la escasez de agua. La tasa de acumulación diaria aumenta cuando se alternan altas temperaturas durante el día y bajas por la noche (Taiz y Zeiger 2002). Estos resultados coinciden con los obtenidos en *A. tequilana*, en México, donde se informaron valores de azúcares reductores totales (23.68 a 30.80 %) en el período poco lluvioso y lluvioso (27.08 a 32.69 %). Las piñas de *Agave* tienen mayor contenido de fructanos en la época seca, debido a que el jugo contiene menos agua, por lo que los azúcares se concentran. En el período húmedo, el contenido disminuye producto del aumento de la cantidad de agua del jugo (Bautista-Justo et al. 2001).

Los fructanos de *Agave* son una mezcla compleja de FOS y fructanos de alto GP (Márquez-López et al. 2022). De esta forma, la cromatografía líquida de alta resolución mostró polímeros de tres y hasta seis unidades de fructosa en *A. offoyana*, aunque esta técnica no permitió separar moléculas con GP mayor a siete. Resultados similares se encontraron en la cabeza o piña de plantas adultas de *Agave salmiana* y *A. tequilana*, donde se identificaron

fructanos superiores a cuatro GP (Pérez-López *et al.* 2021 y Regalado *et al.* 2021). En un estudio para buscar fructanos de estructuras moleculares diferentes, se registraron plantas mutantes de *A. tequilana*, que almacenaron en el tallo el trisacárido neokestosa, el cual posee mayor valor nutricional con respecto a la 1-kestosa (Ángeles-Espino *et al.* 2020).

En el tallo y las hojas de los *Agaves* se generan otros importantes metabolitos, como la inulina, saponinas y flavonoides, que son de gran interés para la industria alimentaria y farmacéutica (Trujillo-Ramírez *et al.* 2023). La especie *A. offoyana* produce, además, otros metabolitos secundarios, como las saponinas, que se hallaron en la inflorescencia y en las hojas (Pérez *et al.* 2013 y Pérez *et al.* 2014).

Se concluye que la especie endémica de Cuba *A. offoyana* almacena fructanos como fuente de carbono. Estos carbohidratos están presentes en el tallo y las hojas, pero no en las raíces de la planta. Las plantas adultas y al inicio de la floración acumulan mayor cantidad de fructanos en el tallo. Esta especie almacena fructanos en el tallo y los sintetiza en las hojas, principalmente en las insertadas en la base del tallo y en la zona más cercana a este órgano. Estos carbohidratos se acumulan durante todo el año, aunque se halló aumento ligero en el período poco lluvioso. El polímero con mayor presencia en tallos de plantas adultas está constituido por tres unidades de fructosa. La planta se puede utilizar para la obtención de fructanos con posibles usos como prebiótico en la alimentación y la salud humana y animal.

### Agradecimientos

Se agradece a todo el personal del laboratorio de biotecnología vegetal de la facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana por su sabiduría y experiencia profesional. Se expresa también gratitud a Carlos González, especialista de la reserva florística manejada Tres Ceibas de Clavellina, a Andrés Hernández Rego, por el apoyo logístico para el desarrollo de las recolectas, y a Lázaro Hernández, investigador del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, por sus recomendaciones en la aplicación de las técnicas cromatográficas.

### Referencias

Aldrete-Herrera, P.I., López, M.G., Medina-Torres, L., Ragazzo-Sánchez, J.A., Calderón-Santoyo, M., González-Ávila, M. & Ortiz-Basurto, R.I. 2019. Physicochemical composition and apparent degree of polymerization of fructans in five wild *Agave* varieties: potential industrial use. *Foods*, 8(9): 404, ISSN: 2304-8158. <https://doi.org/10.3390/foods8090404>.

Alvarado-Loza, E., Orozco-Hernández, R., Ruíz-García, I., Paredes-Ibarra, F. & Fuentes-Hernández, V. 2017.

The 2% of *Agave* inulin level in the rabbit feed affect positively the digestibility and gutmicrobia. *Abanico Veterinario*, 7(3): 55-62, ISSN: 2448-6132. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2017.73.6>.

- Ángeles-Espino, A., Dimas-Estrada, H.E., Ramírez-Alvarado, D., Cruz-Rubio, J.M., Palmeros-Suárez, P.A. & Gómez-Leyva, J.F. 2020. Molecular characterization of *Agave tequilana* mutants induced with gamma radiation Co<sup>60</sup> and its effect in the fructooligosaccharides accumulation. *Acta Universitaria*, 30: 1-11, ISSN: 2007-9621. <http://doi.org/10.15174/au.2020.2696>.
- Armas, R.R.A., Martínez, G.D. & Pérez, C.E.R. 2019. Inulin-typefructans: effect on gut microbiota, obesity and satiety. *Gaceta Médica Espirituana*, 21(2): 134-145, ISSN: 1608-8921.
- Arrizon, J., Morel, S., Gschaedler, A. & Monsan, P. 2010. Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of *Agave tequilana* plants of different ages. *Food Chemistry*, 122(1): 123-130, ISSN: 2590-1575. <http://doi:10.1016/j.foodchem.2010.02.028>.
- Ayala, M.M.A., Hernández, S.D., Pinto, R.R., González, M.S.S., Bárcena, G.J.R., Hernández, M.O. & Torres, S.N. 2018. Prebiotic effect of two sources of inulin on *in vitro* growth of *Lactobacillus salivarius* and *Enterococcus faecium*. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(2): 346-361, ISSN: 2448-6698. <http://dx.doi.org/10.22319/rmc.p.v9i2.4488>.
- Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R. & Parra-Negrete, L.A. 2001. Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(1): 33-38, ISSN: 2007-9621. <https://doi.org/10.15174/au.2001.325>.
- Chávez-Mora, I., Sánchez-Chiprés, D., Galindo-García, J., Ayala-Valdovinos, M.A., Duifhuis-Rivera, T. & Ly-Carmenatti, J. 2019. Efecto de oligofructosa de agave en dietas de gallinas ponedoras en la producción de huevos. *Revista MVZ Córdoba*, 24(1): 7108-7112, ISSN: 0122-0268. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1522>.
- de Lange, C.F.M., Pluske, J., Gong, J. & Nyachoti, C.M. 2010. Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livestock Science*, 134(1-3): 124-134, ISSN: 1871-1413. <https://doi:10.1016/j.livsci.2010.06.117>.
- de Zayas, A.A. 1980. *Agave cajalbanensis*: una nueva especie de Cuba occidental. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 1(2-3): 33-39, ISSN: 2410-5546.
- Delgado, S.S.D.C., Abraham, J.M.J. & Simpson, J. 2012. *Agave tequilana* MADS genes show novel expression patterns in meristems, developing bulbils and floral organs. *Sexual Plant Reproduction*, 25(1): 11-26, ISSN: 0934-0882. <https://doi.org/10.1007/s00497-011-0176-x>.

- Espinosa-Andrews, H., Urias-Silvas, J.E. & Morales-Hernández, N. 2021. The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114: 585-598, ISSN: 0924-2244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.022>.
- Ferrer-Serrano, C.M., Zumalacárregui-de-Cárdenas, B. & Mazorra-Mestre, M. 2023. Extracción de inulina a partir de piñas de desecho de henequeneras cubanas. *Revista Cubana de Química*, 35(2): 322-337, ISSN: 2224-5421.
- Franco-Robles, E. & López, M. 2015. Implication of Fructans in Health: Immunomodulatory and Antioxidant Mechanisms. *The Scientific World Journal*, 2015: 15, ISSN: 2356-6140. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/289267>.
- García-Beltrán, J.A., Granado, P.L. & Bécquer, E.R. 2017. Las familias de las angiospermas de la flora de Cuba: visión diagnóstica desde los sistemas filogenéticos. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 38: 65-117, ISSN: 2410-5546.
- García-Curbelo, Y., Ayala, L., Bocourt, R., Albelo, N., Nuñez, O., Rodríguez, Y. & López, M.G. 2018. Agavinas como prebióticos: su influencia en el metabolismo lipídico de cerdos. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(4): 395-400, ISSN: 2079-3480.
- García-Curbelo, Y., López, M.G. & Bocourt, R. 2009. Fructanos en *Agave fourcroydes*, potencialidades para su utilización en la alimentación animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(2): 175-177, ISSN: 0034-7485.
- García-Curbelo, Y., López, M. G., Bocourt, R., Collado, E., Albelo, N. & Nuñez, O. 2015. Structural characterization of fructans from *Agave fourcroydes* (Lem.) with potential as prebiotic. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1): 75-80, ISSN: 2079-3480.
- Godínez-Hernández, C.I., Aguirre-Rivera, J.R., Juárez-Flores, B.I., Ortiz-Pérez, M.D. & Becerra-Jiménez, J. 2016. Extraction and characterization of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyckfructans. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1): 59-72, ISSN: 2007-3828. <https://doi:10.5154/r.rchscfa.2015.02.007>.
- Greuter, W. & Rankin, R. 2017. The Spermatophyta of Cuba. A Preliminary Checklist. Second, updated edition of the The Spermatophyta of Cuba with Pteridophyta added. Botanischer Garten and Botanisches Museum Berlin-Dahlem, Berlin.
- Guillot, C.C. 2018. Update in prebiotics. *Revista Cubana de Pediatría*, 90(4): 648, ISSN: 1561-3119.
- Hendry, G. 1993. Evolutionary origins and natural functions of fructans a climatological, biogeographic and mechanistic appraisal. *New Phytologist*, 123(1): 3-14, ISSN: 1469-8137. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb04525.x>.
- Hernández, J. de J. 2018. El mezcal como patrimonio social: de indicaciones geográficas genéricas a denominaciones de origen regional. *EmQuestão*, 24(2): 404-433, ISSN: 1808-5245. <http://dx.doi.org/10.19132/1808-5245242.404-433>.
- León, H. 1946. Flora de Cuba, Gimnospermas, Monocotiledóneas. Vol. I Contribuciones ocasionales del Museo de Historia Natural del Colegio La Salle No 8. La Habana. 441 pp.
- Mancilla-Margalli, N.A. & López, M.G. 2006. Water-Soluble Carbohydrates and Fructan Structure Patterns from *Agave* and *Dasyliirion* Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20): 7832-7839, ISSN: 1520-5118. <https://doi.org/10.1021/jf060354v>.
- Márquez-López, R.E., Santiago-García, P.A. & López, M.G. 2022. Agave Fructans in Oaxaca's Emblematic Specimens: *Agave angustifolia* Haw. and *Agave potatorum* Zucc. *Plants*, 11(14): 1834, ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants11141834>.
- Mellado-Mojica, E., López-Medina, T.L. & López-Pérez, M.G. 2009. Developmental Variation in *Agave tequilana* Weber var. Azul Stem Carbohydrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 3(1): 34-39, ISSN: 1749-0626.
- Meyer, V.R. 2010. Practical High-Performance Liquid Chromatography. John Wiley and Sons, Ltd, New York, USA. pp. 5-141. ISBN: 978-0-470-68218-0.
- Montañez-Soto, J., Venegas-González, J., Vivar-Vera, M. & Ramos-Ramírez, E. 2011. Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber var. Azul. *Bioagro*, 23(3): 199-206, ISSN: 1316-3361.
- ONEI. 2021. Anuario estadístico de Cuba 2020. Medio Ambiente. Oficina Nacional de Estadística e Información. Cuba. 60 pp.
- Padilla-Camberos, E., Barragán-Álvarez, C.P., Díaz-Martínez, N.E., Rathod, V. & Flores-Fernández, J.M. 2018. Effects of Agave fructans (*Agave tequilana* Weber var. azul) on body fat and serum lipids in obesity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73: 34-39, ISSN: 1573-9104. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0654-5>.
- Pérez, A.J., Calle, J.M., Simonet, A.M., Guerra, J.O., Stochmal, A. & Macías, F.A. 2013. Bioactive steroidal saponins from *Agave offoyana* flowers. *Phytochemistry*, 95: 298-307, ISSN: 0031-9422. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.06.020>.
- Pérez, A.J., Simonet, A.M., Calle, J.M., Pecio, L., Guerra, J.O., Stochmal, A. & Macías, F.A. 2014. Phytotoxic steroidal saponins from *Agave offoyana* leaves. *Phytochemistry*, 105: 92-100, ISSN: 0031-9422. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.05.014>.
- Pérez, F. & Martínez-Laborde, J.B. 1994. Utilización y transporte de los fotoasimilados. In: Pérez García, F. y J. B. Martínez-Laborde (eds.). Introducción a la Fisiología Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 87-94. ISBN: 84-7114-471-9.



- Pérez-López, A.V., Simpson, J., Clench, M.R., Gomez-Vargas, A.D. & Ordaz-Ortiz, J.J. 2021. Localization and Composition of Fructans in Stem and Rhizome of *Agave tequilana* Weber var. Azul. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1-16, ISSN: 1664-462X. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.608850>.
- Plascencia, A., Gutiérrez-Mora, A., Rodríguez-Domínguez, M., Castañeda-Nava, J., Gallardo-Valdez, J. & Camacho-Ruiz, R.M. 2019. Characterization of fructans extracted from *Agave mapisaga* leaves. In: Gutierrez Mora, A. (ed.). Sustainable and Integrated use of Agave. CONACYT / CIATEJ / Agared, Zapopan, Jalisco, Mexico. Pp. 101-106. ISBN: 978-607-8734-03-0.
- Regalado, E., Godínez-Hernández, C.I., Aguirre Rivera, J.R., Camacho, R.M. & Juárez, B.I. 2021. Characterization of fructans from stems of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck and *A. tequilana* F.A.C. Weber at full physiological maturity. *Botanical Sciences*, 9(2): 388-397, ISSN: 2007-4476. <https://doi.org/10.17129/botsci.2641>.
- Ritsema, T. & Smeekens, S. 2003. Engineering fructan metabolism in plants. *Journal of Plant Physiology*, 160: 811-820, ISSN: 1618-1328. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01029>.
- Romero-Jiménez, M., Castañeda-Noa, I. & de las Mercedes, L. 2015. Origen y estado actual de la flora espermatófito en áreas naturales de cayo Las Brujas, Villa Clara. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 36: 31-46, ISSN: 2410-5546.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2002. Respiration and Lipid Metabolism. In: Taiz, L. y E. Zeiger (eds.). *Plant physiology*. Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts, USA. Pp. 245-247. ISBN: 0-87893-823-0.
- Trujillo, T.L.E., Gómez, R.R., Banguela, C.A., Soto, R.M., Arrieta, S.J.G. & Hernández, G.L. 2004. Catalytic properties of N-glycosylated *Gluconacetobacter diazotrophicus* levansucrase produced in yeast. *Electronic Journal of Biotechnology*, 7(2): 115-123, ISSN: 0717-3458. <https://doi.org/10.4067/S0717-34582004000200005>.
- Trujillo-Ramírez, D., Bustos-Vázquez, M.G., Martínez-Velasco, A. & Torres-de los Santos, R. 2023. Integral use of Henequen (*Agave fourcroydes*): applications and trends-a review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(2): 1-18, ISSN: 1870-0462. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4619>.
- Van den Ende, W. 2013. Multifunctional fructans and raffinose family oligosaccharides. *Frontiers in Plant Science*, 4: 1-11, ISSN: 1664-462X. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00247>.
- Verma, D.K., Patel, A.R., Thakur, M., Singh, S., Tripathy, S., Srivastav, P.P. & Aguilar, C.N. 2021. A review of the composition and toxicology of fructans, and their applications in foods and health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99: 103884, ISSN: 1096-0481. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103884>.
- Vijn, I., van Dijken, A., Lüscher, M., Bos, A., Smeets, E., Weisbeek, P., Wiemken, A. & Smeekens, S. 1998. Cloning of sucrose: sucrose 1-fructosyltransferase from onion and synthesis of structurally defined fructan molecules from sucrose. *Plant Physiology*, 117(4): 1507-1513, ISSN: 1532-2548. <https://doi.org/10.1104/pp.117.4.1507>.
- Wack, M. & Blaschek, W. 2006. Determination of the structure and degree of polymerisation of fructans from *Echinacea purpurea* roots. *Carbohydrate Research*, 341(9): 1147-1153, ISSN: 1873-426X. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2006.03.034>.
- Wang, L., Yang, H., Huang, H., Zhang, C., Zuo, H.X., Xu, P., Niu, Y.M. & Wu, S.S. 2019. Inulin-type fructans supplementation improves glycemic control for the prediabetes and type 2 diabetes populations: results from a GRADE-assessed systematic review and dose-response meta-analysis of 33 randomized controlled trials. *Journal of Translational Medicine*, 17(410): 1-19, ISSN: 1479-5876. <https://doi.org/10.1186/s12967-019-02159-0>.
- Waterhouse, A.L. & Chatterton, N.J. 1993. Glossary of fructan terms. In: Michio Suzuki, N. y J. Chatterton (eds.). *Science and technology of fructans*. CRC Press. Boca Raton, USA. Pp. 1-7. ISBN: 0-8493-5111-1.