

Artículo de Revisión / Review Article

Subproductos de interés nutricional y funcional de *Agave salmiana*

By-products of *Agave salmiana* of nutritional and functional interest

Leticia Huezcas-Garrido¹. <https://orcid.org/0000-0002-7110-7927>

Ernesto Alanís-García¹. <https://orcid.org/0000-0003-1540-4908>

José Alberto Ariza-Ortega¹. <https://orcid.org/0000-0002-2163-4593>

Quinatzin Yadira Zafra-Rojas¹. <https://orcid.org/0000-0002-5295-9972>

1. Área Académica de Nutrición, Centro de Investigación Interdisciplinaria, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México.

*Dirigir correspondencia: Ernesto Alanís García.

Área Académica de Nutrición, Centro de Investigación Interdisciplinario, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Actopan camino a Tilcuautla s/n Pueblo San Juan Tilcuautla, ex-Hacienda la Concepción s/n, 42160 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México.

Email: ernesto_alanis@uaeh.edu.mx

Este trabajo fue recibido el 16 de agosto de 2021.

Aceptado con modificaciones: 28 de octubre de 2021.

Aceptado para ser publicado: 19 de noviembre de 2021.

RESUMEN

Agave salmiana es una subespecie originaria de México, ha sido participe en distintos periodos históricos, utilizado en la construcción, vestimenta, alimento y bebida. Destacando el aguamiel como subproducto, cuya particularidad es su alto contenido de azúcares (fructooligosacáridos). Algunos subproductos derivan del aguamiel, como el pulque y el jarabe de agave; el primero resultado de la fermentación y el segundo de la concentración de solutos mediante tratamientos térmicos y/o enzimáticos. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión fue recopilar información de los últimos años sobre *Agave salmiana* y subproductos de interés nutricional y funcional, así como su uso en productos alimenticios, para lo cual se usaron las bases de datos: Medline/PubMed, SciELO, ELSEVIER, así como Normas Oficiales Mexicanas y páginas web privadas. La estrategia de búsqueda se realizó combinando el uso de operadores booleanos "AND" y "OR", utilizando las siguientes palabras: aguamiel and characterization, pulque and microorganisms or fermentation, agave syrup and bread. Esta revisión concluye que el consumo, de manera controlada, de los subproductos de *Agave salmiana*, trae consigo múltiples beneficios a la salud, principalmente al fortalecer la microbiota intestinal, por lo que pueden ser incluidos en la dieta habitual de una persona sana, además, pueden ser utilizados como parte del tratamiento nutricional, en bajas cantidades, en patologías como diabetes tipo 2 e intolerancia a la insulina, colitis ulcerosa y cáncer de colon siempre con supervisión médica. Por otra parte, aún existe la necesidad de generar más información sobre el tema a través de investigación científica. Palabras clave: Agave; Aguamiel; Fructooligosacáridos; Pulque.

ABSTRACT

Agave salmiana is a native subspecies from Mexico, it has been part of different historical periods, used in construction, clothing, food and drink; highlighting the aguamiel as a by-product, whose particularity is its high sugar content (fructooligosaccharides). Some by-products are derived from aguamiel, such as pulque and agave syrup; the first is the result of fermentation and the second of the concentration of solutes by thermal and/or enzymatic treatments. Therefore, the objective of this review was to collect recent information about *Agave salmiana* and by-products of nutritional and functional interest, as well as use in food products. We used the following databases were used: Medline/PubMed, SciELO, ELSEVIER, as well as the Official Mexican Standards and private web pages. The search strategy was carried out with the boolean operators "AND" and "OR", using the following words: aguamiel and characterization, pulque and microorganisms or fermentation, agave syrup and bread. This review concludes that the consumption, in a controlled manner, of the by-products of *Agave salmiana*, brings with it multiple health benefits, mainly by strengthening the intestinal microbiota, so they can be included in the usual diet of a healthy person. In addition, by-products can be used as part of nutritional treatments, in low amounts, for diseases such as type 2 diabetes and insulin intolerance, ulcerative colitis and colon cancer, always with medical supervision. On the other hand, there is still a need to generate more information about the subject through scientific research. Keywords: Agave; Aguamiel; Fructooligosaccharides; Pulque.

INTRODUCCIÓN

El agave es una planta monocotiledónea que pertenece a familia Agavaceae e incluye diversas especies, una de ellas es el *Agave salmiana* la cual es endémica de México, donde es conocida tradicionalmente como maguey manso, maguey de pulque, maguey de quiste o maguey poblano¹. Desde épocas ancestrales se han utilizado partes esenciales de la planta como las hojas, el meyolote y la piña, para elaborar bebidas (pulque), vestimenta, uso religioso, ornato, herramientas, medicina y construcción². Por otra parte, la savia de agave es uno de los subproductos con mayor relevancia, conocida como aguamiel, de la cual a su vez derivan otros subproductos, como el pulque y el jarabe de agave. El primero se obtiene a través de la fermentación del aguamiel, mientras que el segundo, a través de una concentración de azúcares, generalmente con calor (>85 °C). A estos subproductos se le atribuyen múltiples beneficios a la salud debido a la presencia de sustancias bioactivas con efecto en la microbiota intestinal (MBI), por lo que ha sido utilizado en estudios experimentales de colitis ulcerosa y cáncer de colon^{3,4}. Además, el jarabe y el pulque se han utilizado en el tratamiento de enfermedades, por ejemplo, diabetes mellitus tipo 2 y resistencia a la insulina^{5,6}.

Por lo que el objetivo de esta revisión es recopilar información de los últimos años sobre *Agave salmiana* y sus subproductos de interés nutricional y funcional, así como su uso en productos alimenticios.

METODOLOGÍA

Para esta revisión se efectuó una búsqueda de información actualizada, principalmente de artículos originales de investigación, revisiones sistemáticas y meta-análisis disponibles en bases de datos como Medline/PubMed, SciELO, ELSEVIER, así como información proporcionada por instituciones de índole gubernamental como Normas Oficiales Mexicanas y páginas web privadas, utilizando los operadores booleanos "AND", "OR" y palabras clave:

aguamiel and characterization, pulque and microorganismos, agave syrup and bread or characterization. Se seleccionaron 56 artículos publicados entre los años 2000 al 2021 que abordan temas relacionados con agave, aguamiel, pulque y jarabe de agave, en idioma español e inglés. Posterior a la aplicación de los criterios, se seleccionaron los artículos relacionados a la caracterización fisicoquímica y nutricional, así como los efectos en la salud usando modelos experimentales y algunos de intervención en individuos, también se incluyeron estudios de aplicación en la industria alimentaria de subproductos de *Agave salmiana*.

Agave salmiana

En el continente americano existen alrededor de 273 especies de agave, dentro de las cuales se encuentra el agave pulquero². En general las especies de agave se cultivan en climas tropicales, subtropicales y zonas de clima árido de México, siendo los estados de Guanajuato, Guerrero, el Estado de México, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz e Hidalgo los principales productores de agave¹, donde se encuentran las variedades *A. atrovirens*, *A. americana*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* utilizadas para la producción de pulque, bebida alcohólica tradicional⁷. De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en 2020 se produjeron 167,2 millones litros de pulque, de los cuales el 66.7% fueron producidos por el estado Hidalgo⁸.

Las especies de *A. salmiana* se encuentran de manera cultivada y silvestre, cuyo origen pudo ser a partir de una sola planta madre por medio de la reproducción del tipo semélparo o monócarpo⁹. Sin embargo, existe una variabilidad morfológica que se refleja principalmente en la hoja, como lo indica García-Mendoza¹, quien considera que *A. salmiana* incluye solo dos subespecies: *A. salmiana subsp. salmiana* y *A. salmiana subsp. tehucanensis*, mientras que Vargas et al.¹⁰ refieren que dentro de la subespecie *salmiana* existe una variación morfológica debido al fenómeno de hibridación en condiciones naturales.

Aguamiel

El aguamiel es la savia del agave, caracterizado por ser un producto incoloro, transparente, con cierto grado de olor herbáceo y sabor dulce. Para su obtención, el agave debe tener alrededor de ocho a diez años desde su trasplante y en zonas como el Valle de México, su obtención es a partir de los 15 años¹¹. Para la extracción de aguamiel, los agricultores, mejor conocidos como tlachiqueros, realizan una serie de etapas desde la castración del agave hasta la raspa (Figura 1).

Actualmente hay poca información sobre esta bebida y algunas investigaciones se han centrado en estudiar sus características nutricionales, así como sus beneficios a la salud^{3,4}. A continuación, se describen las características fisicoquímicas y nutricionales de diferentes especies de agave.

Características fisicoquímicas y nutricionales

En la tabla 1 se presentan dos variedades de agave (*A. salmiana* y *A. atrovirens*), se observa una variación en el porcentaje de acidez y sólidos solubles, esto se debe en gran parte al metabolismo crasuláceo, equivalente a la fotosíntesis en estas plantas, relacionado con el aumento de

la acidez, que a su vez depende de la radiación fotosintética, la zona geográfica y las estaciones del año, por lo que durante el invierno y la primavera la absorción de CO₂ es mayor¹², al igual que la hidrólisis y almacenamiento de azúcares, principalmente en el meyolote, además la formación de grupos funcionales utilizados para la síntesis de aminoácidos y de proteína se ve incrementada (Tabla 2)^{13,14}.

Además, se encuentran presentes algunas vitaminas hidrosolubles y minerales (Tabla 2), por lo que se puede considerar una buena fuente, a partir de lo estipulado en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes¹⁵, de riboflavina, niacina, piridoxina, vitamina C, así como de selenio, llegando a cubrir más del 20% de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) por cada 100 mL de aguamiel, esto en base a los requerimientos para población mexicana¹⁶. También se ha reportado la presencia de aminoácidos esenciales como isoleucina, fenilalanina y valina (Tabla 2).

Propiedades con beneficios a la salud

Como se mencionó anteriormente, el aguamiel es buena fuente de algunas vitaminas hidrosolubles y de algunos minerales, que pueden coadyuvar a cubrir el requerimiento diario, teniendo un efecto positivo a la salud,

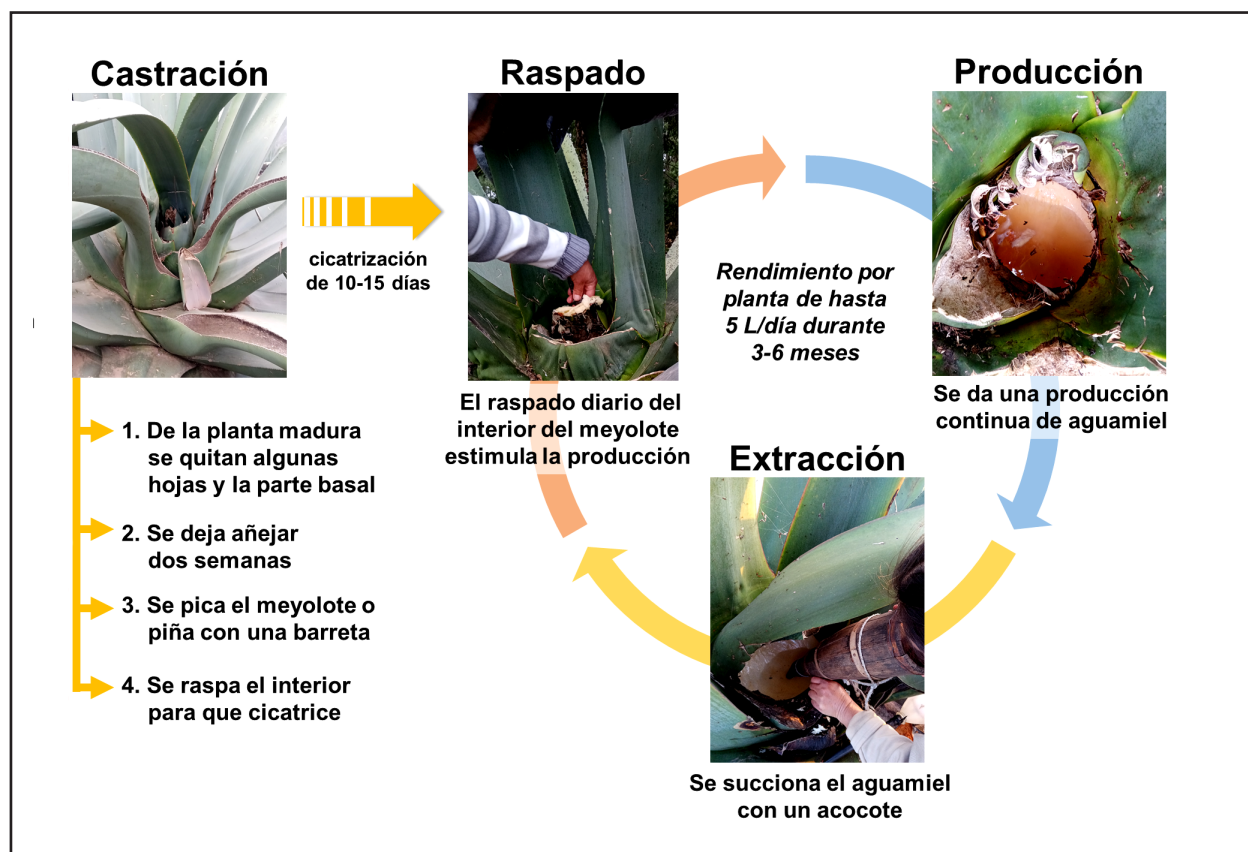


Figura 1. Proceso tradicional de la extracción de aguamiel.

Tabla 1. Análisis fisicoquímico del aguamiel.

Parámetro	<i>A. salmiana</i> ^{82,83}		<i>A. atrovirens</i> ⁸⁴
Humedad (%)	—	—	89
Cenizas (%)	—	0,300-0,430	0,300
pH	4,37	6,6-7,5	6,290
Acidez (%)	0,210	0,900-1,03	0,060
Sólidos solubles (°Brix)	13,33	13-17	11,10

Tabla modificada de Romero-López (2015)⁸⁴.**Tabla 2.** Características nutricionales del aguamiel.

Macronutrientes en aguamiel			
Parámetro	A. salmiana ^{82,83}		A. atrovirens ⁸⁴
Azúcares totales (%)	-	3,21	7,7
Azúcares reductores totales (%)	10,74	8-12	6,39
Fructooligosacáridos (%)	-	-	1,61
Proteína (%)	0,318	0,300-0,600	0,363

Minerales en aguamiel (mg/100 mL)		
Mineral	A. salmiana ⁸⁵	*A. atrovirens ⁸⁴
Potasio	-	155,38
Calcio	38,61	15,09
Zinc	0,270	0,232
Hierro	0,410	1,045
Sodio	2,12	1,07
Cobre	0,140	0,903
Magnesio	1,93	0,709
Selenio	-	0,060

Vitaminas hidrosolubles (mg/100 mL)	
Vitamina	A. atrovirens ⁸⁴ (mg/100 mL)
Tiamina (B1)	0,129
Riboflavina (B2)	0,490
Niacina (B3)	6,15
Piridoxina (B6)	0,735
Ácido ascórbico (C)	23,20

Aminoácidos (mg/100 mL)	
Aminoácido	A. atrovirens ⁸⁴ (mg/100 mL)
Histidina	0,246
Isoleucina	0,627
Leucina	0,625
Lisina	0,692
Metionina	0,292
Cisteína	0,064
Fenilalanina + tirosina	1,81
Treonina	0,308
Valina	2,19

Tabla modificada de Romero-López (2015)⁸⁴ y Silos-Espino (2011)⁸⁵.

Tabla 3. Características nutricionales del pulque.

Macronutrientes		
Nutriente	Pulque natural^{86,87}	Pulque enlatado⁸⁸
Carbohidratos totales (%)	-	9,50
Azúcares reductores (%)	1-8	-
Proteína (%)	0,310	0,269
Minerales (mg/100 mL)		
Mineral	Pulque natural⁸⁹	Pulque enlatado⁸⁸
Calcio	10,50	57,78
Hierro	0,700	-
Fósforo	8	-
Vitaminas hidrosolubles (mg/100 mL)		
Vitamina	Pulque natural⁸⁹	Pulque enlatado⁸⁸
Tiamina (B ₁)	0,020	0,020
Riboflavina (B ₂)	0,030	0,030
Niacina (B ₃)	0,330	0,350
Ácido ascórbico (C)	5,56	5,10
Aminoácidos (mg/100 mL)		
Aminoácido	Pulque natural⁹⁰	Pulque enlatado⁸⁸
Histidina	5,84	-
Isoleucina	11,74	-
Leucina	24,75	-
Lisina	5,11	12,00
Metionina	3,25	-
Cisteína	4,62	-
Fenilalanina+tirosina	26,77	-
Treonina	12,24	-
Triptófano	6,83	6,00
Valina	14,88	-

Tabla modificada de Del Razo (2004)⁸⁸ y Morales de León (2005)⁹⁰.

como bien se sabe, estos componentes tienen funciones importantes dentro del organismo, como su participación en la producción de energía, síntesis de ADN, transporte de oxígeno y en algunas funciones neuronales¹⁷. Por otra parte, los aminoácidos cubren funciones en el organismo como componentes básicos en la síntesis de proteínas, fuente para la obtención de energía, precursores de hormonas y neurotransmisores, entre otros¹⁸.

Debido a las propiedades reportadas en el aguamiel, se ha relacionado su uso con la medicina tradicional², es decir, un efecto probiótico y prebiótico. El primero se debe a que cuatro cepas de *Leuconostoc mesenteroides subsp. mesenteroides*, aisladas del aguamiel de *A. salmiana*, son

resistentes al pH ácido y bilis, reportando un porcentaje de adhesión a la mucosa intestinal superior al 75%. Además, presenta un efecto inhibitorio contra el crecimiento de patógenos (*Salmonella enterica subsp. enterica serovar Thyphimurium* ATCC 14028, *Listeria monocytogenes* ATCC 19115, *Escherichia coli* ATCC 43895, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y *S. aureus* FRI 184) *in vitro*¹⁹. Mientras que el segundo es dado principalmente por los fructanos presentes en el aguamiel, ya que se ha reportado un efecto de dosis-respuesta a fructanos (7,14 y 21 g/L) y el crecimiento de las cepas probióticas de *Lactobacillus acidophilus* SACCO LA3 y *Bifidobacterium lactis* SACCO BLC1 *in vitro*²⁰.

Componentes bioactivos aislados del aguamiel

Los componentes bioactivos son metabolitos secundarios producidos por las plantas, con efectos farmacológicos o toxicológicos en humanos y animales²¹, entre ellos se encuentran los fructooligosacáridos (FOS) que, por definición son polisacáridos derivados de la sacarosa conformados por varias unidades de fructosa y un residuo de glucosa²² (Figura 2A). La presencia de FOS en los agaves se asocian con la supervivencia de éstos debido a la respuesta a cambios ambientales (climas fríos y secos) y a condiciones de estrés²³. La síntesis de estos ocurre durante el metabolismo crasuláceo, teniendo como fructano más sencillo a la inulina con enlace en β -2,1, cuyo grado de polimerización (GP: unidades de fructosa), mediado por las enzimas endoinulinasas, es de 2 a 10, lo que le confiere alta solubilidad en agua y propiedades osmóticas dentro de las vacuolas de las células de la planta²⁴. Siendo parte de la composición del agave, se ha demostrado que su concentración en el aguamiel, en los primeros 20 minutos posteriores al raspado, llega a ser de 38 mg/mL para luego diluirse hasta concentraciones no detectables. Por otro lado, se ha demostrado que microorganismos como *Leuconostoc mesenteroides* y *Zymomonas mobilis* producen fructosiltransferasas, enzimas involucradas en la formación de fructanos mediante la polimerización de la inulina²⁵.

Dado que el aguamiel es considerada una fuente rica de FOS tipo inulina, estos han sido aislados para su estudio, reportando que los fructanos ramificados del agave con un bajo GP representan una herramienta importante para prevenir el aumento de peso corporal, la acumulación de grasa, esteatosis hepática e hiperglucemia, ya que promueven la liberación de péptidos²⁶, como el péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1) y péptido YY (PYY), los cuales reducen la liberación de glucagón y ralentizan el vaciado gástrico, aumentando la saciedad y

reduciendo la ingesta de alimentos²⁷, por lo que se reduce la acumulación de grasa y glucosa en sangre y consecuentemente la disminución del peso corporal²⁶. Sumado a lo anterior, la administración de 15 g/día durante 9 semanas de inulina a modelos experimentales de colitis ulcerosa, causó cambios funcionales en la MBI, pero no de composición de familias bacterianas dominantes, pero sí un aumento significativo en la densidad de *Lachnospiraceae* y *Bifidobacteriaceae*, responsables del aumento en la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como butirato y acetato (respectivamente)³, los cuales pueden mejorar la integridad de la barrera intestinal, regular el sistema inmune, la respuesta inflamatoria, presión arterial, entre otros²⁸. También se ha logrado la inhibición de cáncer de colon en modelos experimentales tratados con inulina, debido al aumento de bifidobacterias en la microbiota intestinal (MBI) y de la producción de butirato y propionato, AGCC relacionados con la inhibición del crecimiento de células tumorales e inducción de apoptosis, además una reducción en la producción de factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α). Por otra parte, se reportó el aumento significativo en la densitometría ósea (fémur y vértebra) como resultado del aumento en la biodisponibilidad de calcio en el intestino, aunque aún no está claro el mecanismo⁴. Finalmente, la inulina es clasificada como fibra dietética funcional, ya que atenúa los niveles elevados de glucosa y colesterol séricos y puede ayudar al aumento de la saciedad²⁹, por lo que su consumo regular (8 g/día durante 4 semanas) aumenta significativamente la frecuencia de las deposiciones y enriquece a la MBI³⁰.

Además de los FOS, existe la presencia de saponinas, definidas como glucósidos que contienen una aglicona esterooidal o triterpenoide y una o más cadenas de azúcar (Figura 2B). Su función biológica reside en sus propiedades antiinflamatorias, inmunoestimulantes, hipocolesterolémicas, antimicrobianas

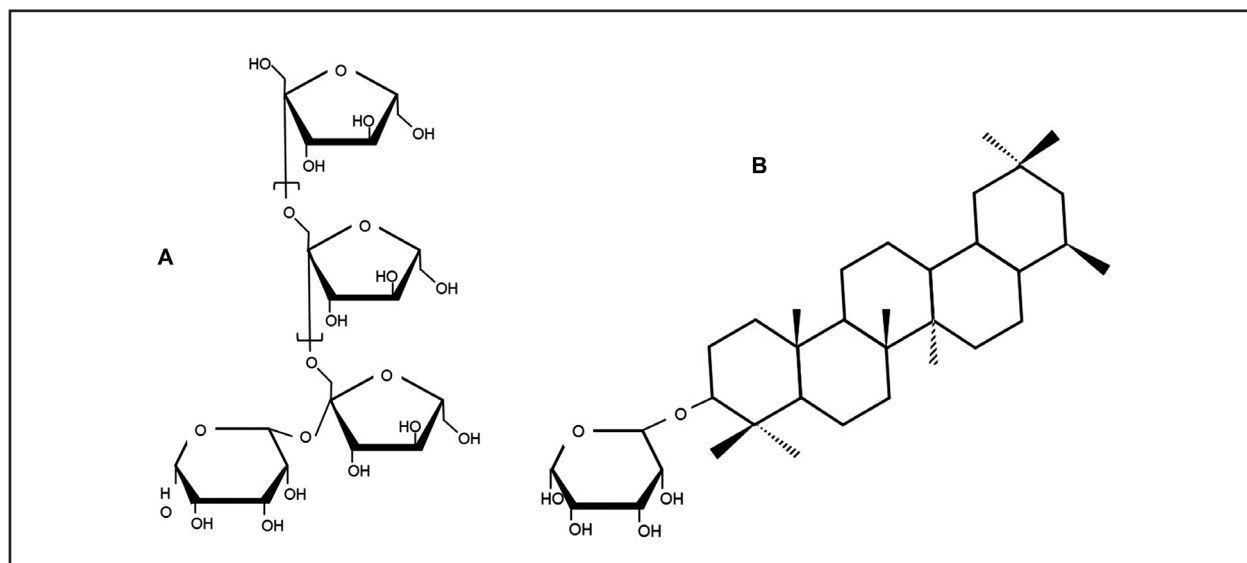


Figura 2: (A) Estructura química de fructooligosacáridos. (B) Estructura química de las saponinas.

y antifúngicas³¹. Se ha encontrado la presencia de algunas saponinas como la kammogenina, manogenina, gentrogenina y hecogenina, cuya concentración tiende a disminuir cerca de un 32% en el aguamiel cuando la planta madura (con quíote)³², ya que cuando la planta entra a la etapa reproductiva evitan un daño a sus polinizadores³³.

Estas saponinas extraídas de aguamiel de *A. salmiana* pueden ser una alternativa para atenuar los cambios metabólicos que acompañan a la obesidad, ya que pueden aumentar el pardeamiento del tejido adiposo blanco, esto fue evaluado en ratones alimentados con una dieta alta en grasa, complementada con 28 g de extracto de saponinas de aguamiel/kg de dieta, durante 10 semanas. Lo cual se explicó, como consecuencia del aumento en la fosforilación de la enzima 5 'proteína quinasa (AMPK), la cual contribuye a la oxidación de ácidos grasos. Por otro lado, las saponinas ayudan al aumento en la densidad de la especie *Akkermansia muciniphila* en la MBI³⁴, la cual se encuentra inversamente asociada con la resistencia a la insulina, metabolismo alterado del tejido adiposo, el inicio de la inflamación y el desarrollo de obesidad^{35,36}.

Pulque

El pulque es una bebida blanca, lechosa, viscosa y ligeramente ácida, con bajo de contenido alcohólico (3,32 a 5,14%)³⁷, en comparación con otras bebidas alcohólicas como el tequila (35-55%)³⁸. Para el proceso de fermentación, el aguamiel, recién recolectado, se transporta al tinacal (lugar de fermentación), en donde se filtra y se vierte en la cuba o recipiente que contiene la semilla o inóculo iniciador (pulque con fermentación de 30 a 60 días)³⁹. El tiempo de fermentación suele durar de 3 a 6 horas o incluso períodos prolongados (de 3 a 12 días) (Figura 3). Sin embargo, depende en gran medida de la calidad del aguamiel, madurez de las semillas, la temporada, la zona productora, entre otros⁴⁰.

En estudios sobre la microbiología del pulque se ha identificado una gran diversidad bacteriana y de levaduras, los cuales son responsables de metabolitos resultantes de la fermentación del aguamiel:

A) Ácido láctico: producido por *Lactobacillus sp.*, *Leuconostoc sp.* y *Leuconostoc mesenteroides subsp. dextranicum*, los cuales a través del proceso de glucólisis llevan a cabo la fermentación ácida⁴⁵.

B) Etanol: producido a partir de la fermentación alcohólica y sintetizado principalmente por *Saccharomyces cerevisiae* y *Leuconostoc sp.* obteniendo la energía a partir de glucosa y sacarosa, mientras que *Z. mobilis* emplea la ruta de Entner Doudoroff⁴¹, también se generan aminoácidos, vitaminas y compuestos volátiles que brindan propiedades sensoriales como el sabor y olor de la bebida⁴².

C) Polisacáridos extracelulares: dentro de los cuales se incluyen dextrinas y fructanos, producidos a partir de sacarosa por glucosil-transferasas de *Leuconostoc sp.*^{43,44}.

Características nutricionales

El pulque es un producto que aporta diferentes nutrientes, entre ellos algunos carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales,

así como microorganismos, cuyo contenido, en gran parte, se debe a la fermentación y su efecto en el organismo sigue investigándose⁴⁵.

Durante la fermentación del aguamiel, el contenido de azúcares disminuye por efecto del metabolismo de microorganismos fermentables, ya que utilizan azúcares como fuente de energía⁴⁶. Caso contrario al pulque enlatado (Tabla 3), ya que dentro de su procesamiento son añadidos azúcares con el objetivo de dar un sabor más agradable al público consumidor. Así mismo el contenido proteico en el pulque desciende cuando el tiempo de fermentación aumenta, por lo que con 48 horas de fermentación del aguamiel se tiene 100 mg/100 mL de proteína y en el pulque llega a tener 0,27 mg/100 mL (Tabla 3), esto debido a que es utilizada como fuente de energía una vez que está en declive los azúcares simples⁴¹ y, aunque es bajo en proteína, es una buena fuente de los aminoácidos cisteína, fenilalanina, tirosina y triptófano (Tabla 3), ya que cubre por encima del 20% de los requerimientos de aminoácidos por kilogramo de peso al día en un adulto, esto en base a

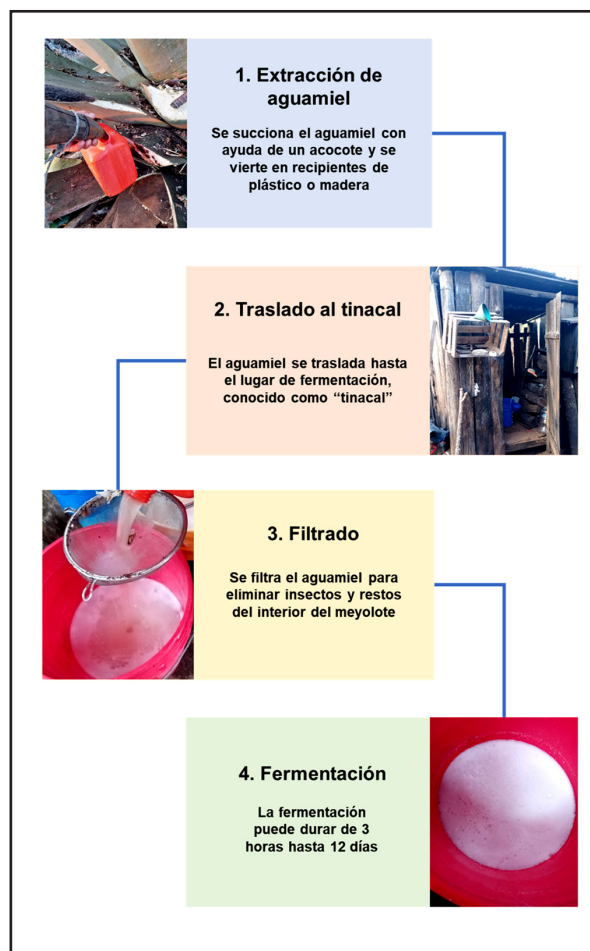


Figura 3: Proceso tradicional de la elaboración de pulque.

los requerimientos dados por OMS/FAO/ONU en 2007⁴⁷. En consecuencia, se refuta el mito de las zonas rurales, por lo que el pulque no se asemeja al contenido proteico de carne³⁹.

Finalmente, con respecto a vitaminas destaca la niacina (Tabla 3) ya que cubre un 26,93% de la IDR, tomando como base los requerimientos establecidos para población mexicana²⁴; y, considerando una alimentación balanceada rica en vitaminas y minerales, no es necesaria la ingesta de grandes cantidades de esta bebida para cubrir estos requerimientos nutricionales, reportándose un consumo de tres veces al día en tres estados de la República Mexicana (Veracruz, Puebla y Tlaxcala⁴⁸.

Beneficios a la salud

Debido a que el consumo de esta bebida se remonta a la época prehispánica, ha sido documentado como remedio para el tratamiento de desórdenes gastrointestinales, infecciones intestinales, mareos, fiebre e inducción de la menstruación, entre otros. Además, ha sido asociado con el estatus de absorción de hierro en mujeres mexicanas no embarazadas⁴⁹ y durante la lactación, un bajo consumo (1 vaso al día) se ha descrito un efecto benéfico, debido a los micronutrientes que contiene. Sin embargo, su consumo durante el embarazo reporta efectos negativos relacionados con el crecimiento y desarrollo de los niños^{49,50}.

Al igual que en el aguamiel, se han aislado bacterias provenientes del pulque cuyos beneficios a la salud se centran en el efecto sobre la MBI: Torres-Maravilla et al.⁵ reportaron que en modelos experimentales con colitis, la cepa *Lactobacillus sanfranciscensis* LBH1068 ayuda a atenuar la pérdida de peso y disminuye la permeabilidad intestinal, además la inflamación fue modulada por las citocinas. Este hallazgo fue el inicio de investigaciones relacionadas a las propiedades de las bacterias aisladas del pulque. Bermúdez y colaboradores (2019), reportan la actividad anticancerígena de la bacteria *Lactobacillus brevis* LBH1073 endémica de Nanacamilpa, Tlaxcala, México, mostrando mejor actividad para bloquear eficaz y específicamente la proliferación de las líneas celulares tumorales HT29, HTC116 y Caco2. Descubrimiento que dio pie a la aprobación de la patente internacional compartida entre el Instituto Politécnico Nacional de México y el Institut National de la Recherche Agronomique de Francia, con el número WO 2019/234076 A1⁵¹.

Por otra parte, *L. mesenteroides* P45 aislada del pulque, reporta actividad probiótica *in vivo* ya que es resistente a lisozimas, pH ácido (3.5) y a la acción de las sales biliares, así como actividad antibacteriana contra patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Salmonella* entérica serovar *Typhi* y *Typhimurium*⁵². También se reporta que las bacterias ácido-lácticas cuentan con actividad antibacteriana sobre *E. coli*, *Staphylococcus aureus* y *Helicobacter pylori* debido a la producción de ácidos orgánicos y toxinas proteicas llamadas bacteriocinas⁵³. Finalmente, Márquez-Morales et al.⁴¹ elaboraron una bebida

fermentada sabor coco mediante el uso de *Lactobacillus plantarum*, *paracasei* y *brevis*, la cual fue administrada a estudiantes de medicina (100 mL/día durante 2 meses), con lo cual obtuvieron una reducción de estrés y un cambio significativo en la composición de la MBI, al aumentar la cantidad de firmicutes en el intestino.

Usos en la industria alimentaria

Uno de los principales usos que se le han dado al agave es como bebida (pulque), pero también se ha utilizado como ingrediente en la elaboración de pan debido a la actividad de microorganismos, como *Lactobacillus* y *Saccharomyces*, los cuales participan en el proceso de fermentación^{54,55,56}.

Pulque envasado

En la actualidad existen varias empresas mexicanas que se dedican a la producción, envasado y comercialización de pulque, tanto a escala nacional como internacional, dentro de estas se encuentra Procesadora de pulque S.A. de C.V. la cual desde 2017 ha tenido un ascenso considerable en las cifras de exportación de productos fermentados (US \$64,000), como pulque enlatado, principalmente a Estados Unidos y Alemania⁵⁷. Dentro de las marcas que abarca esta empresa se encuentra Néctar del Razo®, originaria de Nanacamilpa, Tlaxcala, con una demanda bimestral de exportación de 96 mil latas de pulque natural y de sabor⁵⁸.

Otras empresas dedicadas a la comercialización pulque envasado, a escala nacional y local, es Pulquemanía S.A.P.I. de C.V.⁵⁹, además de esta, se encuentran otras marcas de carácter artesanal, que producen y comercializan el pulque envasado de diferentes sabores, como Poliquhui S.A. de C.V., ®Pulque azteca S.A. de C.V. y Llanos de Apan⁶⁰.

Pan de pulque

El pan de pulque se ha elaborado desde tiempos de la colonia; en México los estados de Tlaxcala y Coahuila son los principales productores, formando parte de la gastronomía local; por lo general tiene dos formas: el “pan de cartucho”, siendo triangular o redondo y el “pan bonete o picón”, por su costra de chocolate y copete amarillo⁶¹.

Aunque este tipo de pan se considera artesanal, se ha investigado la obtención de un producto con bajo índice glucémico (IG), teniendo como referencia a la glucosa (IG de 100)⁶², tratando de que los niveles de glucosa sérica no se eleven al grado de causar un efecto fisiológico adverso⁶³. En estudios realizados con la utilización de *xaxtle* (sedimento del pulque), como inóculo iniciador en comparación con levadura, reportaron la obtención de pan con buenos atributos sensoriales como un color marrón, aunque en el aspecto reológico reportaron una mayor textura, observando cambios en la microestructura de la miga, por la acción proteolítica de las bacterias ácido lácticas y la producción de ácidos, lo que debilitó la formación de gluten, dando lugar a un pan con una menor densidad alveolar, en comparación con el pan con *S. cerevisiae* (IG 56,2)^{54,55}.

Jarabe de agave

El jarabe de agave es un subproducto del aguamiel resultado de la hidrólisis de los fructanos provenientes del agave, por medio de tratamiento térmico, donde se elimina una gran cantidad de agua, llegando a tener entre 20 y 28% de humedad y 5% de fructanos⁶⁴. En promedio su vida de útil es de un año y medio, cabe destacar que después de algunos meses se cristaliza⁷. Investigaciones recientes se han enfocado en la caracterización fisicoquímica, nutricional y de compuestos bioactivos de este producto^{65,66}.

Características nutricionales

El jarabe de agave es un producto rico en azúcares, siendo alto en fructosa (87%), bajo en glucosa (10%) y con aparente ausencia de sacarosa (3%)^{65,67}, esto debido a la hidrólisis de los fructanos inducida por el calor durante el procesamiento del aguamiel. Además, el contenido proteico es superior al de aguamiel (Tabla 1), llegando a valores de 3,85 g/100g⁶⁵.

Con relación al contenido de vitaminas, solo se ha reportado la vitamina C en jarabes de *A. salmiana* en tratamiento con liofilización y a presión baja (197,05 y 171,55 mg/100g respectivamente). Mientras que en el tratamiento tradicional no es detectable el ácido ascórbico, debido a la degradación a altas temperaturas (90-93 °C)⁶⁵. Con respecto al contenido de minerales, se han reportado cantidades apreciables de hierro, potasio, magnesio, calcio y sodio⁶⁵, siendo los dos primeros los más significativos (1,44 y 165,15 mg/15 g), llegando a cubrir el 18 y 4,7% de la IDR de este mineral en adultos, de acuerdo con los requerimientos para población mexicana²⁴.

Beneficios a la salud

El jarabe de agave ha sido estudiado en los últimos años por su poder hipoglucemiante, ya que el contenido de fructosa tiene relevancia en el control glucémico debido a su relativamente bajo IG de 16. El efecto se debe a la capacidad de fructosa-1-P para regular la actividad de la glucoquinasa a través de la proteína reguladora de la glucoquinasa (GKRP), mejorando así los niveles de glucosa sérica⁶⁸, cuando se consumen pequeñas dosis de fructosa (≤ 36 g/día basadas en tres comidas a ≤ 10 g/comida y dos colaciones a ≤ 3 g/colación), esto de acuerdo con el metaanálisis de ensayos de alimentación controlada, realizado por Sievenpiper et al.⁶⁹. De esta forma, se ha demostrado una reducción del 30% en la producción de glucosa hepática en condiciones hiperglucémicas en personas con diabetes tipo 2⁷⁰ y un aumento de 3 veces en la síntesis de glucógeno en condiciones en personas sin diabetes⁷¹.

De igual forma el jarabe de agave, así como otros jarabes naturales tienen la capacidad de reducir los niveles de IL-1 β hepática en comparación con la sacarosa, ya que atenúan el desarrollo de resistencia a la insulina y la inflamación hepática; por ello se sugiere que el consumo de edulcorantes naturales es una alternativa menos dañina en un contexto de obesidad⁶. También se descubrió que el

jarabe de arce y de agave producen respuestas máximas y globales significativamente más bajas de glucosa, insulina, amilina y polipéptido inhibidor gástrico en los primeros 15 minutos (6-8 mmol/L, 0-2 ng/mL, 60-80 pg/mL y 50-100 pg/mL respectivamente) en comparación con jarabe de maíz (10-12 mmol/L, 2-4 ng/mL, 100-120 pg/mL y 250-300 pg/mL respectivamente)⁶⁷. Además, en modelos experimentales alimentados con jarabe de agave no se indujo el aumento de peso, peso de la almohadilla grasa, así como glucosa plasmática e insulina, todo ello en comparación con los alimentados con sacarosa⁷².

Compuestos bioactivos

El jarabe de agave es un producto rico en azúcares y sustancias bioactivas. Por lo que se reportan fructooligosacáridos, con GP menor a 5, como 1-Kestosa (K), 6-Kestosa (6K), Inulotriosa (F3), Neokestosa (NK) y Nistosa (N)⁷³. Además, los jarabes de agave cuentan con mayor actividad antioxidante en comparación con otros como jarabe de maíz y jarabe de caña de azúcar, debido a la presencia de sustancias como saponinas, terpenoides, flavonoides y quinonas, las cuales en general tienen actividad antioxidante⁶⁶. Sumado a eso, en los jarabes también se encuentran compuestos fenólicos, llegando a tener hasta 18,55 mg equivalentes de ácido gálico/100 mL⁸². La importancia de estos en la salud se ve relacionada con su capacidad antioxidante, antimicrobiana, anticancerígena, antiinflamatoria, entre otras⁷⁴.

Finalmente, se ha encontrado en jarabe de *A. salmiana*, en pequeñas cantidades, ácido abscísico (3 ng/mL). Cuya función más importante en los agaves es regular la respuesta a la deshidratación y se ve involucrado en procesos como el crecimiento, desarrollo, latencia y germinación de las semillas y respuestas al estrés⁷⁵. En humanos, a nivel metabólico, se ha propuesto como una molécula antidiabética, ya que comparte similitudes estructurales con tiazolidinedionas (fármacos antidiabéticos), por lo que pueden estimular la absorción de glucosa en tejidos periféricos, disminuyendo la concentración sérica⁷⁶.

Usos del jarabe de agave en la industria alimentaria

El jarabe de agave ha sido utilizado principalmente como un sustituto de azúcar por su bajo IG y poder edulcorante, dado que es 1,5 veces más dulce que el azúcar refinada (3/4 de taza de jarabe equivale a una taza de azúcar refinada)⁷⁷. El jarabe de agave presenta mayor poder edulcorante que otros endulzantes como miel, jarabe de caña y de maíz⁷⁸. Esto ha sido aprovechado para la elaboración de productos como galletas, pan tostado y barritas de granola: en muffins elaborados con 100% de sustitución de sacarosa por jarabe de agave parcialmente hidrolizado cuentan con mejor textura, sabor, olor y aceptabilidad⁷⁹. En una mermelada de manzana con chayote endulzada con Stevia y jarabe de agave presenta mayor agrado para el consumidor en comparación con la endulzada con azúcar⁸⁰ y las galletas elaboradas con jarabe de agave presentan un color más acentuado, debido

a reacciones de Maillard, por la interacción de la fructosa con los grupos amino de los aminoácidos, obteniendo la formación de melanoidinas (polímeros pardos que provocan cambios visibles de color)⁸¹.

CONCLUSIONES

Este artículo de revisión concluye que el consumo, de manera vigilada, de los subproductos de *Agave salmiana* presentados trae consigo múltiples beneficios a la salud, principalmente fortaleciendo a la microbiota intestinal, por lo que pueden ser incluidos dentro de la dieta habitual de una persona sana, además, pueden ser utilizados como parte del tratamiento nutricional en patologías como diabetes tipo 2, intolerancia a la insulina, colitis ulcerosa y cáncer de colon, en cantidades moderadas y bajo la vigilancia de un profesional de la salud. Por otra parte, su aplicación en la industria alimentaria mejora algunas características reológicas y atributos sensoriales, buscando siempre un beneficio en el consumidor. Sin embargo, aún existe la necesidad de generar más información sobre el tema a través de la investigación científica.

Reconocimiento. A la estudiante de servicio social, Leticia Huezcas Garrido, de la Licenciatura en Nutrición con el cual obtuvo su grado en el Instituto de Ciencias de la Salud, UAEH.

Financiamiento. Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiamiento de los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

REFERENCIAS

- García-Mendoza AJ. Agavaceae. Flora of the Valley of Tehuacán Cuicatlán. México D.F. Instituto de Biología, UNAM, 2011, pp. 52-57.
- Esparza-Ibarra EL, Violante-González J, Monks S, Cadena J, Araujo-Andrade C, Rössel-Kipping ED. The mezcal agaves of the Potosino and Zacatecano highlands. *Estud Biodivers*. 2015; 20: 227-245.
- Valcheva R, Koleva P, Martínez I, Walter J, Gänzle MG, Dieleman LA. Inulin-type fructans improve active ulcerative colitis associated with microbiota changes and increased short-chain fatty acids levels. *Gut Microbes*. 2019; 10: 334-357.
- Rivera-Huerta M, Lizárraga-Grimes VL, Castro-Torres IG, Tinoco-Méndez M, Macías-Rosales L, Sánchez-Bartéz F, et al. Functional effects of prebiotic fructans in colon cancer and calcium metabolism in animal models. *Biomed Res Int*. 2017; 2017: 1-10.
- Torres-Maravilla E, Lenoir M, Mayorga-Reyes L, Allain T, Sokol H, Langella P, et al. Identification of novel anti-inflammatory probiotic strains isolated from pulque. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2016; 100: 385-396.
- Valle M, St-Pierre P, Pilon G, Marette A. Differential effects of chronic ingestion of refined sugars versus natural sweeteners on insulin resistance and hepatic steatosis in a rat model of diet-induced obesity. *Nutrients*. 2020; 12: 2292.
- Narváez AU, Martínez T, Jiménez-Velázquez M. The cultivation of maguey pulquero: An option for the development of rural communities in the Mexican Central Plateau. *Rev Geogr Agrícola*. 2016; 56: 33-44.
- SIAP. Agricultural Production Statistics. 2020. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- García-Mendoza AJ. The agaves of Mexico. *Ciencias*. 2007; 87: 14-23.
- Vargas J, Nieto R, Nieto JC. Morphological characterization of three varieties (manso, chalqueño and xamini) of maguey from the municipality of San Francisco I. Madero, Hidalgo. Nieto Aquino R et al. ed. *El cultivo de maguey pulquero (Agave salmiana) en el Valle del Mezquital*. Hidalgo, México. México D.F. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, 2016, pp. 45-53.
- Aguilar-Juárez B, Enríquez-del Valle JR, Rodríguez-Ortiz G, Granados-Sánchez D, Martínez-Cerecero B. The current state of Agave salmiana and A. mapisaga in the Valley of Mexico. *Rev Mex Agroecosistemas*. 2014; 2: 106-120.
- Geydan TD, Melgarejo LM. Crassulacean acid metabolism. *Acta Biol Colomb*. 2005; 10: 3-15.
- Enríquez-Salazar MI, Veana F, Aguilar C, De la Garza-Rodríguez I, López M, Rutiaga-Quinones O, et al. Microbial diversity and biochemical profile of aguamiel collected from Agave salmiana and A. atrovirens during different seasons of year. *Food Sci Biotechnol*. 2017; 26: 1003-1011.
- Gonzalez-Cruz L, Jaramillo-Flores, ME Bernardino-Nicanor A, Mora-Escobedo R. Influence of the harvest age on fructan content and fructosyltransferase activity in Agave atrovirens karw pine. *Int J Plant Physiol Biochem*. 2012; 45: 110-119.
- Pérez B, Palacios B, Castro L, Flores I. Mexican System of Equivalent Food. Fomento de Nutrición y Salud, A. C. México, D.F., 2014.
- Bourgues H, Casanueva E, Rosado J. Recommendations of ingestion of nutrients for the Mexican population. Bases fisiológicas I. Editorial Médica Panamericana, México, D.F., 2005.
- Tardy AL, Pouteau E, Marquez D, Yilmaz C, Scholey A. Vitamins and minerals for energy, fatigue and cognition: A narrative review of the biochemical and clinical evidence. *Nutrients*. 2020; 12: 228.
- Bröer S, Bröer A. Amino acid homeostasis and signalling in mammalian cells and organisms. *Biochem J*. 2017; 474: 1935-1963.
- Castro-Rodríguez D, Hernández-Sánchez H, Yáñez J. Probiotic properties of Leuconostoc mesenteroides isolated from aguamiel of Agave salmiana. *Probiotics Antimicrob Proteins*. 2015; 7: 107-117.
- Castro-Zavala A, Juárez-Flores BI, Pinos-Rodríguez JM, Delgado-Portales RE, Aguirre-Rivera JR, Alcocer-Gouyonnet F. Prebiotic effects of Agave salmiana fructans in Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium lactis cultures. *Nat Prod Commun*. 2015; 10: 1985-1988.
- Azmir J, Zaidul I, Rahman M, Sharif K, Mohamed A, Sahena F, et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *J Food Eng*. 2013; 117: 426-436.
- Guzmán-Pedraza R, Contreras-Esquivel JC. Aguamiel and its fermentation: Science beyond tradition. *Mex J Biotechnol*. 2018; 3: 1-22.
- Sosa-Herrera MG, Delgado-Reyes AV. Functional properties and technological applications of fructans. Ramírez Ortiz ML. Ed. *Alimentos funcionales de hoy*. Barcelona, OmniaScience, 2016, pp. 100.

24. Boeckner L, Schnepf MI, Tungland BC. Inulin: a review of nutritional and health implications. *Adv Food Nutr Res.* 2001; 43: 1-63.
25. Peralta-García I, González-Muñoz F, Rodríguez-Alegría ME, Sánchez-Flores A, López-Munguía A. Evolution of fructans in aguamiel (Agave Sap) during the plant production lifetime. *Front Nutr.* 2020; 7: 566950.
26. Márquez-Aguirre AL, Camacho-Ruiz RM, Gutiérrez-Mercado YK, Padilla-Camberos E, González-Ávila M, Gálvez-Gastélum FJ, et al. Fructans from Agave tequilana with a lower degree of polymerization prevent weight gain, hyperglycemia and liver steatosis in high-fat diet-induced obese mice. *Plant Foods Hum Nutr.* 2016; 71: 416-421.
27. Santiago-García PA, López Pérez MG. Agavins from Agave angustifolia and Agave potatorum affect food intake, body weight gain and satiety-related hormones (GLP-1 and ghrelin) in mice. *Food Funct.* 2014; 5: 3311-3319.
28. Nogal A, Valdes AM, Menni C. The role of short-chain fatty acids in the interplay between gut microbiota and diet in cardio-metabolic health. *Gut Microbes.* 2021; 13: 1897212.
29. Livesey G. Carbohydrate digestion, absorption, and fiber. Reference module in biomedical sciences. Elsevier, 2014, pp. 1-13.
30. Azpiroz F, Molne L, Mendez S, Nieto A, Manichanh C, Mego M, et al. Effect of chicory-derived inulin on abdominal sensations and bowel motor function. *J Clin Gastroenterol.* 2017; 51: 619-625.
31. Marrelli M, Conforti F, Araniti F, Statti G. Effects of saponins on lipid metabolism: A review of potential health benefits in the treatment of obesity. *Molecules.* 2016; 2: 1404.
32. Leal-Díaz AM, Santos-Zea L, Martínez-Escobedo HC, Guajardo-Flores D, Gutiérrez-Urbe JA, Serna-Saldivar SO. Effect of Agave americana and Agave salmiana ripeness on saponin content from aguamiel (Agave Sap). *J Agric Food Chem.* 2015; 63: 3924-3930.
33. Molina-Freaner F, Eguarte LE. The pollination biology of two paniculate agaves (Agavaceae) from northwestern Mexico: contrasting roles of bats as pollinators. *Am J Bot.* 2003; 90: 1016-1024.
34. Leal-Díaz AM, Noriega L, Torre-Villalvazo I, Torres N, Alemán-Escondrillas G, López-Romero P, et al. Aguamiel concentrate from Agave salmiana and its extracted saponins attenuated obesity and hepatic steatosis and increased Akkermansia muciniphila in C57BL6 mice. *Sci Rep.* 2016; 6: 342.
35. Anhê FF, Roy D, Pilon G, Dudonné S, Matamoros S, Varin TV, et al. A polyphenol-rich cranberry extract protects from diet-induced obesity, insulin resistance and intestinal inflammation in association with increased Akkermansia spp. population in the gut microbiota of mice. *Gut.* 2015; 64: 872-883.
36. Schneeberger M, Everard A, Gómez-Valadés AG, Matamoros S, Ramírez S, Delzenne NM, et al. Akkermansia muciniphila inversely correlates with the onset of inflammation, altered adipose tissue metabolism and metabolic disorders during obesity in mice. *Sci Rep* 2015; 5: 16643.
37. Alcántara-Zavala A, Figueroa-Cárdenas JD, Pérez-Robles J, Aránmula-Villa G, Miranda-Castilleja D. Thermosonication as an alternative method for processing, extending the shelf life, and conserving the quality of pulque: A non-dairy Mexican fermented beverage. *Ultrason Sonochem.* 2021; 70: 1-36.
38. Diario Oficial de la Federación. NOM-006-SCFI-2012, Alcoholic beverages – Tequila – Specifications. 2012. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5282165&fecha=13/12/2012
39. Escalante A, López Soto D, Velázquez Gutiérrez J, Giles-Gómez M, Bolívar F, López-Munguía A. Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects. *Front Microbiol.* 2016; 7: 2026.
40. Parsons J, Darlin A. Maguey (Agave spp.) utilization in Mesoamerican civilization: A case for Precolumbian "pastoralism." *Bol Soc Bot México.* 2000; 66: 81-91.
41. Cervantes-Contreras M, Pedroza-Rodríguez M. Caracterización microbiológica del pulque y cuantificación de su contenido de etanol mediante espectroscopia Raman. *Superf Vacío.* 2008; 20: 1-5.
42. Lappe-Oliveras P, Moreno-Terrazas R, Arrizón-Gaviño J, Herrera-Suárez T, García-Mendoza A, Gschaedler-Mathis A. Yeasts associated with the production of Mexican alcoholic nondistilled and distilled Agave beverages. *FEMS Yeast Res.* 2008; 8: 1037-1052.
43. Escalante A, Giles-Gómez M, Hernández G, Córdova-Aguilar MS, Lopez-Munguía A, Gosset G, et al. Analysis of bacterial community during the fermentation of pulque, a traditional Mexican alcoholic beverage, using a polyphasic approach. *Int J Food Microbiol.* 2008; 24: 126-134.
44. Escalante A, Giles-Gómez M, Esquivel C, Matus V, Moreno-Terrazas R, López-Munguía A, et al. Pulque fermentation. Hui YH. ed. Pulque fermentation, in handbook of plant-Based fermented food and beverage technology. United States of America, CRC PRESS, Taylor & Francis Group, 2012, pp. 691-706.
45. Márquez-Morales L, El-Kassis EG, Cavazos-Arroyo J, Rocha-Rocha V, Martínez-Gutiérrez F, Pérez-Armendáriz B. Effect of the intake of a traditional Mexican beverage fermented with lactic acid bacteria on academic stress in medical students. *Nutrients.* 2021; 13: 1551.
46. Álvarez-Ríos G, Figueredo-Urbina CJ, Casas A. Physical, chemical, and microbiological characteristics of pulque: Management of a fermented beverage in Michoacán, Mexico. *Foods.* 2020; 9: 361.
47. WHO/FAO/ONU, Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization and United Nations University. Protein and amino acid requirements in human nutrition. Report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation. WHO Technical Report Series, No 935. 2007.
48. Godoy A, Herrera T, Ulloa M. Beyond pulque and tepache. Non-distilled alcoholic beverages indigenous to Mexico. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 2003.
49. Backstrand JR, Allen LH, Black AK, de Mata M, Pelto GH. Diet and iron status of nonpregnant women in rural Central Mexico. *Am J Clin Nutr.* 2002; 76: 156-164.
50. Robledo-Márquez K, Ramírez V, González-Córdova AF, Ramírez-Rodríguez Y, García-Ortega L, Trujillo J. Research opportunities: Traditional fermented beverages in Mexico. Cultural, microbiological, chemical, and functional aspects. *Food Res Int.* 2021; 147: 110482.
51. Bermúdez Humaran L, Torres-Maravilla E, Langella P, Sánchez-Pardo ME. WO2019234076A1. New probiotic strain of Lactobacillus brevis. 2019: US CA WO EP.
52. Giles-Gómez M, Sandoval García JG, Matus V, Campos Quintana I, Bolívar F, Escalante A. In vitro and in vivo probiotic assessment of Leuconostoc mesenteroides P45 isolated from pulque, a Mexican traditional alcoholic beverage. *Springerplus.* 2016; 5: 701.
53. Cervantes-Elizarrarás A, Cruz-Cansino NS, Ramírez-Moreno E, Vega-Sánchez V, Velázquez-Guadarrama N, Zafra-Rojas

- QY, et al. In vitro probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from aguamiel and pulque and antibacterial activity against pathogens. *Appl Sci*. 2019; 9: 601.
54. Torres-Maravilla E, Blancas-Nápoles JA, Vázquez-Landaverde P A, Mayorga-Reyes L, Sánchez-Pardo M E. Evaluation of pulque sediment (xaxtle) as a starter culture in order to obtain a low glycemic index baked product. *Agrociencia*. 2016; 5: 183-200.
 55. Sánchez-Pardo ME, Blancas-Nápoles JA, Vázquez-Landaverde PA, Nari A. The use of Mexican xaxtle as leavening agent in Italian straight dough bread making to produce pulque bread. *Agrochimica*. 2016; 60: 329-342.
 56. Kuligowski M, López Otero R, Polanowska K, Montet D, Jasirńska-Kuligowska I, Nowak J. Influence of fermentation by different microflora consortia on pulque and pulque bread properties. *J Sci Food Agric*. 2019; 99: 6307-6314.
 57. Veritrade. Foreign trade, imports and exports of Procesadora de pulque S.A. DE C.V. 2020. <https://www.veritrade.com/es/mexico/importaciones-y-exportaciones-procesadora-de-pulque-sa-de-cv/rfc-u100406r77>
 58. Morales M. Increased export of canned pulque to Europe and the US. *El Sol de Tlaxcala*. 2018. <https://www.elsoldetlaxcala.com.mx/local/municipios/aumenta-exportacion-de-pulque-enlatado-a-europa-y-ee-uu-1759533.html>
 59. S.A.T. 11, 123 Active Records in the Sectorial Exporters Registry with a cut-off date of July 31, 2020. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. 2020. p. 35. http://omawww.sat.gob.mx/aduanasPortal/Paginas/Documents/tramites_autorizaciones/guia_padrones/Pad_Exp_Sec.pdf
 60. Velázquez F. Canned and bottled pulque: everything you need to know. *EL UNIVERSAL*. 2020. <https://www.eluniversal.com.mx/menu/pulque-enlatado-y-embotellado-todo-lo-que-debes-de-saber>
 61. Delfín M. History of cooking and gastronomy. 2014. <https://www.historiacocina.com/es/pan-de-pulque>.
 62. Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC. International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care*. 2008; 31: 2281-2283.
 63. Zhu H, Mo Q, Shen H, Wang S, Liu B, Xu X. Carbohydrates, glycemic index, and glycemic load in relation to bladder cancer risk. *Front Oncol*. 2020; 10: 1-10.
 64. Diario Oficial de la Federación. NOM-003-SAGARPA-2016, Relativa a las características de sanidad, calidad agroalimentaria, autenticidad, etiquetado y evaluación de la conformidad del jarabe de agave. 2016. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mex160279.pdf>
 65. Hernández-Ramos L, García-Mateos R, Ybarra-Moncada MC, Colinas-León MT. Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (*Agave salmiana* and *A. mapisaga*) obtained through three treatments. *Not Bot Horti Agrobot Cluj Napoca*. 2020; 48: 1306-1316.
 66. Velázquez IO, González-García G, Mellado-Mojica E, Veloz García RA, Dzul Cauch J C, López MC, et al. Phytochemical profiles and classification of Agave syrups using ¹H-NMR and chemometrics. *Food Sci Nutr*. 2019; 7: 3-13.
 67. Pierre P, Pilon G, Dumais V, Dion C, Dubois M-J, Dubé P, et al. Comparative analysis of maple syrup to other natural sweeteners and evaluation of their metabolic responses in healthy rats. *J Funct Foods*. 2014; 11: 460-471.
 68. Noronha J, Braunstein C, Blanco Mejia S, Khan T, Kendall C, Wolever T, et al. The effect of small doses of fructose and its epimers on glycemic control: A systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials. *Nutrients*. 2018; 10: 1805.
 69. Sievenpiper JL, Chiavaroli L, de Souza R J, Mirrahimi A, Cozma AI, Ha V, et al. 'Catalytic' doses of fructose may benefit glycaemic control without harming cardiometabolic risk factors: A small meta-analysis of randomised controlled feeding trials. *Br J Nutr*. 2012; 108: 418-423.
 70. Hawkins M, Gabriely I, Wozniak R, Vilcu C, Shamoon H, Rossetti L. Fructose improves the ability of hyperglycemia per se to regulate glucose production in type 2 diabetes. *Diabetes*. 2002; 51: 606-614.
 71. Petersen KF, Laurent D, Yu C, Cline GW, Shulman GI. Stimulating effects of low-dose fructose on insulin-stimulated hepatic glycogen synthesis in humans. *Diabetes*. 2001; 50: 1263-1268.
 72. Hooshmand S, Holloway B, Nemoseck T, Cole S, Petrisko Y, Hong MY, et al. Effects of agave nectar versus sucrose on weight gain, adiposity, blood glucose, insulin, and lipid responses in mice. *J Med Food*. 2014; 17: 1017-1021.
 73. Mellado-Mojica E, López Pérez MG. Identification, classification, and discrimination of agave syrups from natural sweeteners by infrared spectroscopy and HPAEC-PAD. *Food Chem*. 2015; 167: 349-357.
 74. Martín Gordo DA. Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Rev Investig Agrar Ambient*. 2018; 9: 81-104.
 75. Nambara E. Absciscic Acid. En: *Encyclopedia of applied plant sciences*. Elsevier; 2017. pp. 361-366.
 76. Guri AJ, Hontecillas R, Si H, Liu D, Bassaganya-Riera J. Dietary abscisic acid ameliorates glucose tolerance and obesity-related inflammation in db/db mice fed high-fat diets. *Clin Nutr*. 2007; 26: 107-116.
 77. Marcus JB. Carbohydrate basics: sugars, starches and fibers in foods and health. En: *Culinary Nutrition*. Elsevier; 2013. pp. 149-187.
 78. Mellado Mojica E, López Pérez MG. Comparative analysis between blue agave syrup (*Agave tequilana* Weber var. azul) and other natural syrups. *Agrociencia*. 2013; 47: 233-244.
 79. Ozuna C, Trueba-Vázquez E, Moraga G, Llorca E, Hernando I. Agave syrup as an alternative to sucrose in muffins: impacts on rheological, microstructural, physical, and sensorial properties. *Foods*. 2020; 9: 895.
 80. Frizzi F, Herrera JA, Alatríste I, Servín R. Physicochemical characterization and degree of liking of an artisan jam from apple (*Malus pumila* cv. Golden Delicious) and chayote (*Sechium edule*). *AGROProductividad*. 2019; 12: 19-26.
 81. Cruz Guevara D, Franco Robles E, Ozuna C. Effect of incorporating different sweeteners on the physical and functional properties of a bakery product. *Jovenes Cienc*. 2018; 4: 49-54.
 82. Espíndola-Sotres V, Trejo-Márquez MA, Lira-Vargas A, Pascual-Bustamante S. Characterization of hydromel and agave syrup from the State of Mexico, Hidalgo and Tlaxcala. *Investig Desarro Cienc Tecnol Aliment*. 2018; 3: 522-528.
 83. Diario Oficial de la Federación. NMX-V-022-1972. Hydromel. 1972. <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-v-022-1972.pdf>
 84. Romero-López M R, Osorio-Díaz P, Flores-Morales A, Mora-Escobedo R. Chemical composition, antioxidant capacity and prebiotic effect of aguamiel (*Agave atrovirens*) during in vitro fermentation. *Rev Mex Ing Quim*. 2015; 14: 281-292.
 85. Silos-Espino G, González-Cortés N, Carrillo-López A, Guevaralara F, Paredes-López EM, Valverde-González O. Chemical composition and in vitro propagation of *Agave salmiana* 'Gentry'. *J Hort Sci Biotechnol*. 2011; 82: 355-359.
 86. Diario Oficial de la Federación. NMX-V-037-1972. Pulque handled in bulk. 1972. <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-v-037-1972.pdf>

87. León de la O DI, Méndez-Colín DS, Rodríguez-Padilla DP, Puente-Hurle L, García-Sorrondegui FI, Salgado-Brito R. *Bromatological analysis and isolation of microorganisms with probiotic potential from pulque*. *Rev Invest Univ Simon Bolívar* 2012; 11: 115-122.
88. Del Razo. *Nutritional value of pulque*. 2004. <http://www.corpmasir.com/index.php>
89. Morales de León J, Bourgues Rodríguez H, Camacho Parra ME. *Tables of composition of foods and food products*. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, Ciudad de México, 2016. pp. 556.
90. Morales de León J, Camacho ME, Bourges H. *Amino acid composition of some mexican foods*. *Arch Latinoam Nutr*. 2005; 55: 172-186.