



Aguamiel and its fermentation: Science beyond tradition

Aguamiel y su fermentación: Ciencia más allá de la tradición

Rodrigo Guzmán-Pedraza*, Juan Carlos Contreras-Esquivel*

Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, 25280, Saltillo, Coahuila, México.

*Corresponding author.

E-mail address: rodrigo_guzman@uadec.edu.mx (R. Guzmán-Pedraza).

carlos.contreras@uadec.edu.mx (J. C. Contreras-Esquivel).

Article history:

Received: 26 July 2017 / Received in revised form: 5 September 2017 / Accepted: 16 October 2017 / Published online: 1 January 2018.

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.1.1>

ABSTRACT

Aguamiel, a sap extracted from various species of agave (*Agave* spp.), is a topic of great interest since it may exert prebiotic-type effects due to its carbohydrate content. This sap contains bioactive compounds such as saponins, vitamins, amino acids and fatty acids, making it a possible functional food. Aguamiel composition allows the growth of microorganisms that convert it into a non-distilled alcoholic beverage called pulque, which is used only in the production of bread and drinks in some regions of Mexico. This review shows that aguamiel and pulque can be used in the food and biotechnology industry, both for the isolation of microorganisms and for the production of high added value metabolites. The objective of this review is to present the most outstanding advances in the use of this sap and its fermentation. In addition to raising awareness about the need to generate more information through scientific research and the potential of both (aguamiel and pulque) in various branches of health and biotechnology.

Keywords: Aguamiel, agave, dextran, fructan.

RESUMEN

El aguamiel, una savia extraída de diversas especies de agave (*Agave* spp.), es un tópico de gran interés debido que se le atribuyen propiedades interesantes como la actividad prebiótica debido los carbohidratos que lo constituyen. El aguamiel contiene compuestos bioactivos como saponinas, vitaminas, aminoácidos y ácidos grasos, que lo hacen un

posible alimento funcional. Su composición permite el crecimiento de microorganismos que la convierten en una bebida alcohólica no destilada llamada pulque, que se aprovecha únicamente en la elaboración de pan y bebidas en algunas regiones de México. Las investigaciones recabadas en este documento constatan que el aguamiel y el pulque pueden aprovecharse en la industria alimenticia y biotecnológica tanto para el aislamiento de microorganismos como para la obtención de metabolitos de alto valor agregado. El objetivo de esta revisión es presentar los avances más sobresalientes en el aprovechamiento de esta savia y su fermentado. Además de concientizar sobre la necesidad de generar más información a través de la investigación científica y su potencial en las diversas ramas de la salud y la biotecnología.

Palabras clave: Aguamiel, Agave, dextrano, fructano.

1. INTRODUCCIÓN

De entre toda la variedad de plantas que habitan en el continente americano, el maguey o agave (*Agave* spp.) es una de las más aprovechadas por los humanos desde tiempos precolombinos debido a que posee cualidades morfológicas y fisiológicas únicas que le confiere una gran adaptabilidad. Esta planta habita tanto regiones con climas secos y húmedos como suelos pobres de nutrientes y a altitudes mayores a los 2000 msnm, estas localidades se pueden encontrar en toda Norteamérica, región donde se concentra la mayoría de las especies de agave. Este tipo de ambientes se encuentran son especialmente abundantes en la altiplanicie de México, país donde desde tiempos prehispánicos hasta hace menos de un siglo, el agave era utilizado como fuente de una de las bebidas más consumidas: el pulque. Esta bebida que se obtiene de la fermentación espontánea del aguamiel a través de un consorcio microbiano requiere de un extenso proceso que va desde el corte o capado de las hojas del agave, la elaboración de la cavidad o cajete y recolección del líquido secretado llamado aguamiel, misma que se deja fermentar en contenedores para posteriormente venderse. Debido a que actualmente ha disminuido el consumo de pulque fresco se ha reducido considerablemente, se han optado por alternativas como la elaboración del pan de pulque, la obtención de microorganismos del sedimento del pulque o, el aprovechamiento del aguamiel como sustrato en procesos biotecnológicos por su alto contenido nutricional con la finalidad de obtener enzimas y metabolitos de interés industrial también, se considera a esta savia como una posible bebida funcional debido a sus efectos benéficos al organismo. Por todo esto, el objetivo de este artículo de revisión es presentar la información más recientes que se tiene sobre el aguamiel y su fermentado, así como sensibilizar al lector sobre la necesidad de generar más información a través de la investigación científica acerca de esta savia y su potencial en las diversas ramas de la salud y la biotecnología.

1.1. *Agave* spp.

La planta de agave es conocida en Latinoamérica, principalmente en México como “*maguey*”. Esta planta puede ser hallada en todo el territorio mexicano, en donde se alberga más del 75% de las especies de este género, no obstante, esta planta se distribuye ampliamente en todo el continente americano (García-Herrera *et al.*, 2010; Gentry, 1982).

El agave por su clasificación taxonómica, se separa en dos géneros *Littaea* y *Agave* que cuentan con 54 y 82 especies respectivamente. Al subgénero *Agave* lo integran 12 secciones, 82 especies, 21 subespecies y 23 variedades, dando un total de 197 taxones, sin embargo, las especies donde se puede extraer el aguamiel para su aprovechamiento son contadas (Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013).

El agave (Figura 1) está clasificado como una planta monocárpica, debido a que florece solamente una vez en su vida. Pasado este proceso de floración la planta muere. Las hojas, denominadas regionalmente como “*pencas*” están distribuidas de manera circular alrededor del tronco o piña dando una forma tipo roseta. Las pencas son de color verde o amarillo; de cuerpo grueso y carnoso y terminan con una punta afilada o espina apical.

Debido a su estructura e interacción con el medio, esta planta puede adaptarse fácilmente a las condiciones ambientales con suelos pobres en nutrientes como regiones montañosas o rocosas que superen los 2500 msnm o planicies y zonas cercanas al nivel del mar (García-Herrera *et al.*, 2010). El tipo de clima donde esta planta se desarrolla de manera favorable es en zonas donde escasea el agua, principalmente en zonas áridas o semiáridas.

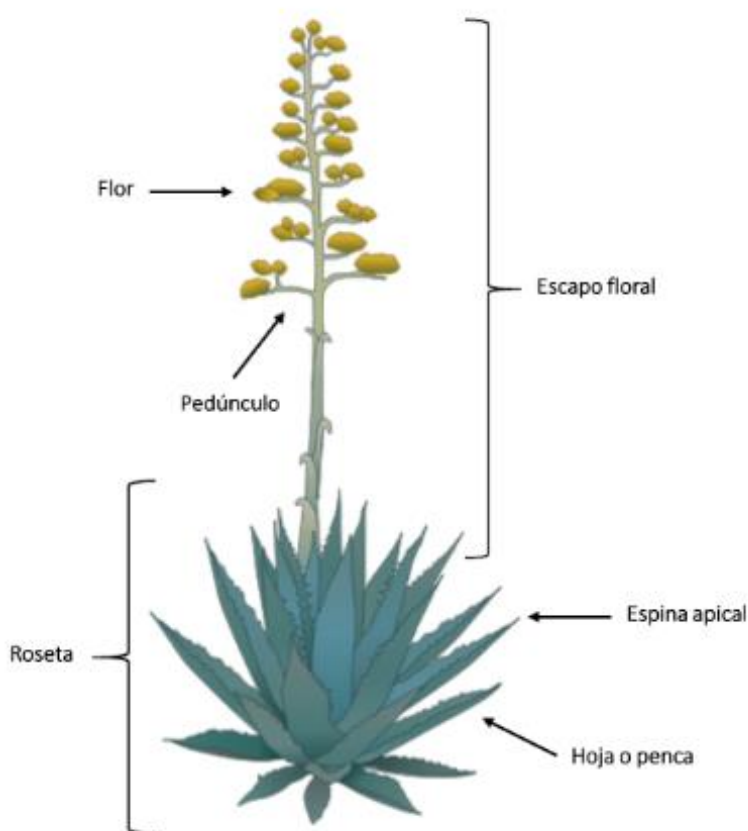


Fig. 1. Detalles morfológicos del *Agave* spp.

1.2. Domesticación y reproducción de *Agave* spp.

Tras más de 3000 años de interacción con el ser humano, la domesticación del agave ha dado como resultado variaciones fisiológicas y morfológicas importantes; como la planta

de la especie *A. salmiana* la cual ha desarrollado mayor tamaño en la roseta y ha reducido sus estructuras de protección mecánica (Mora-López *et al.*, 2011). La especie con mayor grado de domesticación fue la encontrada en linderos de cultivos agrícolas, el *A. mapisaga*, con dientes pequeños y rosetas grandes. La menos domesticada, como el *A. macroculmis*, se caracteriza por tener plantas pequeñas con espinas y dientes grandes.

La manera más común de su reproducción es la vía asexual, por medio de hijuelos del rizoma de la planta, seguida de la vía sexual, la cual es la más presente en especies que se desarrollan de manera silvestre, esta última da mayor resistencia genética a la planta, debido a la polinización cruzada realizada por insectos (García-Herrera *et al.*, 2010).

1.3. Distribución y producción de *Agave* spp.

En la Figura 2 se presenta la distribución geográfica en la República Mexicana de los tres principales tipos de agave que se aprovechan para la producción de bebidas alcohólicas (tequila, mezcal y pulque). En la región occidente de México que comprende los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato y Nayarit se cultiva en su mayoría el agave tequilero, el cual es mayormente *Agave tequilana* (Weber) y es aprovechado para la elaboración del tequila, bebida altamente apreciada a nivel mundial.

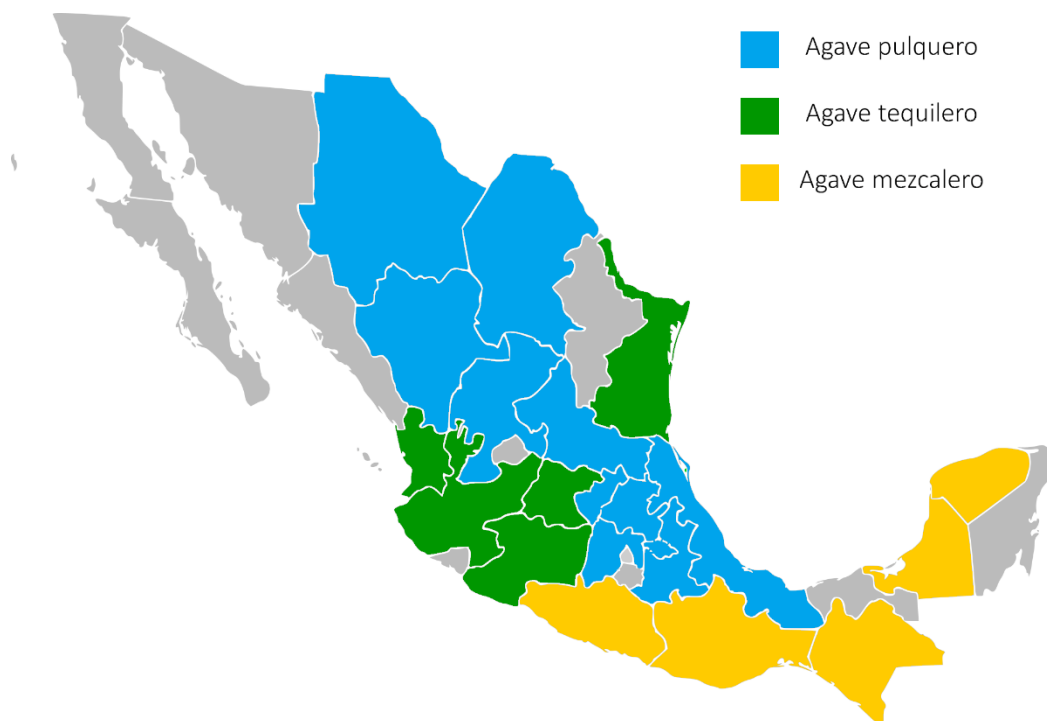


Fig. 2. Distribución regional de las principales tipos de agave aprovechados en México.

Otra bebida alcohólica característica de México es el mezcal, el cual se obtiene del agave mezcalero teniendo a especies como *A. angustifolia*, *A. esperima Jacobi*, *A. weberi cela*, *A. patatorum* y *Agave salmiana* (NOM-070-SCFI-1994), siendo Oaxaca y Guerrero los principales productores de mezcal. En el sur-sureste, principalmente Chiapas, Quintana Roo y Yucatán se encuentran *Agave sisalana* y *A. fourcroydes* los cuales son empleados principalmente para la elaboración de fibras y textiles.

Por último, la región centro y norte que va desde las sierras veracruzanas y poblanas hasta las planicies coahuilenses y duranguenses se presenta en abundancia el agave forrajero o pulquero que son aprovechados para la extracción del *aguamiel*, que tras ser fermentado se obtiene el pulque. (Consejo Regulador del Tequila, 2015; SIAP, 2015).

Los variedades de la sección *Salmianae* más utilizados para producir aguamiel y por ende el pulque son: *Agave macroculmis*, *A. mapisaga*, *A. mapisaga* var. *lisa*, *A. salmiana*, *A. angustifolia*, *A. ferox*, *A. salmiana* subsp. *crassispina* y *A. tecta* (Loyola-Montemayor 1956; Mora-López *et al.*, 2011).

Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, (2013) incluyen otras variedades para la obtención de aguamiel como: *A. atrovirens* Karw., *A. hookeri*, *A. americana* y específicamente para el Estado de México incluyen: *A. teometl* Zucc., *A. weberi* Cels., *A. altissima* Jacobi., *A. compliala* Trel., *A. gracillispina* Englem., *A. malliflua* Trel., y *A. mapisaga* Trel. Hay que mencionar que la planta *Agave salmiana* var. *salmiana* es la más adecuada para la producción del pulque debido a su alta aceptación entre los consumidores (Mora-López *et al.*, 2011).

En la Tabla 1 se muestran los principales indicadores de la siembra, cosecha y producción del agave producido en México durante los últimos 7 años, donde durante la última década la producción de esta planta presentó un aumento del 25.45 % del 2008 hasta el 2014 con casi 2.5 millones de toneladas, lo que representa un incremento mayor al 85 %, demostrando el interés sobre esta planta. Este interés también se ve reflejado en el precio por tonelada que se manejó en 2014 que cuadruplica su valor con respecto a años pasados. Cabe destacar que si bien su producción va en aumento, las áreas de siembra se están reduciendo en un 24.21 % de 2008 a 2014 en parte debido a los largos tiempos de maduración que la planta requiere para poder ser aprovechada enteramente, por lo que un cultivo más sustentable y organizado garantizaría que no haya desabasto o escases de esta planta (SIAP, 2015).

Tabla 1. Área de siembra, cosecha, producción y precios de *Agave* spp.

Año	Área sembrada (Ha)	Área cosechada (Ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/Ha)	Precio (\$/ton)
2008	181,575.15	19,032.14	1,795,078.20	94.32	1,476.05
2009	165,475.10	15,321.47	1,197,943.03	78.19	1,086.32
2010	162,388.89	15,880.20	1,246,790.13	78.51	1,013.21
2011	165,310.38	19,731.10	1,703,852.61	86.35	1,132.30
2012	137,625.27	19,876.07	1,686,337.41	84.84	1,258.54
2013	128,133.28	23,697.11	1,899,735.14	80.17	1,712.51
2014	120,339.51	27,689.34	2,408,884.28	87.00	4,208.27
2015	108,119.83	21,731.41	1,846,345.07	84.96	4,337.73

Fuente: SIAP (2015).

2. USOS Y APLICACIONES TRADICIONALES DE AGAVE SPP

Antes del arribo europeo a Mesoamérica, las civilizaciones presentes en esta región supieron del valor de estas plantas, aprovechando cada parte de la misma para diversas tareas en su día a día, tanto para consumo como para la edificación de casas, las cuales hasta el día de hoy se siguen realizando. En la Tabla 2 se muestran las principales aplicaciones y usos dados a esta planta.

Tabla 2. Principales aplicaciones y usos de la planta de agave.

Usos	Producto	Parte de la planta
Alimentación	Azúcar, Pan de pulque	Piña
	Guisos, Dulces	Flores
	Mixiote, Gusanos blancos y rojos	Hojas
Bebidas	Aguamiel, Atole, Pulque	Piña
	Mezcal, Tequila	
	Vinagre	
	Jarabe	
Agrícola	Cerca delimitante, Inhibidor de la erosión	Planta entera Hojas
	Composta o Fertilizante	
Otros	Celulosa para papel, Producción de etanol, Glucósidos	Hojas y fibra
	Producción de saponinas	Piña

Fuente: Centro de Propagación de Agave del Estado de Guanajuato.

Históricamente, la aplicación principal del agave es la elaboración de bebidas alcohólicas, precedidas por una fermentación tanto controlada como espontánea. Bebidas como el tequila o el mezcal, son obtenidas tras la fermentación controlada de los azúcares obtenidos tras la cocción y estrujado de la piña o tallo del agave. Otra bebida alcohólica con menor grado de consumo es el pulque.

2.1. Pulque

El pulque, una bebida ancestral de color blanco y viscosa posee un sabor y olor fuerte a maguey, cuyo grado de alcohol no es mayor del 6 % (v/v) (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008) se obtiene tras la fermentación espontánea del aguamiel recolectado de los agaves, el cual reposa en barriles de madera hasta su venta. Esta bebida se mantuvo bajo la producción y control de los pueblos mesoamericanos hasta el siglo XVIII (Chellapandian *et al.*, 1998).

La palabra “*pulque*” se deriva de la palabra “*poliuhquiocli*”, con la cual se designaba al pulque descompuesto de sabor y olor desagradable. Los españoles utilizaron esta palabra para designar a esta bebida recién elaborada (Robelo, 1948; Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

Particularmente los aztecas distinguían diferentes tipos de pulque: el “*metoctli*” o vino de agave, el “*iztacoctli*” o vino blanco, y el “*teoctli*” bebida ceremonial o vino dios. Tras el declive del imperio azteca el pulque perdió su importancia religiosa, pero se siguió consumiendo por su importancia nutricional, inclusive como sustituto de agua (Escalante *et al.*, 2012).

Tradicionalmente el pulque se le ha considerado como una bebida saludable debido al contenido de nutrientes que contiene, llegando a considerarse como una fuente importante de energía. Comunidades indígenas como los Ñañú han incluido al pulque como un pilar en su dieta, principalmente por el aporte de carbohidratos y proteínas que ofrece esta bebida, siendo tan importante en su dieta como la tortilla; inclusive, se le considera como la principal fuente de vitamina C en estas comunidades (Vargas *et al.*, 1998). En comunidades del Estado de México se consumen diariamente alrededor de 500 mL de esta bebida que aportan hasta 215 kCal, entre los que destacan una cantidad nada despreciable de vitaminas, hierro y proteína microbiana (Backstrand *et al.*, 2002).

Recientemente se le ha considerado como un producto probiótico, debido a la presencia de una gran población de bacterias acidolácticas como *Lactobacillus acidophilus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Zymomonas mobilis* (Escalante *et al.*, 2004; Campos, 2010), los cuales tienen una actividad antagonista a algunas bacterias y hongos patógenos (Wuanick 1970; Gonçalves de Lima 1978).

Lemus (2006) sugiere a través de la evidencia arqueológica que el pulque pudo ser utilizado inclusive como un enema. Este tipo de prácticas pueden haber tenido efectos beneficiosos sobre la salud de los seres humanos debido al enriquecimiento del tracto digestivo con posibles bacterias probióticas.

2.1.1. Elaboración del pulque

La Norma Mexicana NMX-V-037 reconoce dos tipos de pulque: el tipo I incluye el *pulque* de semilla, el cual es usado como inóculo inicial en la producción del pulque ya que permite el aumento de la microbiota natural y el tipo II se refiere al pulque comercial. El pulque tipo I se añade al aguamiel para iniciar la producción del tipo comercial y se utiliza para establecer el equilibrio bioquímico óptimo entre los sustratos fermentables y los microorganismos implicados en la fermentación, es la base de la producción comercial de pulque (Loyola-Montemayor, 1956; Ramírez *et al.*, 2004; Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

El procedimiento tradicional para la obtención del pulque empieza con la colecta diaria del aguamiel. Para ello, se requiere de realizar un “*capado*”, es decir, retirar las hojas tiernas del centro de la planta madura (entre 7 y 10 años de edad) y dejar una cavidad o “*cajete*” en donde se recolecta la savia secretada por la planta.

Esta actividad se debe realizar a finales de la primavera o en el otoño, si se deja a la planta tener inflorescencias, jamás podrá producir aguamiel y sí el capado se realiza antes de la maduración de la planta, se tendrán bajos rendimientos. La cavidad resultante se tapa, tradicionalmente, con las hojas del agave o piedras para evitar su exposición al medio ambiente (Loyola-Montemayor 1956; Gobierno del Estado de Hidalgo: Museo Nacional de Culturas Populares 1988; Escalante *et al.*, 2012).

El aguamiel es transferido de la planta a un contenedor, normalmente una bolsa de piel de cerdo llamado “cuero” o una caja de madera llamada “castaña”. Al proceso de recolección del aguamiel se le llama coloquialmente como “tlachiqueo” (Figura 3) en el cual se utiliza un instrumento llamado “acocote” que mediante succión se va llenando de la savia y así poder pasarlo al contenedor (Escalante *et al.*, 2012).

La fermentación del aguamiel se lleva a cabo durante varias horas, dependiendo de la calidad del aguamiel, la microbiota presente en el pulque de inicio, y la temporada debido a



Fig. 3. Tlachiquero recuperando el aguamiel de la piña del agave.

los cambios de temperatura ambiental (Loyola-Montemayor 1956; Steinkraus, 1996).

Esta fermentación se lleva a cabo en las instalaciones de las haciendas pulqueras donde se encuentran contenedores llamados "tinacales", que llegan a albergar hasta 800-1000 L de pulque, los cuales están distribuidos de manera paralela o circular (Bellingeri-Martini, 1980)]. El pulque de mayor calidad es obtenido de la fermentación del aguamiel procedente de *A. salmiana* var. *salmiana*, *A. mapisaga*, and *A. atrovirens*, que crecen en zonas secas y frías. El pulque de menor calidad, denominado como tlachique es obtenido del aguamiel que presenta un bajo contenido de azúcares, los cuales se obtienen de plantas que se desarrollan en climas cálidos y con humedad abundante (Loyola-Montemayor 1956).

2.1.2. Pan de pulque

Hacia finales del siglo XVI, los españoles empezaron la colonización del noreste del territorio mexicano en conjunto con el pueblo nahua tlaxcalteca, a quienes en 1591 se les permitió cohabitar en la colonia española que ahora es la ciudad de Saltillo (Sheridan, 2001). Estos pobladores eran doctos en el uso del agave, tanto en la elaboración de textiles como en la producción del aguamiel y pulque. A pesar de la llegada del trigo al continente, era poco común la producción de pan en la región debido a la falta de levadura.

Al mismo tiempo, los tlaxcaltecas hicieron popular el consumo del pulque por lo que el sedimento de esta bebida se llegó a aplicar como semilla de fermentación en la elaboración de pan (Figura 4) obteniendo un producto con características y sabor *sui generis*, que lo han hecho único entre toda la variedad gastronómica de México.

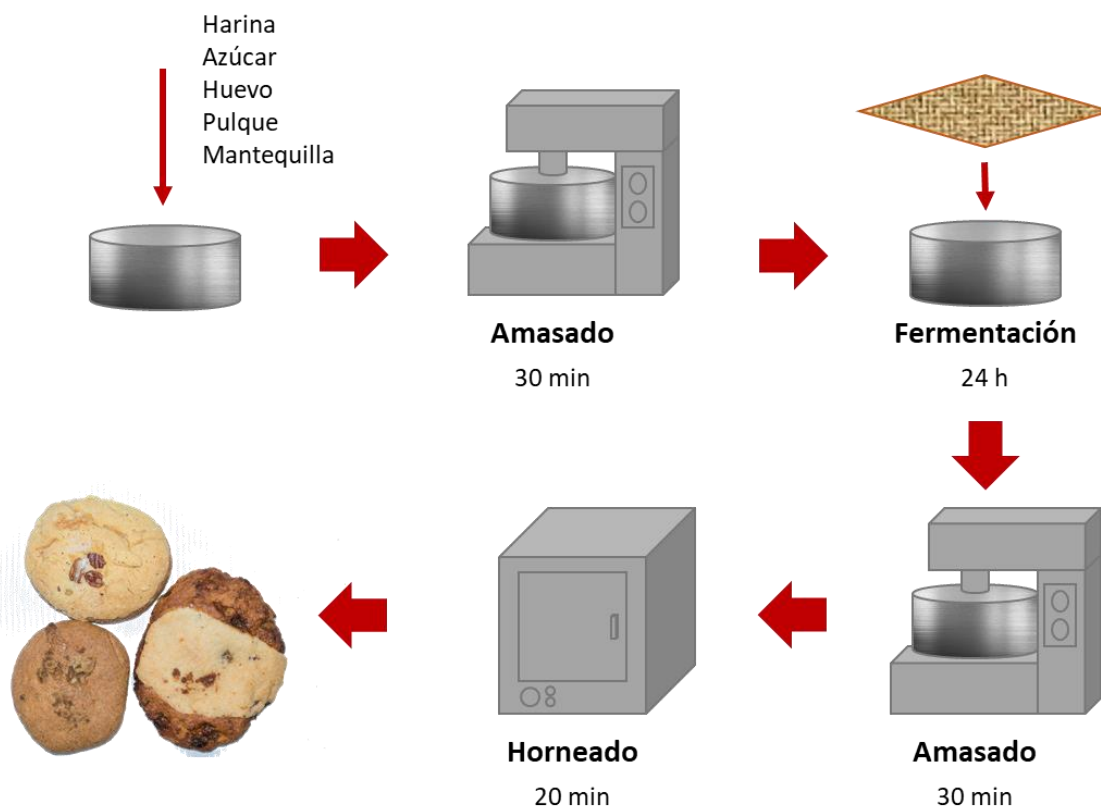


Fig. 4. Diagrama de la elaboración de pan de pulque.

Entre las principales funciones del pulque están la gran diversidad de bacterias acidolácticas y levaduras que realizan el proceso de fermentación del pan, su capacidad que tiene para hidratar el almidón y gluten de la harina, dando una masa suave y elástica. Además de que proporciona ciertos polisacáridos como el dextrano que le confieren una textura y sabor únicos a este pan (Escalante *et al.*, 2008).

2.2. Dextrano

El dextrano (Figura 5) es uno de los polisacáridos que se encuentran en la constitución del pulque, ya que este es sintetizado por algunas bacterias del genero *Leuconostoc* durante el proceso de fermentación espontánea del aguamiel. El dextrano le concede la consistencia viscosa al pulque fermentado más de 12 h, esto debido a que es altamente soluble en agua (Sánchez-Marroquín & Hope, 1953; Escalante *et al.*, 2008).

Este homopolisacárido es sintetizado por una enzima llamada dextransucrasa, que es secretada por el microorganismo al medio (Kothari & Goyal, 2013). Una característica de

esta enzima es que solo puede sintetizar dextrano a partir de sacarosa, lo que limita su aplicación a gran escala en la industria (Robyt, 1985).

El dextrano corresponde a una cadena D-glucosa unidas por un enlace glucosídico tipo α -1,6 además de estar unidas a otras cadenas de dextrano por enlaces α -1,2; α -1,3 y α -1,2. Estos enlaces le confieren al dextrano actividad prebiótica (Das *et al.*, 2014) y propiedades anticancerígenas (Shukla & Goyal, 2013). De naturaleza neutra, este polisacárido no afecta la concentración de sales o cambios de pH (Kothari *et al.*, 2014).

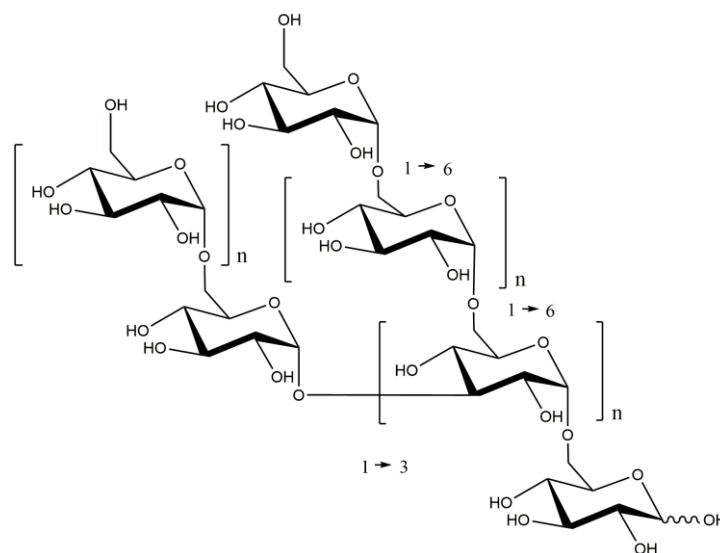


Fig. 5. Estructura molecular del dextrano producido por *L. mesenteroides*.

Estas cualidades fisicoquímicas, permiten al dextrano tener una gran variedad de aplicaciones en diferentes industrias, mayormente en la alimenticia ya que se usa como estabilizante, emulsificante, gelificante y viscosificante en productos derivados de la leche o en el pan (Awad *et al.*, 2005, 2012).

3. AGUAMIEL

La savia que excreta el agave tras ser cortadas las *pencas* céntricas del tallo se le denomina como aguamiel (Figura 6). Esta savia es un líquido translúcido que llega a tener un color ámbar, de un pH neutro y con un ligero olor herbal cuando se encuentra recién secretado. Esta constituido principalmente por agua, azúcares, proteínas, vitaminas y sales minerales (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

La recolección del aguamiel se realiza dos veces al día normalmente en la mañana y en la tarde, donde el cajete o cavidad se raspa después de recolectar la savia con la finalidad de estimular la secreción de la misma. Ortiz-Basuro *et al.*, (2008) determinaron que la producción inicial promedio de aguamiel es de 0.4 L por planta en un día recién capada la planta. Esta producción llega a alcanzar volúmenes de 4-6 L al día en los primeros dos



Fig. 6. Aguamiel presente en el *cajete* realizado en el tallo del agave.

meses generando entre 500-1000 L (Gentry, 1982). Especies como *A. atrovirens* y *A. salmiana* llegan a producir 1500 L. Sin embargo, estos volúmenes comienzan a decrecer hasta obtener diariamente 0.4 L en el cuarto o sexto mes después del capado (Tovar *et al.*, 2008).

3.1. Fructano

Uno de los polisacáridos más estudiados del aguamiel y pulque son fructanos (agavinas y levanos). Este polisacárido es derivado de la sacarosa conformado por varias unidades de fructosa y un residuo común de glucosa. Este polisacárido es sintetizado por una amplia gama de bacterias de diferentes fisiologías, un número limitado de hongos y en algunas especies de plantas pertenecientes a las familias monocotiledóneas y dicotiledóneas (Bangela Hernández, 2006).

Martínez del Campo-Padilla, (1999) reportaron la presencia de fructanos tipo agavinas en el aguamiel de *A. atrovirens*, empero se ha reportado la presencia de fructano en algunas especies de agave desde la década de los 50's y 70's. Este compuesto llamo la atención de los investigadores con la finalidad de ver sus posibles aplicaciones en la industria.

El término abarca tanto los oligosacáridos como polisacáridos que tienen principalmente residuos de fructosa. Los fructanos sintetizados en la naturaleza son los azúcares no reductores y solubles en agua que se encuentran desde una hasta mil unidades de fructosas unidas a la molécula de sacarosa precursora (Waterhouse *et al.*, 1993).

En los agaves, durante la fotosíntesis que realizan, se fija el dióxido de carbono mediante el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), del cual el principal subproducto que se obtiene son los fructanos. Estos fructanos pueden ser clasificados en función del tipo de enlace fructosil, siendo tipo inulina si poseen un enlace β -2,1 y tipo levanos si el enlace es β -2,6 (Nobel, 1991; López *et al.*, 2003).

Los fructanos son altamente solubles en agua, esto les confiere propiedades osmóticas dependiendo del grado de polimerización de la molécula en las vacuolas de las células de la planta. La hidrólisis interna de los fructanos esta mediada por las enzimas endoinulinasas, estas generan fructanos con diferentes grados de polimerización lo que permite a la planta osmoregular su contenido de agua, consiguiendo tolerar las bajas temperaturas durante el invierno y desarrollarse en regiones donde escasea el agua (Boeckner *et al.*, 2001).

La síntesis de estos carbohidratos en las plantas de agave parece ser inducido por la acumulación de sacarosa en las vacuolas celulares, algo común en las plantas monocotiledóneas, donde estas moléculas son el sustrato para las enzimas sacarosa:sacarosa fructosiltransferasa (1-SST), la cual transfiere las moléculas de fructosa a otra sacarosa formando un enlace β -2,1, y la enzima 6-fructosiltransferasa (6-SFT) en la formación de la 1- y 6-kestotriosa, respectivamente. Una segunda enzima llamada fructano:fructano 1-fructosiltransferasa permite la elongación de la cadena de fructosa dando lugar al fructano (Figura 7) (López & Mancilla-Margalli, 2007).

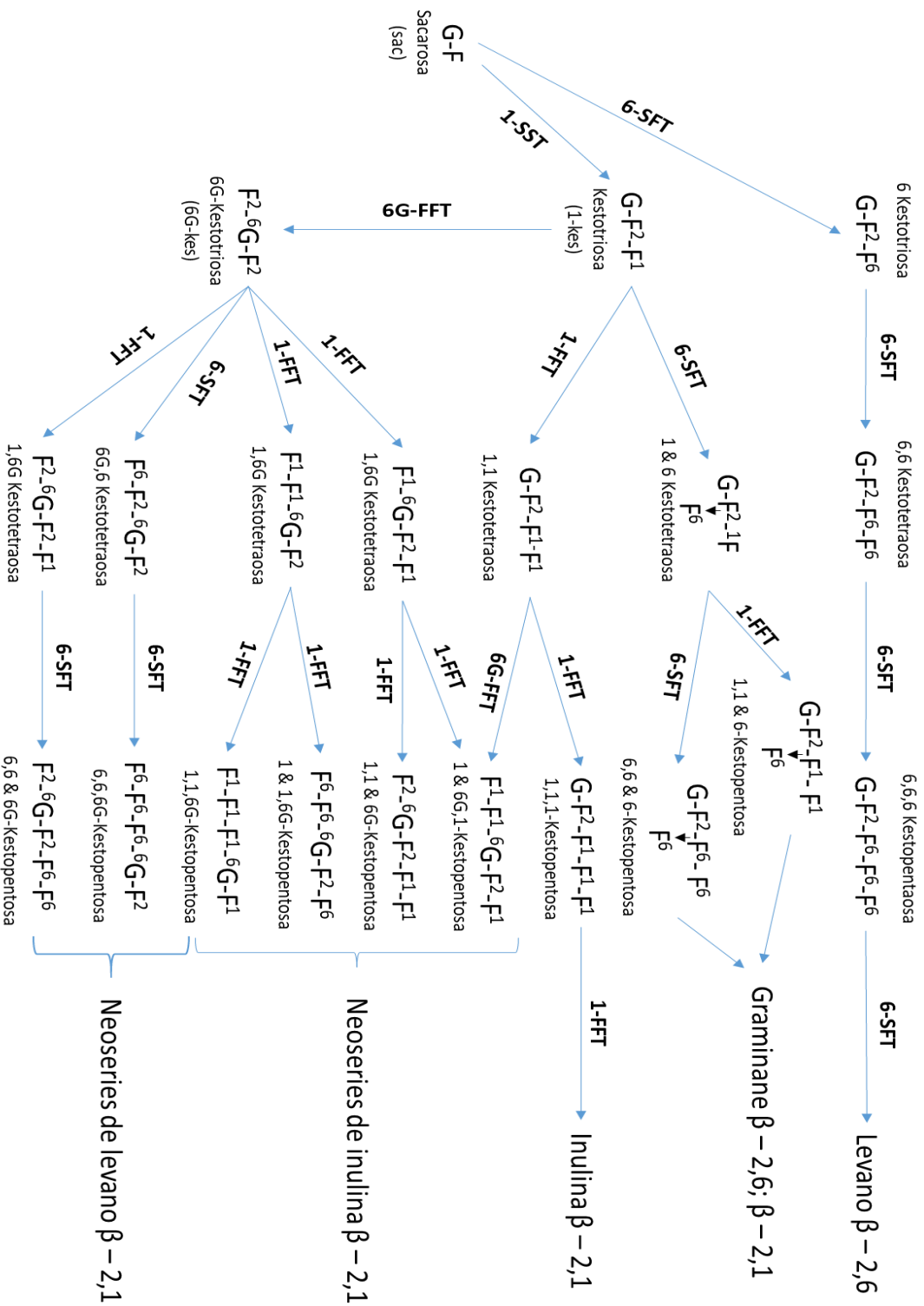


Fig. 7. La síntesis de fructanos en las plantas ocurre dentro de las vacuolas, donde la acumulación de sacarosa induce la síntesis de la enzima 1-SST y por ende, la acumulación de la 1-kestotriosa. La acción de las diferentes fructosiltransferasas en el metabolismo de las plantas genera una gran variedad de estructuras de fructanos (Mancilla-Margali, 2006).

3.2. Saponinas

Las saponinas, son glucósidos ampliamente distribuidos en el reino vegetal, incluyen un grupo diverso de compuestos caracterizados por su estructura la cual contiene una aglicona esteroidal o triterpenoide y una o más cadenas de azúcar. Su función biológica reside en sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas (Osbourn, 1996). Su consumo confiere propiedades benéficas a la salud, como reducir niveles de colesterol en sangre, antiinflamatorio, inmunoestimulante y antiparasitante, todas determinadas sobre modelos animales (Francis *et al.*, 2002; Silveira *et al.*, 2012; Guang *et al.*, 2014). El género *Agave* no es la excepción, en el cual especies como *A. americana* y *A. salmiana* presentan saponinas derivadas de la kammogenina, manogenina, gentrogenina y hecogenina en concentraciones de 179.0 - 478.3 µg/g de aguamiel, respectivamente; concentración que tiende a disminuir en el aguamiel conforme el capado del agave se realice en periodos previos a la maduración de la planta (Leal-Díaz *et al.*, 2015).

3.3. Otros compuesto del aguamiel

Más del 95 % de los sólidos solubles procedentes del aguamiel son carbohidratos, de los cuales 55.6-90 % son reportados como fructanos en algunas especies de *Agave* (Pätzold & Brückner, 2005). La Tabla 3 muestra el contenido de azúcares dentro de los sólidos solubles de la savia obtenida de varias especies de agave, donde se puede percibir que en función de la especie de *Agave* varía el contenido de carbohidratos, en este caso, *Agave salmiana* es la especie que presenta mayor cantidad de fructanos y de sacarosa, los cuales son azúcares altamente fermentables por microorganismos. Un comportamiento muy similar entre las tres especies de *Agave* es la cantidad de glucosa donde oscila en un promedio de 3 %, así como las proteínas las cuales no superan el 1 %, empero esta es altamente aprovechada por los microorganismos para su desarrollo. Cabe destacar que estos valores pueden variar según el ambiente donde se desarrolla la planta.

Tabla 3. Composición química y características fisicoquímicas del aguamiel procedente de diferentes especies de *Agave*.

Parámetro	<i>Agave mapisaga</i> (Ortiz-Basurto <i>et al.</i> , 2008)	<i>Agave atrovirens</i> (Romero-López <i>et al.</i> , 2015)	<i>Agave salmiana</i> (Santos-Zea <i>et al.</i> , 2016)
pH	4.50	6.29	4.63
°Brix	ND	11.10	75.53*
Fructosa (%)	3.73	3.63	5.22
Sacarosa (%)	1.01	1.43	4.69
Glucosa (%)	3.05	3.18	3.48
FOS (%)	1.17	1.72	ND
Proteínas (%)	0.35	0.39	0.97

*Valor obtenido del aguamiel concentrado.

El 0.26-0.30 % de los sólidos solubles son aminoácidos los cuales son comunes en el agave. Siendo el ácido glutámico (20.08 mg/100 g), la valina (16.35 mg/100 g), la fenilalanina (10.03 mg/100 g), el ácido aspártico (7.91 mg/100 g) y la prolina (7.38 mg/100

g) los más abundantes y algunos de ellos ser precursores en algunas reacciones metabólicas de la propia planta (Ortiz-Basurto *et al.*, 2008; Romero-López *et al.*, 2015). Las cantidades presentes de aminoácidos esenciales para consumo humano (lisina, fenilalanina, isoleucina, leucina, valina y metionina) puede llegar a considerar al aguamiel como una fuente alternativa y económica de aminoácidos (World Health Organization, & United Nations University, 2007; Romero-López *et al.*, 2015).

Ortiz-Basurto *et al.* (2008) detectaron en el aguamiel en muestras de *A. mapisaga* ácido γ -aminobutírico (GABA) en una concentración de 26 mg/mL, este aminoácido no proteico está involucrado en la regulación metabólica de las plantas. Inoue *et al.* (2003) reconocen que una ingesta diaria de 10 mg/mL del GABA mejora la calidad de vida de personas que padecen problemas de hipertensión. Por lo que el aguamiel podría ser considerado como una bebida funcional.

Vitaminas y minerales también son hallados en esta savia; en la obtenida de *A. atroviren* el ácido ascórbico (vitamina C) es la que en mayor concentración se encuentra (17.99 mg/ 100 g), seguida de la niacina (vitamina B3) en cantidades de 4.77 mg/ 100 g. En menor medida se encuentran vitaminas solubles como la piridoxina (vitamina B6), riboflavina (vitamina B2) y tiamina (vitamina B1) (Romero-López *et al.*, 2015).

Las cantidades halladas de minerales en el aguamiel pueden considerarlo como un suplemento alimenticio en lugares donde la presencia de hierro y zinc sea muy limitado (Hambidge and Krebs, 2007). Metales como el cobre y magnesio están presentes en concentraciones que van desde 0.03-0.07 y 0.034–0.055 mg/100 g, respectivamente (Ortiz-Basurto *et al.*, 2008; Romero-López *et al.*, 2015). El selenio es otro mineral importante que previene la oxidación celular y su presencia en el aguamiel es óptima para el consumo humano (0.047 mg / 100 g) (Cloutier & Baffigo, 1999; Romero-López *et al.*, 2015).

3.4. Microorganismos en el aguamiel

El aguamiel es una rica fuente de carbohidratos y compuestos proteicos que tiene un valor de pH casi neutro y una matriz acuosa características que la hacen favorable como sustrato para el desarrollo y obtención de microorganismos. Esto se demuestra en la fermentación que ocurren en la savia expuesta al polvo, insectos, residuos vegetales, generando una población heterogénea de microorganismos que inician una serie consecutiva de fermentaciones como la láctica, alcohólica y acética (Lappe-Oliveras *et al.*, 2008).

En la elaboración del pulque, la cual usa fermentaciones espontáneas, se han identificados una serie de microorganismos que en su mayoría producen alcohol, ácidos y polímeros. Entre estos, los géneros más estudiados que producen alcohol en el pulque son *Zymomonas* spp. y *Saccharomyces* spp. (Sánchez-Marroquín & Hope, 1953; Cervantes-Contreras, 2008). En la Tabla 4 se muestran los principales microorganismos encontrados en el aguamiel.

Tabla 4. Principales microorganismos hallados en el aguamiel.

Microorganismo	Producto	Referencia
<i>Zymomonas mobilis</i>	Alcohol; levano	
<i>Gluconobacter oxydans</i>	Alcohol; ácidos orgánicos	
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Ácidos orgánicos	
<i>Lactobacillus ASF360</i>	Ácidos orgánicos	Escalante <i>et al.</i> , 2004
<i>Lactobacillus acetotolerans</i>	Ácidos orgánicos	
<i>Flavobacterium johnsoniae</i>	Enzimas	
<i>Saccharomyces carbajali</i>	Alcohol; ácidos orgánicos	
<i>Pseudomonas lindneri</i>	Alcohol	
<i>Pichia barragani</i>	Alcohol	Sánchez-Marroquín & Hope, 1953
<i>Torulopsis hydromelitis</i>	Alcohol	
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Dextrano	
<i>Leuconostoc dextranicum</i>	Dextrano	
<i>Leuconostoc kimchii</i>	Dextrano	Torres-Rodríguez <i>et al.</i> , 2014

3.5. Otras aplicaciones del aguamiel

El aguamiel es recientemente aprovechado para la producción de enzimas, desarrollo de microorganismos y metabolitos o biocompuestos de interés industrial.

En el mundo de las fermentaciones, el aguamiel es usado para produce algunos aminoácidos como la lisina mediante el uso de *Micrococcus glutamicus* (Sánchez-Marroquín *et al.*, 1969), vitaminas como la riboflavina mediante *Ashbya gossypii* (Sánchez-Marroquín *et al.*, 1970) siendo en ambos casos una producción con buenos rendimientos.

Cruz-Guerrero *et al.* (2005) lograron aislar del aguamiel una cepa de *Kluyveromyces spp.* para producir la enzima inulinasa la cual fue aprovechada para depolimerizar en fructosa y oligosacáridos de la inulina.

La capacidad del aguamiel como sustrato permite el desarrollo inclusive de algunos nematodos como *Steinernema carpocapsae* el cual parasita insectos y permite un biocontrol de plagas. Un medio con 28 % (v/v) de savia permiten una alta proliferación de este parásito en comparación con los medios sintéticos (Islas-López *et al.*, 2005).

Su uso clínico como nutracéutico ha sido demostrado en experimentos con roedores, los cuales tras el consumo de *aguamiel* mostraron un incremento del 10 % en sus niveles de hemoglobina y un incremento de más de 12 % de hierro en la sangre (Tovar-Robles *et al.*, 2011).

4. CONCLUSIONES

Como resultado de la actual revisión bibliográfica se puede constatar la existencia de numerosas investigaciones que coinciden en un mismo punto: la necesidad de revalorizar tanto el aguamiel como el pulque, considerándolos más que simples bebidas o base de algunos alimentos. Las propiedades nutricionales y funcionales que ofrece el pulque son empleadas por las comunidades más aisladas de México para complementar su dieta diaria. También la gran diversidad de microorganismos que se aíslan del pulque y el aguamiel, pueden dar hincapié a que México llegue a convertirse en una potencia biotecnológica dada su gran biodiversidad que posee su territorio. Y por último, concientizar el aprovechamiento del aguamiel para la producción sustentable de metabolitos de interés industrial y el desarrollo de alimentos que ofrezcan ir más allá de solo aportar nutrientes al organismo. El siguiente paso es desarrollar y establecer metodologías sustentables aprovechando la tecnología actual que garantice la obtención inocua y eficiente de esta savia, su escalamiento a nivel industrial y su procesamiento con miras a que el consumidor lleve una vida más saludable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Academia Mexicana del Tequila A. C. <http://www.acamextequila.com.mx/amt3/elagave.html> (consultado Enero 15, 2016).
- Aman, A., Siddiqui, N. N. & Qader, S. A. U. 2012. Characterization and potential applications of high molecular weight dextran produced by *Leuconostoc mesenteroides* AA1. *Carbohydrate Polymers*, 87(1): 910-915.
- Arrizon, J., Morel, S., Gschaedler, A. & Monsan, P. 2010. Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of *Agave tequilana* plants of different ages. *Food Chemistry*. 122(2010): 123–130.
- Awad, S., Hassan, A. N. & Halaweish, F. 2005. Application of exopolysaccharide producing cultures in reduced-fat Cheddar cheese: composition and proteolysis. *Journal of Dairy Science*. 88(2012): 4195–4203.
- Backstrand, J. R., Allen, L. H., Black, A. K., de Mata, M. & Pelto, G. H. 2002. Diet and iron status of nonpregnant women in rural Central Mexico. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1): 156-164.
- Bangela, A., Hernández, L. 2006. Fructans: from natural sources to transgenic plants. *Biotecnología Aplicada* 23(3): 202–210.
- Bellingeri-Martini M. 1980. Las haciendas en México. Departamento de Investigaciones Históricas, Escuela Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México, México. pp. 80.

- Boeckner, L. S., Schnepf, M. I. & Tunland, B. C. 2001. Inulin: a review of nutritional and health implications. *Advances in Food and Nutrition Research*, 43(2001): 1-63.
- Campos, I., Escalante, A., & Giles-Gómez, M. 2010. Aislamiento e identificación de bacterias lácticas del pulque con capacidad probiótica. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. pp. 88.
- Castro-Díaz, A. S., & Guerrero-Beltrán, J. A. 2013. El agave y sus productos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2): 53-61.
- Chellapandian, M., Larios, C., Sanchez-Gonzalez, M. & Lopez-Munguia, A. 1998. Production and properties of a dextransucrase from *Leuconostoc mesenteroides* IBT-PQ isolated from 'pulque', a traditional Aztec alcoholic beverage. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 21(1-2): 51-56.
- Cloutier, J. & Baffigo, M. 2000. Addition of vitamins and minerals to foods: Review of regulations in EU Member States. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 117(1): 33-36.
- Consejo Regulador del Tequila. <http://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>. Jalisco, México (consultado Febrero 20, 2016).
- Corradini, C., Bianchi, F., Matteuzzi, D., Amoretti, A., Rossi, M. & Zanoni, S. 2004. High-performance anion-exchange chromatography coupled with pulsed amperometric detection and capillary zone electrophoresis with indirect ultra violet detection as powerful tools to evaluate prebiotic properties of fructooligosaccharides and inulin. *Journal of Chromatography A*. 1054(1): 165-173.
- Cruz-Guerrero, A. E., Olvera, J. L., García-Garibay, M. & Gómez-Ruiz, L. 2006. Inulinase-hyperproducing strains of *Kluyveromyces* sp. isolated from aguamiel (*Agave* sap) and pulque. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 22(2): 115.
- Das, D., Baruah, R. & Goyal, A. 2014. A food additive with prebiotic properties of an α -d-glucan from *Lactobacillus plantarum* DM5. *International Journal of Biological Macromolecules*. 69(2014): 20-26.
- Escalante, A., Giles-Gómez, M., Esquivel Flores, G., Matus Acuña, V., Moreno-Terrazas, R., López-Munguía, A. & Lappe-Oliveras, P. 2012. Pulque fermentation. *Handbook. Plant-Based Fermented Food Beverage Technol., Second Edition*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp. 691-706.
- Escalante, A., Giles-Gómez, M., Hernández, G., Córdova-Aguilar, M. S., López-Munguía, A., Gosset, G. & Bolívar, F. 2008. Analysis of bacterial community during the fermentation of pulque, a traditional Mexican alcoholic beverage, using a polyphasic approach. *International Journal of Food Microbiology*. 124(2): 126-134.
- Escalante, A., Rodríguez, M. E., Martínez, A., López-Munguía, L., Bolívar, F. & Gosset, G. 2004. Characterization of bacterial diversity in Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage, as determined by 16S rDNA analysis. *FEMS Microbiology Letters*. 235(2): 273-279.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H. P. & Becker, K. 2002. The biological action of saponins in animal systems: a review. *British Journal of Nutrition*. 88(06): 587-605.

- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos, S. D. J. & Talavera-Magaña, D. 2010. El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Special Ed, 5. Nuevo León, México. pp. 109-129.
- Gentry, H. S. 1982. *Agaves of Continental North America*. University of Arizona Press. Arizona, USA. pp. 8-50.
- Gobierno del Estado de Hidalgo: Museo Nacional de Culturas Populares. 1988. El maguey: árbol de las maravillas. Ed. I Gobierno del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México. pp. 41-63.
- Gonçalves de Lima, O., De Araujo, J. M., Schumacher, I. F. & Da Silva, E. C. 1970. Estudios de microorganismos antagonistas presentes nas bebidas fermentadas usadas pelo povo do Recife. I. Sobre uma variedade de *Zymomonas mobilis* (Lindner) (1928). *Revista do Instituto de Antibióticos*. 10(1970): 3-15.
- Guang, C., Chen, J., Sang, S. & Cheng, S. 2014. Biological functionality of soyasaponins and soyasapogenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(33): 8247-8255.
- Gupta, A. K. & Kaur, N. 2000. Fructan metabolism in Jerusalem artichoke and chicory. *Developments in Crop Science*. 26(2000): 223-248.
- Hambidge, K. M. & Krebs, N. F. 2007. Zinc deficiency: a special challenge. *The Journal of Nutrition*. 137(4): 1101-1105.
- Inoue, K., Shirai, T., Ochiai, H., Kasao, M., Hayakawa, K., Kimura, M. & Sansawa, H. 2003. Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing γ -aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives. *European Journal of Clinical Nutrition*. 57(3): 490-495.
- Islas-López, M. A., Sanjuan-Galindo, R., Rodríguez-Hernández, A. I. & Chavarría-Hernández, N. 2005. Monoxenic production of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* using culture media containing agave juice (aguamiel) from Mexican maguey-pulquero (*Agave* spp). Effects of the contents of nitrogen, carbohydrates and fat on infective juvenile production. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 68(1): 91-97.
- Kothari, D. & Goyal, A. 2013. Structural characterization of enzymatically synthesized dextran and oligosaccharides from *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-1426 dextransucrase. *Biochemistry (Moscow)*. 78(10): 1164-1170.
- Lappe-Oliveras, P., Moreno-Terrazas, R., Arrizón-Gaviño, J., Herrera-Suárez, T., García-Mendoza, A. & Gschaedler-Mathis, A. 2008. Yeasts associated with the production of Mexican alcoholic nondistilled and distilled Agave beverages. *FEMS Yeast Research*. 8(7): 1037-1052.
- Leal-Díaz, A. M., Santos-Zea, L., Martínez-Escobedo, H. C., Guajardo-Flores, D., Gutiérrez-Urbe, J. A. & Serna-Saldivar, S. O. 2015. Effect of *Agave americana* and *Agave salmiana* ripeness on saponin content from aguamiel (agave sap). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63(15): 3924-3930.
- Lemus-Fuentes, E. 2006. Los Enemas prehispánico como instrumentos para Aplicar

probióticos. *Temas de Ciencias y Tecnología*, 10: 17-26.

López, M. G. & Mancilla-Margalli, N. A. 2007. The nature of fructooligosaccharides in Agave plants. *Recent Advances in Fructooligosaccharides Research*. Research Singpost. Kerala, India, pp. 47-67.

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): 7835-7840.

Loyola-Montemayor, E. 1956. La industria del pulque. Departamento de investigaciones industriales. Banco de México SA. Ciudad de México, México, pp. 348.

Mancilla-Margalli, N. 2006. Caracterización molecular de fructanos en *Agave* y *Dasyilirion* spp. identificación de fructosyl transferasas y su expresión en *Pichia pastoris* (Doctoral dissertation, Tesis en opción al título de Doctor, especialidad Biotecnología de Plantas. Instituto de Investigaciones de Estudios Avanzados del IPN. Campus Guanajuato, México).

Mancilla-Margalli, N. A. & López, M. G. 2006. Water-soluble carbohydrates and fructan structure patterns from *Agave* and *Dasyilirion* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(20): 7832-7839.

Martínez del Campo, G. 1999. Determinación, cuantificación e hidrólisis de inulina en el aguamiel de *Agave pulquero* (*Agave atrovirens*). Doctoral dissertation, B. Sc. Thesis. National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mexico.

Mellado-Mojica, E. & López, M. G. 2012. Fructan metabolism in *A. tequilana* Weber blue variety along its developmental cycle in the field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(47): 11704-11713.

Molina-Guerrero, J. A., Botello-Álvarez, J. E., Estrada-Baltazar, A., Navarrete-Bolaños, J. L., Jiménez-Islas, H., Cárdenas-Manríquez, M. & Rico-Martínez, R. 2007. Compuestos volátiles en el mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6(1): 41-50.

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.

Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B. & Aguirre-Rivera, J. R. 2011. Variación morfológica y humanización de la sección *Salmianae* del género *Agave*. *Agrociencia*. 45(4): 465-477.

NMX-V-022. 1972. Aguamiel Normas Mexicanas. Editorial Direccion General de Normas, México.

Nobel, P. S. 1991. Achievable productivities of certain CAM plants: basis for high values compared with C3 and C4 plants. *New phytologist*. 119(2): 183-205.

NOM-070-SCFI-1994. Bebidas alcohólicas-Mezcal. Especificaciones. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México.

Ortiz-Basurto, R. I., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M. & Belleville, M. P. 2008. Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero

(*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(10): 3682-3687.

Osbourn, A. 1996. Saponins and plant defence—a soap story. *Trends in Plant Science*, 1(1): 4-9.

Pätzold, R. & Brückner, H. 2005. Mass spectrometric detection and formation of D-amino acids in processed plant saps, syrups, and fruit juice concentrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(25): 9722-9729.

Robelo, C. A. 1948. *Diccionario de Aztequismos: o sea, Jardín de las raíces aztecas, palabras del idioma Náhuatl, azteca o mexicano, introducidas al idioma castellano bajo diversas formas. Contribución al Diccionario nacional. Ediciones Fuente Cultural. Ciudad de México, México. pp. 453*

Robyt, J. F. 1985. Dextran, in *Encyclopaedia of Polymer Science*. Vol 4. Wiley-VCH, New York, USA, pp. 753–767.

Romero-López, M. R., Osorio-Díaz, P., Flores-Morales, A., Robledo, N. & Mora-Escobedo, R. 2015. Chemical composition, antioxidant capacity and prebiotic effect of aguamiel (*Agave atrovirens*) during *in vitro* fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 14(2): 281-292.

Sánchez-Marroquín, A. & Hope, P. H. 1953. Agave juice, fermentation and chemical composition studies of some species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1(3): 246-249.

Sánchez-Marroquín, A., Manrique, S. & Vierna, L. 1969. Production of riboflavin by *Ashbya gossypii* (Ashby and Nowell) Guill. in *Agave* sp. juice. *Microbiología Española*. 23(2): 127-137.

Sánchez-Marroquín, A., Mondragón, E., Vierna, L. & Meza, G. 1969. New substrate for the production of L-lysine by auxotrophic mutants of *M. glutamicus* (*C. glutamieum*). *Microbiología Española*. 22(2): 121-130.

Santos-Zea, L., Leal-Díaz, A. M., Jacobo-Velázquez, D. A., Rodríguez-Rodríguez, J., García-Lara, S. & Gutiérrez-Urbe, J. A. 2016. Characterization of concentrated agave saps and storage effects on browning, antioxidant capacity and amino acid content. *Journal of Food Composition and Analysis*. 45(2016): 113-120.

Satyanarayana, M. N. 1976. Biosynthesis of oligosaccharides and fructans in *Agave vera cruz*: Part II--biosynthesis of oligosaccharides. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*. 13(4): 398.

Sheridan Prieto, C. 2001. Indios madrineros”. *Colonizadores tlaxcaltecas en el noreste novohispano. Estudios de Historia Novohispana*, 24(024): 16-51.

Shukla, R. & Goyal, A. 2013. Novel dextran from *Pediococcus pentosaceus* CRAG3 isolated from fermented cucumber with anti-cancer properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62(2013): 352-357.

SIAP. 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola.

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350, Ciudad de México, (consultado Enero 17, 2016).

Silveira, R. X., Chagas, A. C. S., Botura, M. B., Batatinha, M. J., Katiki, L. M., Carvalho, C. O. & Almeida, M. A. 2012. Action of sisal (*Agave sisalana*, Perrine) extract in the in vitro development of sheep and goat gastrointestinal nematodes. *Experimental Parasitology*. 131(2): 162-168.

Torres-Rodríguez, I., Rodríguez-Alegría, M. E., Miranda-Molina, A., Giles-Gómez, M., Morales, R. C., López-Munguía, A. & Escalante, A. 2014. Screening and characterization of extracellular polysaccharides produced by *Leuconostoc kimchii* isolated from traditional fermented pulque beverage. *SpringerPlus*. 3(1): 583.

Tovar, L. R., Olivos, M. & Gutiérrez, M. E. 2008. Pulque, an alcoholic drink from rural Mexico, contains phytase. Its in vitro effects on corn tortilla. *Plant foods for human nutrition*, 63(4): 189.

Tovar-Robles, C. L., Perales-Segovia, C., Cedillo, A. N., Valera-Montero, L. L., Gómez-Leyva, J. F., Guevara-Lara, F. & Silos-Espino, H. 2011. Effect of aguamiel (*Agave* sap) on hematic biometry in rabbits and its antioxidant activity determination. *Italian Journal of Animal Science*. 10(2): 21.

Valdez, A. V., Garcia, L. S., Kirchmayr, M., Rodríguez, P. R., Esquinca, A. G., Coria, R. & Mathis, A. G. 2011. Yeast communities associated with artisanal mezcal fermentations from *Agave salmiana*. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 100(4): 497-506.

Vargas, L. A., Aguilar, P., Esquivel, M. G., Gispert, M., Gómez, A., Rodríguez, H., Suárez, C. & Wachter, C. 1998. Bebidas de la Tradición. In: Muría JM, editor. *Beber de tierra generosa. Historia de las bebidas alcohólicas en México*. México, D.F.: Fundación de Investigaciones Sociales AC, pp. 249.

Waterhouse, A. L. & Chatterton, N. J. 1993. Glossary of fructan terms. *Science and Technology of Fructans*, pp. 1-7.

Willems, J. L. & Low, N. H. 2012. Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(35): 8745–8754.

World Health Organization, & United Nations University. 2007. *Protein and amino acid requirements in human nutrition*, vol. 935.