

Obtención de Fructooligosacáridos de Agave y su Potencial Biológico: Un Artículo de Revisión

Robles Arias Mónica Alejandra¹

mroblesarias@xanum.uam.mx

<https://orcid.org/0009-0008-8809-7287>

Departamento de Biotecnología, Universidad
Autónoma Metropolitana
Ciudad de México

Cruz Guerrero Alma Elizabeth

acg@xanum.uam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9686-2267>

Departamento de Biotecnología, Universidad
Autónoma Metropolitana
Ciudad de México

RESUMEN

El género *Agave* es considerado originario de México, de las 310 especies reportadas, 272 se encuentran en territorio mexicano y 135 especies son endémicas de nuestro país. Desde el punto de vista comercial y ecológico, el género *Agave* ha sido aprovechado por el hombre durante mucho tiempo para la obtención de numerosos beneficios. No obstante, destaca su uso para la elaboración de bebidas alcohólicas como el tequila y el mezcal. Dada la relevancia económica de estas bebidas, se generan una gran cantidad de residuos agroindustriales. Este efecto adverso puede ser mitigado ya que la planta de agave es una fuente importante de fructanos, que al ser hidrolizados dan como resultados los llamados fructooligosacáridos. Estos carbohidratos se pueden obtener mediante: uso de prensas, lixiviación, filtración, hidrólisis térmica y ácida. Adicionalmente, la hidrólisis enzimática es una opción viable que permite obtener fructooligosacáridos sin la necesidad de emplear altas temperaturas o ácidos que generen aún más contaminantes. Finalmente, estos fructooligosacáridos de agave presentan propiedades benéficas en la salud de los consumidores tales como: actividad prebiótica, ayudar en la absorción de minerales en el intestino, ayudar en la disminución de peso y disminuyen la concentración de glucosa en sangre. Este manuscrito resume las diferentes técnicas empleadas para la extracción de fructanos de agave, así como los efectos de su consumo en la salud.

Palabras clave: *Agave; fructanos; fructooligosacáridos; actividad biológica.*

¹ Autor principal

Correspondencia: mroblesarias@xanum.uam.mx

Agave Fructooligosaccharides Obtention and their Biological Effect: A Review

ABSTRACT

The Agave genus is considered native to Mexico, of the 310 reported species, 272 are found in Mexican territory and 135 species are endemic to our country. From the commercial and ecological point of view, the *Agave* genus has been used for a long time to obtain numerous benefits. However, its use stands out for the elaboration of alcoholic beverages such as tequila and mezcal. Given the economic relevance of the production of these beverages, a great amount of agro-industrial waste is generated. This adverse effect can be mitigated since the agave plant is an important source of fructans, which, when hydrolyzed, result in the so-called fructooligosaccharides. These fructooligosaccharides can be obtained by: the use of presses, leaching, filtration, thermal and acid hydrolysis. Additionally, enzymatic hydrolysis is a viable option that allows to obtain fructooligosaccharides, without the need to use high temperatures or acids that generate even more contaminants. Finally, these agave fructooligosaccharides have beneficial properties for the health of consumers such as: prebiotic activity, aid in the absorption of minerals in the intestine, aid in weight loss and decrease blood glucose concentration. This manuscript summarizes the different methodologies used to extract fructans from agave, as well as the effects of their consumption on health.

Keywords: *Agave; fructanes; fructooligosaccharides; biological activity.*

INTRODUCCIÓN

El género *Agave* es considerado originario de México, de las 310 especies reportadas, 272 se encuentran en territorio mexicano y 135 especies son endémicas de nuestro país (Montañez-Soto *et al.*, 2011). Los agaves son plantas perennes que se ubican en casi todos los ecosistemas, pero principalmente en bosque tropical caducifolio, bosque de *Pinus-Quercus* y matorral xerófilo. Las plantas de agave habitan desde el nivel del mar y hasta los 3,000 m de altitud, siendo las mejores condiciones en montañas a una altitud entre los 1,000 y 2,000 metros (García-Mendoza, 2004).

Las plantas pertenecientes al género *Agave* poseen un metabolismo MAC (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas). En este tipo de metabolismo, las plantas asimilan durante la noche el CO₂ en ácidos de cuatro carbonos y lo fijan durante el día vía ciclo de Calvin (Andrade, 2007). Adicionalmente, la planta posee adaptaciones fisiológicas y morfológicas como: acumulación de ceras en la superficie, cutículas gruesas en la epidermis de la hoja, hojas suculentas y un sistema de raíces superficiales. Dichas características le permiten adaptarse en zonas geográficas con climas estresantes como temperaturas altas y regiones con escasez de agua (García-Mendoza *et al.*, 2017).

La planta de agave presenta hojas organizadas en forma de roseta permitiéndole captar una mayor radiación para emplearla durante la fotosíntesis, así como canalizar el agua hacia sus raíces superficiales, mismas que en temporadas de sequía disminuyen su tamaño evitando la pérdida de agua (García-Mendoza *et al.*, 2017; Stewart, 2015). Varias especies de *Agave* presentan succulencia en las hojas y baja frecuencia de estomas, facilitando el movimiento continuo de agua almacenada del parénquima medular al clorénquima durante periodos de sequía, lo que le permite soportar periodos de sequía de hasta 7 años (Pimienta-Barrios *et al.*, 2006; Stewart, 2015). Así mismo, sus estomas se abren durante la noche lo que favorece la captura de CO₂ y minimiza la pérdida de agua por transpiración (Holtum & Winter, 2014).

Importancia económica del agave en México

En México, las plantas pertenecientes al género *Agave* son muy valiosas desde el punto de vista económico, ya que han sido aprovechadas por el hombre durante mucho tiempo para la obtención de numerosos beneficios. De acuerdo con Esparza-Ibarra *et al.* (2015) hay reportados

aproximadamente 100 usos y al menos unas 70 formas de empleo. Tan sólo en Yucatán (México) se tienen poco más de 40 usos tradicionales del agave, entre los que destacan el gastronómico, medicinal, construcción, elaboración de utensilios y el textil. Adicionalmente, el agave también es empleado como forraje y combustible (Colunga-Garcíamarín & May-Pat, 1993; García-Herrera *et al.*, 2010). No obstante, en la actualidad, el agave se destina en su mayoría para la elaboración de bebidas alcohólicas como son: tequila, mezcal, bacanora, aguamiel y pulque.

De acuerdo con datos reportados por la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en México el agave representa el 1.25% del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola industrial. Además, de acuerdo con la planeación agrícola nacional 2017-2030 se estima una producción potencial de agave de 2,120.27 miles de toneladas para el año 2030 (SAGARPA, 2017).

En 2020 el tequila alcanzó una producción de 651 millones de litros, mientras que en su modalidad de 100% de agave alcanzó un máximo histórico de 470 millones de litros (CRT, 2023). Más importante aún, la demanda internacional de tequila se ha extendido a países como China y países de la Unión Europea, entre otros. De hecho, se estima que la exportación de tequila para el año 2030 sea de 220.47 millones de litros, representando una derrama económica de 1,529.75 millones de dólares (a precios del 2016) (SAGARPA, 2017).

En el caso del mezcal se registró un volumen de exportación de 4.5 millones de litros en el año 2020. Además, se estima que la exportación de mezcal para el año 2030 sea de 2.93 millones de litros, lo que (a precios del 2016) representaría un ingreso de 28.96 millones de dólares (SAGARPA, 2017).

Dada la relevancia económica de la producción de tequila y mezcal, se generan residuos agroindustriales que, por sus características y volumen, requieren un manejo y tratamiento adecuados. Desafortunadamente, la mayoría de los residuos tienen como destino final el suelo y los mantos acuíferos (elementos básicos de todo ecosistema), causando contaminación ambiental y efectos adversos en la salud. En el 2016 la industria del tequila generó 4,709,000 toneladas de toneladas de bagazo (Gallardo-Valdez, 2017), mientras que, en el año 2012, tan sólo en Oaxaca

se registró una generación de 122,696 toneladas de bagazo generado por la industria del mezcal, que en su mayoría fueron arrojados a ríos u océanos (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2013).

Este efecto adverso puede ser mitigado ya que la planta de agave es una fuente importante de fructanos. Cabe resaltar que además de ayudar a mitigar la generación de residuos agroindustriales, la producción de fructanos de agave en zonas áridas y semiáridas de México representaría una opción con potencial económico para estas poblaciones con sustentos limitados (López *et al.*, 2017).

La inulina y la oligofructosa son los fructanos con mayor importancia comercial a nivel mundial, donde la oligofructosa se obtiene de la hidrólisis enzimática de la inulina extraída de la raíz de achicoria (Coussement, 1999). Sin embargo, la planta de agave representa una fuente importante de inulina (Montañez-Soto *et al.*, 2011). Los fructanos de *Agave angustifolia* spp. *tequilana* ya son producidos de manera industrial y comienzan a tener demanda en EE. UU, sin embargo, para su obtención se sigue utilizando la piña con distintos grados de madurez, lo que afecta la calidad del producto y genera un aumento en los costos de producción (Godínez-Hernández *et al.*, 2015). No obstante, las hojas de la planta de agave presentan un contenido importante de inulina. De acuerdo con los resultados reportados por Montañez-Soto *et al.* (2011), la concentración de este carbohidrato en las hojas es de 25.3%. Por lo que el empleo de residuos de la industria de tequila, mezcal, entre otras resulta una fuente importante para obtención de fructooligosacáridos

Fructanos de agave

Las plantas pertenecientes al género *Agave*, almacenan fructanos como principal carbohidrato de reserva los cuales están asociados con la tolerancia a distintos tipos de estrés, además, actúan como osmoprotectores ante condiciones adversas como: altas y bajas temperaturas, sequía, etc. (González-Díaz *et al.*, 2020). Los fructanos comprenden principalmente monómeros de fructosa unidos mediante enlaces glucosídicos con un residuo terminal de glucosa (López, 2003; Wang & Cheong, 2023). La síntesis de fructanos en las plantas se inicia a partir de una molécula de sacarosa donde el residuo de glucosa puede ser terminal o interno (González-Díaz *et al.*, 2020). La fructosa puede unirse tanto a la glucosa como a otra molécula de fructosa por lo que se puede obtener una gran variedad de fructanos (López *et al.*, 2017). En 2003, López *et al.* determinaron

por primera vez, la estructura característica de los fructanos de agave, los cuales denominaron agavinas (Fig. 1). Las agavinas son moléculas con alto grado de polimerización y están constituidas por fructosas unidas mediante enlaces β (2-1) y β (2-6), que son enlaces al C1 y C6 de la glucosa (fructanos del tipo neoserie) y del tipo graminano.

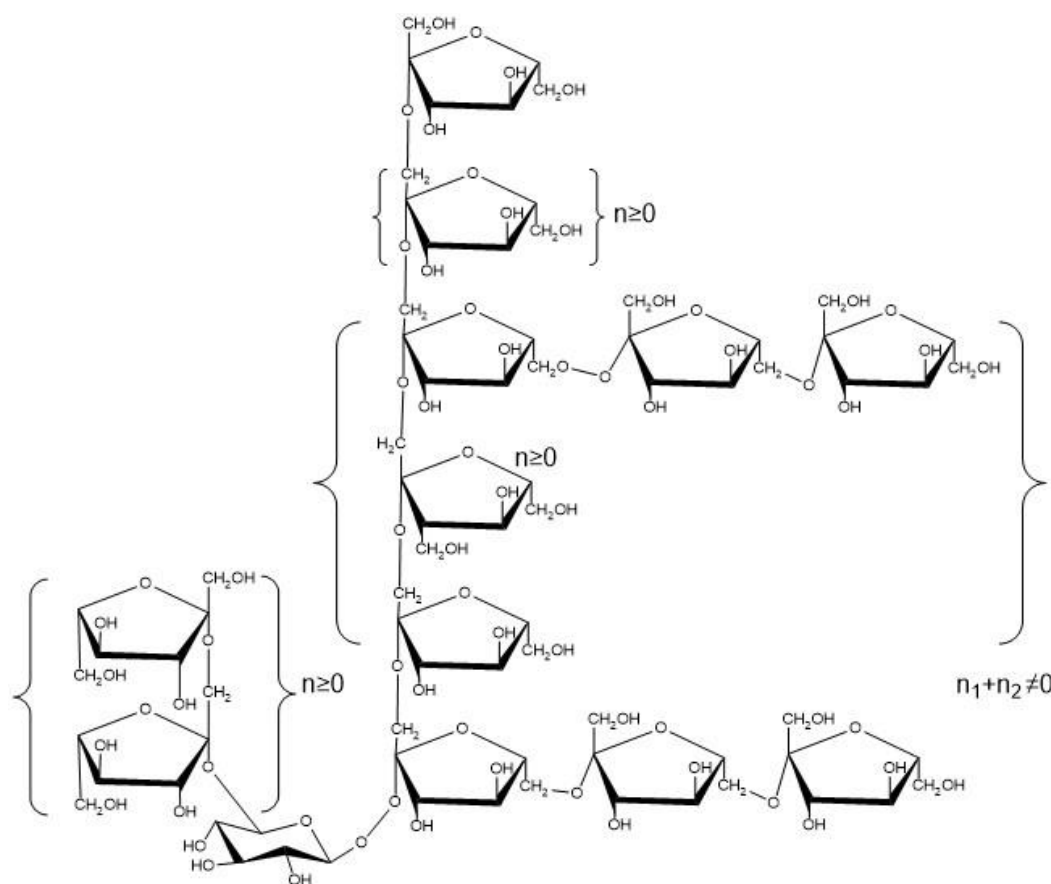


Fig. 1 Estructura química de las agavinas (López et al., 2017).

Adicionalmente, el grado de polimerización (GP) de los fructanos presentes depende de la especie y su ubicación, así como de la edad de la planta en campo. De acuerdo con Mancilla-Margalli & López (2006) los fructanos de *Agave angustifolia* perteneciente a la localidad de Oaxaca presentan un mayor grado de polimerización (GP de 31), por su parte, el *Agave fourcroydes* ubicado en el estado de Yucatán presenta un GP de 6.66. En el mismo estudio, se demostró que para *A. tequilana*, al aumentar la edad de la planta en campo, el GP de los fructanos aumenta, así como la frecuencia de ramificaciones, obteniéndose moléculas más complejas. Derivado de la hidrólisis de fructanos, se obtienen los fructooligosacáridos (FOS), los cuales poseen bajo peso molecular y un GP menor a 10 (Montañez-Soto et al., 2011).

Fructooligosacáridos

Los FOS son cadenas cortas de fructosa con un grado de polimerización de 3 a 10 unidades unidas mediante enlaces $\beta(2\rightarrow1)$ con ramificaciones unidas mediante enlaces $(2\rightarrow6)$. Estas características le confieren aplicaciones técnicas y propiedades nutricionales diferentes a cualquier otro tipo de fructano, incluyendo la inulina (Sandoval-González *et al.*, 2018).

Derivado de ello se han desarrollado distintos métodos para la obtención de FOS: extracción de fructanos del agave mediante métodos físicos y químicos con un paso posterior de separación y purificación para obtener los FOS; y mediante la hidrólisis de inulina y agavinas.

Procesos para la obtención de fructooligosacáridos

Los FOS de agave pueden ser extraídos a partir de la piña y de las hojas de la planta, sin embargo, para lograr una extracción eficiente de FOS, es necesario una operación conocida como “preparación”, la cual consiste en triturar la piña y las hojas haciendo uso de trituradora de cuchillas, así como de un paso de desfibrado mediante una desfibradora de cadenas o una desintegradora de discos (López *et al.*, 2017).

Posterior al paso de “preparación”, es necesario obtener el jugo del agave, esto puede realizarse ya sea mediante presión empleando molinos de rodillos o prensas tornillo y por lixiviación (Fig. 2) (López *et al.*, 2017).

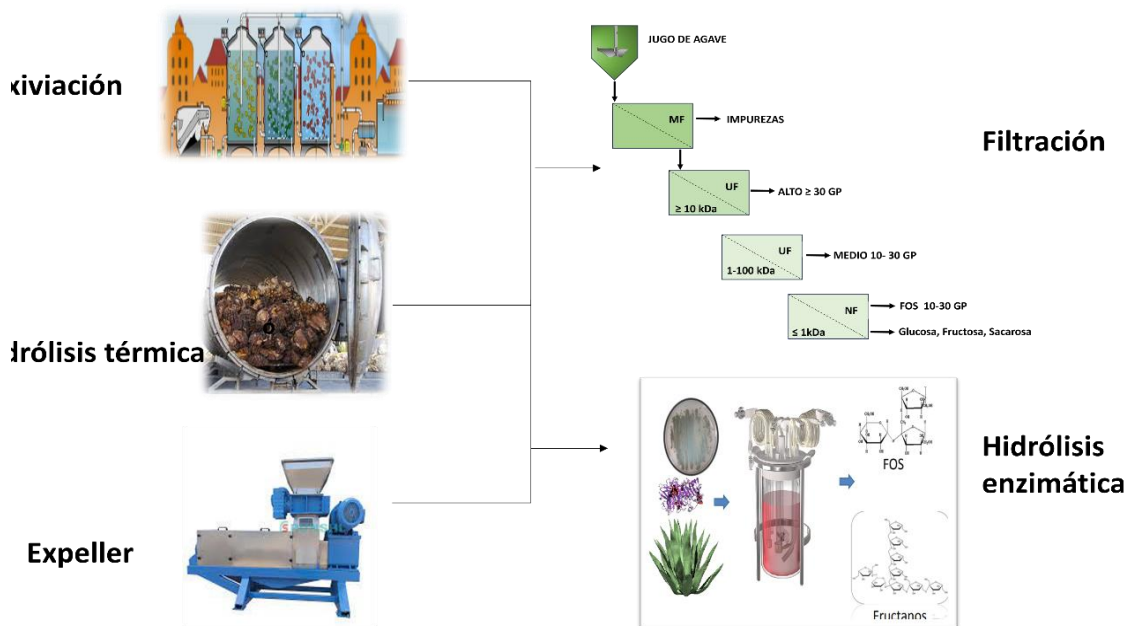


Fig. 2. Procedimientos empleados para la obtención de fructanos de agave

Extracción de fructanos por presión

Para la extracción de fructanos aplicando sistemas de presión o molienda empleando agave crudo se recomienda el uso de prensas tornillo o *expeller*. En este equipo, el material fluye por los alabes del tornillo cuyo diámetro se va reduciendo, por lo que el material va siendo comprimido conforme su paso por el molino. En contradicción, el uso de prensas de tornillo y molinos de rodillos, no se recomienda para el agave crudo, debido a que su dureza dificulta el desempeño del equipo, así como dificultades al introducir el agave entre los cilindros; razón por la que estos equipos son recomendados para agave cocido (López *et al.*, 2017). Por otra parte, mediante el uso de un extractor de jugos y una prensa hidráulica, Godínez-Hernández *et al.* (2016) lograron obtener jugo de la penca de agave con un contenido de 55% de fructanos, mientras que mediante una segunda extracción (bagazo obtenido del primer prensado) obtuvieron un jugo con 32% de fructanos, finalmente una tercera extracción (lavado y prensado del bagazo recuperado de la etapa anterior) permitió obtener jugo con un contenido de 12 % de fructanos

Extracción de fructanos por lixiviación

La obtención de fructanos de agave mediante el método de lixiviación se lleva a cabo empleando agua a temperaturas que oscilan entre los 75 y 85 °C. Debido a la naturaleza fibrosa del agave y el conocimiento de la relación agua:kg de fibra de agave requerida para obtener una concentración adecuada de fructanos, se han establecido metodologías que emplean el principio de lecho fijo y de lecho móvil usando equipos llamados “difusores”. Este procedimiento consiste en emplear agua caliente que circula en contrasentido al avance de la cama móvil de agave desfibrado en múltiples etapas (López *et al.*, 2017). A pesar de que el jugo obtenido mediante este procedimiento es rico en fructanos, también se encuentran trazas de proteínas, grasas, gomas y minerales por lo que es necesario realizar múltiples etapas de purificación con el fin de eliminar dichos compuestos.

Hidrólisis térmica y ácida

Uno de los métodos empleados en la obtención de fructanos de agave, es la combinación de calor y la adición de ácidos. En la industria tequilera el método empleado es la hidrólisis térmica. En un inicio, las piñas eran cocinadas en hornos de ladrillo por aproximadamente 36 horas con la

finalidad de hidrolizar los fructanos y obtener fructosa libre como azúcar fermentable. Actualmente, las industrias han remplazado estos hornos por autoclaves, las cuales reducen el tiempo de cocción, sin embargo, puede resultar en la ausencia de compuestos que influyen en las características sensoriales del producto final (Walecks *et al.*, 2007). Michelle-Cuello *et al.* (2015) evaluaron el efecto de la temperatura y pH en la hidrólisis de fructanos de *A. salmiana* con la finalidad de obtener jarabe de fructosa. Los autores reportaron la máxima hidrólisis de los fructanos (92.10%) a pH 4.6 y 90 °C de temperatura.

A nivel laboratorio, se han obtenido fructooligosacáridos empleando temperaturas controladas, así como la adición de ácidos. Ávila-Fernández *et al.* (2011) obtuvieron una mezcla de FOS con actividad prebiótica y polvo edulcorante a partir fructanos obtenidos de la penca de *A. tequilana* Weber Azul. Para ello llevaron a cabo una hidrólisis térmica a 60 °C, y medio ácido, ya sea empleando HCl o acidificando la solución de agave haciéndola pasar por una columna de resina de intercambio catiónico hasta alcanzar un pH 2.3 Finalmente, se purificó el hidrolizado empleando células de *Pichia pastoris*, la cual es capaz de consumir azúcares simples como fructosa y glucosa, pero no así los FOS.

Cabe resaltar que el empleo de altas temperaturas o el uso de ácidos presenta como desventaja la generación de hidroximetil furfural, así como compuestos fenólicos derivados de la hidrólisis de la lignina, los cuales son tóxicos para los humanos. Adicionalmente, se prefieren procesos que no involucren ácidos, con la finalidad de disminuir riesgos a la salud (Walecks *et al.*, 2007; Ávila-Fernández *et al.*, 2009; Saucedo-Luna *et al.*, 2010). Debido a estas desventajas, es deseable encontrar métodos alternativos, siendo una opción, la hidrólisis enzimática.

Obtención de fructanos mediante hidrólisis enzimática

El uso de enzimas a nivel industrial supone ciertas ventajas sobre los procesos antes mencionados como: el uso de temperaturas entre los 50-60 °C, valores de pH encontrados normalmente en el jugo del agave (4.7 y 5.5), además, se evita la generación de reacciones secundarias inesperadas debido a la especificidad de las enzimas. Sin embargo, su uso no es común debido al alto costo de las enzimas (González-Ponce *et al.*, 2016).

A nivel comercial, la combinación de enzimas más empleada en la hidrólisis enzimática de fructanos de agave es Fructozyme L (Novozymes, NovoNordisk), el cual contiene una combinación de exo-inulinasas (E.C. 3.2.1.80) y endo-inulinasas (3.2.1.7) de *Aspergillus niger*. Para lograr la hidrólisis de los fructanos de agave, es necesaria la sinergia de ambas enzimas.

En 2009 Ávila-Fernández *et al.* llevaron a cabo la hidrólisis de fructanos de agave en un difusor industrial empleando concentraciones de 0.017-3.4% (w/v) de Fructozyme L. En concentraciones de enzima de 3.4% (w/v), todos los fructanos fueron hidrolizados en 30 min. Adicionalmente, Huazano-García & López (2017) realizaron la hidrólisis de fructanos de la penca de *A. angustifolia* empleando exo-, endo-inulinasas de *Aspergillus niger*, así como una mezcla de ambas enzimas. Los autores reportaron que el mayor rendimiento en la obtención de FOS (20%) se logró en 24 h empleando la endo-inulinasas, además los FOS resultantes presentaron un GP de 4, 7 y 8. El aumento en el tiempo de reacción catalizada por la endo-inulinasas podría deberse a que los fructanos de agave al ser ampliamente ramificados, suponen un impedimento estérico para este tipo de enzimas, ya que estas presentan una preferencia por fructanos del tipo lineal (López *et al.*, 2017). Debido a la baja especificidad de las enzimas comerciales en la hidrólisis de fructanos de agave, se ha incursionado en la búsqueda de enzimas capaces de hidrolizar esta compleja sustancia, siendo una opción interesante la obtención de enzimas producidas por microorganismos presentes de forma natural en el agave.

En 2009 García-Aguirre *et al.* llevaron a cabo la hidrólisis del jugo de piña de *A. angustifolia* empleando una endo-inulinasas de *Kluyveromyces marxianus* aislada de muestras de aguamiel. En un tiempo de reacción de 48 h lograron hidrolizar el 61% del sustrato total obteniendo una solución libre de sacarosa compuesta por 95% de fructosa y 5% de glucosa. Esta metodología podría ser empleada para la obtención de FOS de cadena corta ramificados limitando el tiempo de reacción. Adicionalmente, en 2018, investigadores del mismo grupo de trabajo obtuvieron una solución de fructooligosacáridos con un grado de polimerización de 3-10 unidades de fructosa empleando el jugo de la piña de *A. angustifolia* y una endo-inulinasas de *Sacharomyces paradoxus* aislada de muestras de aguamiel (Sandoval-González *et al.*, 2018). En la misma línea de investigación, el equipo de trabajo fue capaz de realizar en laboratorio aguamiel inoculando el

jugo obtenido de la piña de agave con el extracto enzimático de *K. marxianus* y *S. paradoxus*. De acuerdo con las condiciones de reacción (temperatura, pH y aireación), la bebida presentaba diferentes perfiles de GP de los FOS contenidos (Vicente-Magueyál *et al.*, 2020).

Separación de fructanos de agave por filtración

La filtración con membrana es una tecnología ampliamente usada en la industria de alimentos la cual abarca procesos de separación, purificación y concentración; y a su vez, es el procedimiento más empleado para la separación de fructanos lineales. Se han establecido metodologías para separar fructanos de agave en función de su GP. Alvarado *et al.* (2014) sometió el jugo obtenido de la cabeza de agave a filtración por flujo tangencial empleando una membrana de 3 kDa, logrando la separación de fructooligosacáridos de cadena corta (GP<10) de los fructanos de cadena (GP>10) así como de monosacáridos y disacáridos. Asimismo, Moreno-Vilet *et al.* (2013) desarrolló un sistema de ultrafiltración fina empleando membranas de 1 kDa, dicho proceso permitió la obtención de fructanos de agave libre glucosa, fructosa y sacarosa (Fig. 2).

Efectos benéficos de los fructooligosacáridos de agave en la salud

Es ampliamente conocido que la salud intestinal está determinada por la relación entre la microbiota y los hábitos de consumo. En general, esta relación apunta que el metabolismo humano se ve afectado por la fuente, cantidad y calidad de proteínas, lípidos, carbohidratos y agua consumidos (Espinosa-Andrews *et al.*, 2021). Del grupo de los alimentos funcionales que sobresalen por su mayor consumo, se encuentran los prebióticos (Fig. 3), los cuales son substrato para un grupo selecto de microorganismos que ejercen efectos benéficos en la salud, siendo los fructooligosacáridos los más consumidos (Regaldo-Rentería *et al.*, 2020).

Actividad prebiótica

En 1955 se empleó por primera vez el concepto de “prebiótico” para referirse a las “sustancias nutricionales no digeribles que benefician selectivamente al huésped y que estimulan el crecimiento de una o más bacterias benéficas presentes en el colón” mejorando la salud del hospedero” (Corzo *et al.*, 2015). Actualmente, la definición más reciente estipulada por la Asociación Científica de Probióticos y Prebióticos (ISAPP, 2016) es: “Los prebióticos, son

substratos selectivamente utilizados por los microorganismos presentes en el hospedero, los cuales propician efectos benéficos en la salud”.

La actividad prebiótica es dependiente tanto de la fuente de carbono como de los microorganismos. Urías-Silvas & López (2009) evaluaron el efecto prebiótico de las agavinas de diferentes especies de agave procedentes de distintas regiones sobre el crecimiento de diferentes cepas de bacterias probióticas del género *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*. Los autores determinaron que la especie de agave influye en el crecimiento de las diferentes cepas de bacterias, siendo los FOS de *A. tequilana* de Guanajuato los oligosacáridos que tuvieron un mayor efecto prebiótico en cepas del género *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, esto debido a que los fructanos de *A. tequilana* de Guanajuato se caracterizan por tener estructuras menos ramificadas y menor GP.

De acuerdo con datos reportados por Mueller *et al.* (2016), las bacterias ácido-lácticas (BAL) presentan un crecimiento diferente dependiendo el GP de los fructanos. Por ejemplo, *Lactobacillus paracasei* CRL431 y *Lactobacillus acidophilus* fueron capaces de crecer en FOS de agave con GP 3 y 5 y un crecimiento ligeramente menor en agavinas con GP 11. Sin embargo, *Lactobacillus rhamnosus* GG es capaz de crecer empleando FOS con GP 3, 5 y fructanos con GP 11, sin embargo, su crecimiento es mayor y rápido en FOS con GP 3.

Adicionalmente, en un estudio realizado por Ayala-Monter *et al.* (2018) se determinó que, la inulina de agave es una fuente de prebióticos para las bacterias del género *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus salivarius*. Incluso, *L. salivarius* registró un mayor crecimiento en 24 h en comparación con el medio suplementado con inulina de achicoria. Además, la inulina de agave con bajos GP propicia una mayor solubilidad favoreciendo su degradación y empleo por parte de las bacterias probióticas.

De la misma manera, Martínez-Gamiño *et al.* (2022) evaluaron el efecto de distintas concentraciones de fructanos de *A. salmiana* en el crecimiento *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum*. Al aumentar la concentración de fructanos. *B. longum* presentó un crecimiento 3 veces mayor en comparación con *L. lactis* y *L. acidophilus*. Además, al suplementar la alimentación de niños con problemas de desnutrición y peso normal con los

fructanos de *A. salmiana*, se encontró un incremento en el crecimiento de las BAL, disminución de pH y disminución de bacterias Gram (-) en muestras fecales de los niños con desnutrición, lo que indica el efecto prebiótico de los fructanos.

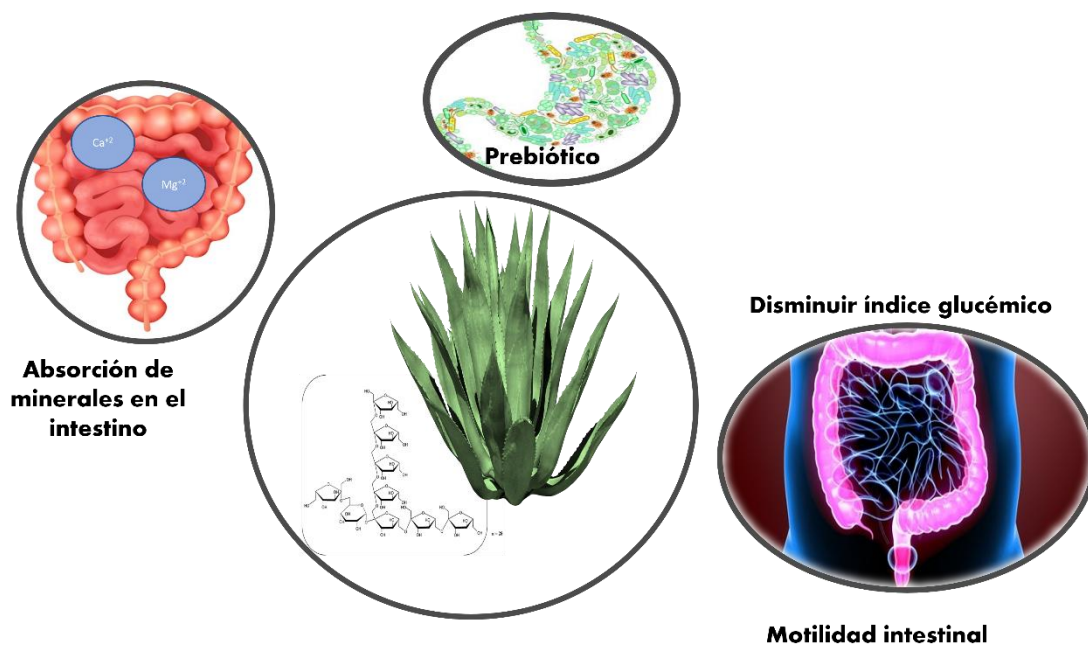


Fig. 3 Efectos benéficos de los fructanos de agave en la salud

Efecto de los FOS de agave en los niveles de glucosa en sangre

La diabetes mellitus, es una enfermedad de relevancia mundial debido al incremento en su incidencia). En el 2022 se registraron cerca de 463 millones de personas que padecen algún tipo de diabetes, cifra a la cual hay que sumar los casos no diagnosticados (OPS, 2022). Adicionalmente, para el año 2045, se espera que la cifra de casos podría incrementarse hasta alcanzar los 783 millones de personas con diabetes en todo el mundo (Fernández, 2023). Debido a los datos antes mencionados, la Asociación Americana de Endocrinólogos Clínicos recomiendan limitar el consumo de azúcar y alimentos con alto índice glucémico, así como aumentar el consumo de fibra ya que se ha demostrado que su ingesta ayuda a disminuir la concentración de glucosa en sangre además de disminuir la glucemia postprandial (Chen *et al.*, 2015; Pérez-Cruz, *et al.*, 2020).

Diversos estudios han mostrado los efectos positivos que el consumo de fructanos de agave ejerce en los niveles de glucosa en sangre. Hernández-González *et al.* (2016) adicionaron gradualmente

inulina de *A. tequilana* Weber Azul a la dieta de personas con dislipidemia (desorden que causa niveles anormales de lípidos en sangre). La primera etapa consistió en adicionar los fructanos de agave en una concentración de 5 g/día durante una semana, y aumentar la dosis cada semana durante 3 semanas hasta llegar a 15 g/ día. Los resultados demostraron que debido a la adición de FOS, el 70% de los pacientes presentaron una reducción promedio de 12.2 mg/dl de niveles de glucosa en sangre. Por otro lado, en el 63.3% de los pacientes, los niveles de hemoglobina glucosilada disminuyeron un 4%. Así mismo, Martínez-Ramírez *et al.* (2022) evaluaron el efecto de la adición de 10 g inulina de agave durante 8 semanas en la dieta de pacientes con *Diabetes mellitus* Tipo 2. Los pacientes presentaron una disminución promedio de 19.8 mg/dl en los niveles de glucosa en sangre.

Efecto de los FOS en la absorción de minerales

La osteoporosis es una enfermedad caracterizada por una disminución de la masa ósea y su resistencia, lo que causa un incremento del riesgo de las personas que la padecen a sufrir fracturas (Pacheco-Pantoja *et al.*, 2022). Se estima que actualmente más de 200 millones de personas sufren de esta enfermedad. Además, datos recientes de la Fundación Internacional de Osteoporosis, revelan que 1 de cada 3 mujeres de más de 50 años y 1 de cada 5 hombres de más de 50 años experimentarían fracturas osteoporóticas en su vida (IOF, 2023).

Diversos estudios han establecido una relación entre el consumo de fibra y la absorción de minerales lo que mejora la salud ósea (Holloway *et al.*, 2007; Weaver *et al.*, 2010; García-Vieyra *et al.*, 2014). Este efecto podría deberse a los cambios en la composición de la microbiota intestinal y por lo tanto en la producción de ácidos grasos de cadena corta, modificación del pH intestinal, cambios en biomarcadores y regulación del sistema inmune (Whisner & Castillo, 2018).

García-Vieyra & López (2014) evaluaron en ratones el efecto de los fructanos de agave en la concentración de calcio y magnesio en plasma y hueso, así como en los niveles de osteocalcina (proteína responsable de la fijación del calcio en los huesos). La investigación consistió en adicionar 10% fructanos de *A. tequilana* con diferentes GP (22 y 13) en la dieta de los ratones durante 6 semanas. Los ratones que fueron únicamente alimentados con una dieta estándar

presentaron una disminución en los niveles de calcio en plasma, mientras que, los ratones cuya dieta fue suplementada con fructanos de agave mostraron un mayor incremento en la absorción de calcio, de retención del mineral en el hueso, así como un aumento hasta 50% en los niveles de osteocalceína.

No obstante, Rivera-Huerta *et al.* (2017) no encontraron diferencias significativas en los niveles de calcio en sangre al suplementar la dieta de ratones durante dos meses con inulina de *A. Tequilana* Weber Azul o inulina de achicoria en una concentración 385mg/día, así como adicionando 3.5 mg/día de isoflavonas más la inulina de agave. Sin embargo, la administración de inulina de agave y de achicoria mejoró la densidad ósea de los ratones. Recientemente, Herrera-Rodríguez *et al.* (2022) estudiaron el efecto de un suplemento ion calcio-fibra en la densidad ósea de ratones. El suplemento incluía goma arábica (70%), quitosano (1%), fructanos de agave (20%), fosfato de calcio (4%) y vitamina D (400UI) y fue adicionado en la dieta de ratones durante 6 semanas. El suplemento no mostró cambios significativos en los niveles de densidad ósea. Sin embargo, una evaluación histomorfometría reveló que los ratones alimentados con el suplemento mostraron que promueve la formación de hueso *de novo*.

Efecto de los FOS en el control de peso

La obesidad y el sobrepeso se definen como una acumulación excesiva de grasa, lo cual puede ser perjudicial para la salud siendo la causa principal la ingesta de alimentos con alto contenido calórico y un descenso en la actividad física. De acuerdo con datos reportados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), desde 1975 la obesidad se ha triplicado en todo el mundo (OMS, 2021). De hecho, se estima que para el 2035 más de la mitad de la población del planeta sufrirá de sobrepeso y aproximadamente una cuarta parte de obesidad (WOF, 2023). Para combatir esta enfermedad, la OMS recomienda limitar la ingesta energética procedente de alimentos ricos en grasa y azúcares, aumentar el consumo de frutas, verduras y alimentos ricos en fibra, así como realizar una actividad física periódica (OMS, 2021). El consumo regular de fructanos de agave ayuda en la disminución del peso corporal. Holsher *et al.* (2014), evaluaron el efecto de la ingesta de un masticable de chocolate formulado con fructanos de agave. Un total 29 participantes completaron tres tratamientos de consumo de los fructanos (0, 5 y 7.5 g). No obstante, no se

encontraron diferencias significativas en la pérdida de peso en ninguno de los tres tratamientos. Sin embargo, los pacientes que consumieron 7.5g de inulina de agave destacaron una mejora en la deposición (más blanda y heces más frecuentes) sin síntomas de diarrea. Resultados diferentes fueron reportados por Padilla-Camberos *et al.* (2018). Los autores estudiaron el efecto de los fructanos de agave en pacientes con problemas de obesidad Tipo I o II. Para ello, a los pacientes se les administró una dosis de 96 mg/kg de fructanos de agave disueltos en 150 mL de agua durante 11 semanas. Los resultados arrojaron que los pacientes que consumieron fructanos de agave redujeron su IMC de una media de 35.3 kg/m² antes del tratamiento a 33 kg/m² al final del tratamiento; así como una reducción del 10% de su grasa corporal total.

CONCLUSIONES

Los fructanos de agave son de gran interés tanto para la industria alimenticia como para la farmacéutica debido a sus numerosas actividades biológicas. Por ello es necesario, encontrar métodos seguros para la salud que permitan obtener altos rendimientos de extracción, siendo el método enzimático una opción viable y prometedora una vez que las mejores condiciones de reacción sean establecidas. Las evidencias de sus múltiples efectos benéficos en la salud demuestran el potencial de los FOS de agave en la prevención y tratamiento de las enfermedades antes mencionadas.

REFERENCIAS

- Alvarado, C., Camacho, R. M., Cejas, R., & Rodríguez, J. A. (2014). Profiling of commercial agave fructooligosaccharides using ultrafiltration and high-performance thin layer chromatography. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(2), 417-427.
- Andrade, J. L., De la Barrera, E., García, C. R., Ricalde, M. F., Soto, G. V., & Cervera, J. C. (2007). El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (81), 37-50.
- Ávila-Fernández, Á., Rendón-Poujol, X., Olvera, C., González, F., Capella, S., Peña-Álvarez, A., & López-Munguía, A. (2009). Enzymatic hydrolysis of fructans in the tequila

production process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(12), 5578-5585.

<https://doi.org/10.1021/jf900691r>

Ávila-Fernández, Á., Galicia-Lagunas, N., Rodríguez-Alegría, M. E., Olvera, C., & López-Munguía, A. (2011). Production of functional oligosaccharides through limited acid hydrolysis of agave fructans. *Food Chemistry*, 129(2), 380-386.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.088>

Ayala Monter, M. A., Hernández Sánchez, D., Pinto Ruiz, R., González Muñoz, S. S., Bárcena Gama, J. R., Hernández Mendo, O. & Torres Salado, N. (2018). Efecto prebiótico de dos fuentes de inulina en el crecimiento in vitro de *Lactobacillus salivarius* y *Enterococcus faecium*. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(2), 346-361.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4488>

Chen, C., Zeng, Y., Xu, K., Zheng, H., Liu, J., Fan, R., Zhu, W., Yuan, L., Qin, Y., Chen, S., Zhou, Y., Wu, Y., Wan, J., Mi, M. & Wnag, J. (2016). Therapeutic effects of soluble dietary fiber consumption on type 2 diabetes mellitus. *Experimental and therapeutic medicine*, 12, 1232-1242. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3377>

Colunga-Garcíamarín, P. & May-Pat, F. (1993). Agave studies in Yucatán, Mexico. I. Past and present germplasm diversity and uses. *Economic Botany*, 47(33), 312-327.

<https://doi.org/10.1007/BF02862301>

Consejo Regulador del Tequila. Historia (CRT). [En línea]. Disponible en:

<https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/> Fecha de consulta: 23 /03/2023

Corzo, N., Alonso, J. L., Azpiroz, F., Calvo, M. A., Cirici, M., Leis, R., Lombo, F., Mateos-Aparicio I., Plou, F.J., Ruas-Madiedo, P., Rúperez, P., Redondo-Cuenca A., Sanz, M.L. & Clemente, A. (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Nutrición hospitalaria*, 31(1), 99-118.

<https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup1.8715>

- Coussement, P. A. (1999). Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. *The Journal of nutrition*, 129(7), 1412S-1417S. <http://doi.org/10.1093/jn/129.7.1412S>
- Esparza-Ibarra, E. L., Violante-González, J., Monks, S., Cadena-Iñiguez, J., Araujo-Andrade, C., & (2015). En Pulido-Flores, G., Monks, S., López-Herrera, M. (Eds.) *Los agaves mezcaleros del altiplano Potosino y Zacatecano*. (pp. 227-245) *Estudios en biodiversidad*. Lincoln, NE:Zea Books.
- Espinosa-Andrews, H., Urias-Silvas, J. E., & Morales-Hernandez, N. (2021). The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 585-598. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.022>
- Fernández, R. (2023). Diabetes-Datos Estadísticos. Statista. [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/temas/3526/diabetes/#topicOverview>. Fecha de consulta: 16/03/2023.
- Gallardo-Valdez (2017). Industria del tequila y generación de residuos. *Ciencia y Desarrollo*, 43(291).
- García-Aguirre, M., Saenz-Álvaro, V. A., Rodríguez-Soto, M. A., Vicente-Magueyal, F. J., Botello-Álvarez, E., Jimenez-Islas, H., Cárdenas-Manríquez, M., Rico-Martínez, R. & Navarrete-Bolaños, J. L. (2009). Strategy for biotechnological process design applied to the enzymatic hydrolysis of agave fructo-oligosaccharides to obtain fructose-rich syrups. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10205-10210. <https://doi.org/10.1021/jf902855q>
- García-Herrera, E.J., Méndez-Gallegos, S.J. & Talavera-Magaña, D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición (Edición especial, 5)*, 109-129.
- García-Mendoza A. (2004) En García Mendoza. A., Ordoñez, M.J., & Briones, M. (Eds.) *Biodiversidad en Oaxaca* (pp. 159-169). México: Universidad Nacional Autónoma de

México-Instituto de Biología/Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza/World Wildlife Fund.

García-Mendoza, A., Cházaro-Basañez, M.J., Nieto-Sotelo, J., Sánchez-Teyer, L., Tapia, E., Gómez-Leyva, J., Tamayo-Ordoñez, M., Narváez-Zapata, J.J., Rodríguez-Garay, B., Palomino Hasbach, .A., Martínez-Ramón, J., Martínez-Rodríguez, J.C., Quiñones-Aguilar, E.E., Rincon-Enríquez, G., Beltrán-García, M.J., Quí-Zapata, J.A., Guzmán-Mendoza,R., Mercado-Flores, Y., Ragazzo-Sánchez, J.J., Calderon-Santoyo, M. & Gutiérrez-Mora, A. (2017). Agave. Panorama del Aprovechamiento de los Agaves en México (pp.19-68). CONACYT, CIATEJ, AGARED: Guadalajara, Mexico.

García-Vieyra, M.I., Del Real, A. & López, M.G. (2014). Agave fructans: Their effect on mineral absorption and bone mineral content. *Journal of Medicinal Food*, 17(11) 1247-1255. [https://doi.org/ 10.1089/jmf.2013.0137](https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0137)

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-Dyck fructans. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1), 59-72. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.02.007>

González-Díaz, R. L., Rodríguez-Gómez, F., & Cortés-Romero, C. (2020). Exohidrolasas fructosílicas y su importancia en el metabolismo de fructanos en Agave tequilana Weber var. azul. *Revista Colombiana de Química*, 49(3), 3-12.

González-Ponce, M. R., Bernal-Arroyo, B., González-González, C. E. & Segoviano-Garfías, N. (2016). Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de Agave Tequilana Weber var. Azul. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 3(8), 33-38.

Hernández-González, S. O., Bricio-Ramírez, R. I., Ramos-Zavala, M. G., Zavalza-Gómez, A. B., Cardona-Muñoz, E. G., García-Benavides, L, Martínez-Abundis, E., Pascoe-González, S. (2016). Effect of Inulin from Agave tequilana Weber Blue Variety on the

Metabolic Profile of Overweight and Obese Dyslipidemic Patients. *Journal of Clinical Trials*, 6:254. <https://doi.org/10.4172/2167-0870.1000254>

Herrera-Rodríguez, S. E., García-Márquez, E., Padilla-Camberos, E., & Espinosa-Andrews, H. (2022). Evaluation of an ionic calcium fiber supplement and its impact on bone health preservation in a dietary calcium deficiency mice model. *Nutrients*, 14(3), 422. <https://doi.org/10.3390/nu14030422>

Holloway, L., Moynihan, S., Abrams, S.A., Kent, K., Hsu, A.R., Friedlander, A.L. (2007) Effects of oligofructose-enriched inulin on intestinal absorption of calcium and magnesium and bone turnover markers in postmenopausal women. *British Journal of Nutrition*, 97(2):365-72. <https://doi.org/10.1017/S000711450733674X>.

Holscher, H. D., Doligale, J. L., Bauer, L. L., Gourineni, V., Pelkman, C. L., Fahey, G. C., & Swanson, K. S. (2014). Gastrointestinal tolerance and utilization of agave inulin by healthy adults. *Food & function*, 5(6), 1142-1149. <https://doi.org/10.1039/c3fo60666j>

Holtum, J. A., & Winter, K. (2014). Limited photosynthetic plasticity in the leaf-succulent CAM plant *Agave angustifolia* grown at different temperatures. *Functional Plant Biology*, 41(8), 843-849. <https://doi.org/10.1071/FP13284>

Huazano-García, A., & López, M. G. (2017). Enzymatic hydrolysis of agavins to generate branched fructooligosaccharides (a-FOS). *Applied biochemistry and biotechnology*, 184, 25-34. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2526-0>

ISAPP. (2016). Prebiotics. [En línea]. Disponible en: <http://isappscience.org/scientists/resources/prebiotics/>. Fecha de consulta 15/06/2023

IOF. (2023). Osteoporosis. [En línea]. Disponible en: <https://www.osteoporosis.foundation/health-professionals/about-osteoporosis/epidemiology>. Fecha de consulta: 19/06/2023.

- López M.G., Mancilla-Margalli, N.A., Mendoza-Diaz, G. (2003). Molecular structures of fructans from Agave tequilana Weber var. azul. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27). <http://doi.org/10.1021/jf030383v>.
- López, M.G., Cámacho-Ruíz, R.M. Gónzales-Avila, M., Mellado-Mojica, E., Moreno-Vilet, L., Godínez-Hernández, C.I., Aguirre-Rivera, J.T., De la Mora-Amutio, M., Juárez-Flores, B.I., Ramos-Clamont Montfort, G., Armenta-Corral, R.I., Prado-Ramírez, R., Mendoza-Rivera, M. Á., Arrizon, J., Andrade-González, I., Aldrete-Herrera, P.I. & Ortiz-Basurto, R.I. (2017). Fructanos de agave: Actualidad y perspectivas (pp. 71-120) *Panorama del Aprovechamiento de los Agaves en México*. CONACYT, CIATEJ, AGARED: Guadalajara, México.
- Mancilla-Margalli, N.A. & López, M.G. (2006). Water-soluble carbohydrates and fructan structure patterns from Agave and Dasylirion Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7832-7839. <http://doi.org/10.1021/jf060354v>
- Martínez-Gamiño, D., García-Soto, M. J., Gónzalez-Acevedo, O., Godínez-Hernández, C., Juárez-Flores, B., Ortiz-Basurto, R. I., Rodríguez-Aguilar, M., Flores-Ramírez, R., Martínez-Martínez, M., Ratering, S., Schnell, S., Bach, H. & Martínez-Gutiérrez, F. (2022). Prebiotic effect of fructans from Agave salmiana on probiotic lactic acid bacteria and in childrens as supplement for malnutrition. *Food & Function*, 13(7), 4184-4193. <http://doi.org/10.1039/d1fo03852d>
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Íñiguez-Covarrubias, G., Ortiz-Hernández, Y. D., López-Cruz, J. Y., & Bautista-Cruz, M. A. (2013). Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 209-216.
- Martínez-Ramírez, O. C., Salazar-Piña, A., Cerón-Ramírez, X., Rubio-Lightbourn, J., Torres-Romero, F., Casas-Avila, L., & Castro-Hernández, C. (2022). Effect of inulin intervention on metabolic control and methylation of INS and IRS1 genes in patients

with type 2 diabetes mellitus. *Nutrients*, 14(23), 5195.

<https://doi.org/10.3390/nu14235195>

Michel-Cuello, C., Gallegos Fonseca, G., Maldonado Cervantes, E., & Aguilar Rivera, N. (2015). Effect of temperature and pH environment on the hydrolysis of maguey fructans to obtain fructose syrup. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14(3), 615-622.

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 azul. *Bioagro*, 23(3), 199-206.

Moreno-Vilet, L., Moscosa-Santillán, M., Grajales-Lagunes, A., González-Chávez, M., Bonnin-Paris, J., Bostyn, S. & Ruiz-Cabrera, M. (2013). Sugars and fructans separation by nanofiltration from model sugar solution and comparative study with natural Agave juice. *Separation Science and Technology*, 48(12), 1768-1776.
<https://doi.org/10.1080/01496395.2013.786729>

Mueller, M., Reiner, J., Fleischhacker, L., Viernstein, H., Loeppert, R., & Praznik, W. (2016). Growth of selected probiotic strains with fructans from different sources relating to degree of polymerization and structure. *Journal of functional Foods*, 24, 264-275.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.010>

Organización Mundial de la Salud. 2021. [En línea]. Disponible en:
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Fecha de consulta: 4/07/2023

OPS, 2022. Diabetes. [En línea]. Disponible en:
<https://www.paho.org/es/temas/diabetes#:~:text=Aproximadamente%2062%20million es%20de%20personas,a%20la%20diabetes%20cada%20a%C3%B1o>. Fecha de consulta: 16/03/2023.

- Padilla-Camberos, E., Barragán-Álvarez, C. P., Diaz-Martinez, 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. <http://doi.org/10.1007/s11130-018-0654-5>
- Pacheco-Pantoja, E. L., Salazar-Ciau, P., & Yáñez-Pérez, V. (2022). Metabolismo óseo y osteoporosis: conceptos y funciones. *Revista Biomédica*, 33(1), 22-32. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v33i1.906>
- Pérez-Cruz, E., Calderón-Du Pont, D. E., Cardoso-Martínez, C., Dina-Arredondo, V. I., Gutiérrez-Déciga, M., Mendoza-Fuentes, C. E., Obregón-Ríos, D.M., Ramírez-Sandoval, A.S., Rojas-Pavón, B., Rosas-Hernández, L.R. & Volantín-Juárez, F. E. (2020). Estrategias nutricionales en el tratamiento del paciente con diabetes mellitus. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58(1), 50-60.
- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J. & García-Galindo, J. (2006). Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de Agave tequilana. *Agrociencia*, 40(6), 699-709.
- Regalado-Rentería, E., Aguirre-Rivera, J. R., Godínez-Hernández, C. I., García-López, J. C., Oros-Ovalle, A. C., Martínez-Gutiérrez, F., Martínez-Martínez, M., Ratering, S., Schnell, S., Ruíz-Cabrera, M.A., Juárez-Flores, B. I. (2020). Effects of agave fructans, inulin, and starch on metabolic syndrome aspects in healthy wistar rats. *ACS omega* 5(19), 10740-10749. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00272>
- Rivera-Huerta, M., Lizárraga-Grimes, V. L., Castro-Torres, I. G., Tinoco-Méndez, M., Macías-Rosales, L., Sánchez-Bartéz, F., Tapia-Pérez, G.G., Romero-Romero, L. & Gracia-Mora, M. I. (2017). Functional effects of prebiotic fructans in colon cancer and calcium metabolism in animal models. *BioMed Research International*, 2017. <http://doi.org/10.1155/2017/9758982>
- SAGARPA. 2017. Agave tequilero y mezcalero. Planeación agrícola nacional 2017-2030. [En línea] Disponible en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257066/PotencialAgave_Tequilero_y_Mezcalero.pdf

- Sandoval-González, R. S., Jiménez-Islas, H. & Navarrete-Bolaños, J. L. (2018). Design of a fermentation process for agave fructooligosaccharides production using endo-inulinases produced in situ by *Saccharomyces paradoxus*. *Carbohydrate polymers*, 198, 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.075>
- Saucedo-Luna, J., Castro-Montoya, A. J., Rico, J. L., & Campos-García, J. (2010). Optimization of acid hydrolysis of bagasse from *Agave tequilana* Weber. *Revista mexicana de ingeniería química*, 9(1), 91-97.
- Stewart, J. R. (2015). Agave as a model CAM crop system for a warming and drying world. *Frontiers in plant science*, 6, 684. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00684>
- Urías-Silvas, J. E., & López, M. G. (2009). *Agave* spp. and *Dasyliirion* sp. fructans as a potential novel source of prebiotics. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 3, 59-64.
- Vicente-Magueyal, F. J., Bautista-Méndez, A., Villanueva-Tierrablanca, H. D., García-Ruíz, J. L., Jiménez-Islas, H. & Navarrete-Bolaños, J. L. (2020). Novel process to obtain agave sap (aguamiel) by directed enzymatic hydrolysis of agave juice fructans. *LWT-Food Science and Technology*, 127, 109387. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109387>
- Waleckx, E., Gschaedler, A., Colonna-Ceccaldi, B., & Monsan, P. (2008). Hydrolysis of fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul during the cooking step in a traditional tequila elaboration process. *Food Chemistry*, 108(1), 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.028>
- Weaver, C. M., Martin, B. R., Story, J. A., Hutchinson, I., & Sanders, L. (2010). Novel fibers increase bone calcium content and strength beyond efficiency of large intestine

fermentation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(16), 8952-8957.

<https://doi.org/10.1021/jf904086d>

Whisner, C.M. & Castillo, L.F. (2018). Prebiotics, bone and mineral metabolism. *Calcified*

Tissue International, 102(a), 443-479. <https://doi.org/10.1007/s00223-017-0339-3>

Wang, M., & Cheong, K. L. (2023). Preparation, structural characterization, and bioactivities of

fructans: A review. *Molecules*, 28(4), 1613.

<https://doi.org/10.3390/molecules28041613>

World Obesity Federation, *World Obesity Atlas*. 2023. [En línea]. Disponible en

<https://data.worldobesity.org/publications/?cat=19>. Fecha de consulta: 4/07/2023