

<https://orcid.org/0000-0002-0264-5027>
<https://orcid.org/0000-0003-4862-7227>
<https://orcid.org/0000-0003-3954-9589>

PULQUE: CONTENIDO PROBIÓTICO Y POTENCIAL EN LA INDUSTRIA BIOTECNOLÓGICA

PULQUE: PROBIOTIC CONTENT AND POTENTIAL IN THE BIOTECHNOLOGY INDUSTRY

Fernanda A. Rodríguez-Juárez, Héctor S. Urbina-Carrasco, Alembert Zapata-Hernández

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias Biológicas
Licenciatura en Biotecnología

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio, Edificio BIO 1, Ciudad Universitaria, C. P. 72592, Colonia Jardines de San Manuel, Puebla, Puebla, México

Correos electrónicos: fernandaa.rodriguezjuarez@viep.com.mx, hectors.urbinacarrasco@viep.com.mx, alembert.zapatahernandez@viep.com.mx

Resumen

El pulque es una bebida tradicional mexicana que antiguamente era consumida por sus propiedades medicinales y su contenido alcohólico. Diversos estudios han caracterizado los microorganismos que este brebaje contiene, principalmente bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras. Estos microorganismos son los que proporcionan las características sensoriales propias a la bebida. A través de diferentes pruebas de laboratorio, se pueden identificar aquellas cepas con potencial probiótico, las cuales ofrecen numerosos beneficios a quienes lo consumen. Dichos microorganismos también producen sustancias de interés biotecnológico, principalmente relacionados con la mejora de la salud humana.

Palabras Clave: pulque, aguamiel, maguey, fermentación, probióticos, biotecnología

Abstract

Pulque is a traditional Mexican beverage formerly consumed for its medicinal properties and alcoholic content. Several studies have characterized the microorganisms that this drink contains, mostly lactic acid bacteria (LAB) and yeasts, which provide the drink with its sensory characteristics. By performing various laboratory tests, those strains that have a probiotic potential and offer numerous benefits to people who consume this drink can be identified. These microorganisms also produce substances of biotechnological interest, especially related to the improvement of human health.

Keywords: *pulque*, *aguamiel* (mead), *maguey*, fermentation, probiotics, biotechnology

1. Introducción

La fermentación es uno de los métodos más antiguos para el procesamiento y la conservación de alimentos, el cual ha usado microorganismos desde hace miles de años para mejorar la seguridad y las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos (Romero *et al.*, 2017). Entre los diversos alimentos fermentados existentes en la actualidad, se encuentra una bebida de origen mexicano: el pulque. El pulque es una bebida alcohólica tradicional mexicana, no destilada, que se produce por la fermentación del aguamiel o de la savia (Giles *et al.*, 2016), extraído de diversas especies del género *Agave* (Escalante *et al.*, 2011). El *Agave* es un género que incluye a las especies *Agave americana*, *Agave atrovirens*, *Agave ferox*, *Agave mapisaga* y *Agave salmiana* (Giles *et al.*, 2016); todas ellas plantas monocotiledóneas de características suculentas conocidas como “agave pulquero”, el cual es uno de los recursos naturales más importantes de México económica, social y agroeconómicamente (Gutiérrez *et al.*, 2017).

El consumo de esta bebida indígena data del 2000 a. C. en la cultura Olmeca, donde las sociedades lo usaban para ceremonias religiosas por su contenido nutricional, propiedades benéficas para la salud y contenido alcohólico (Valadez *et al.*, 2012). Los antiguos aztecas la denominaban *metoctli* (del náhuatl *metl* = agave y *octli* = vino), refiriéndose a la bebida estropeada con olor y sabor desagradables conocida como *poliuhquioctli* (*poliuhqui* = estropeado y *octli* = vino); término que fue adoptado por los españoles para designar a la bebida recién producida (Escalante *et al.*, 2011). Además,

se han encontrado registros arqueológicos y recopilaciones coloniales que han mostrado su uso como enemas (tratamientos de lavado de colon) contra enfermedades y dolencias del tracto digestivo (Matías *et al.*, 2019).

Con la caída del Imperio Azteca, el pulque pasó de ser una bebida religiosa a un brebaje popular tradicional promovido por los españoles en la época colonial para controlar a los indígenas y esclavos inmigrantes (Escalante *et al.*, 2011). Para el siglo XVIII, se incrementó la producción de pulque en las haciendas pulqueras, donde se estima que su producción anual alcanzaba los 500 millones de litros. Sin embargo, durante los últimos 50 años en México su producción ha disminuido debido a diversas razones, incluyendo que se considera como una bebida de clase baja consumida principalmente por ancianos (Valadez *et al.*, 2012). No obstante, en la actualidad, el pulque se mantiene como una bebida alcohólica representante de la gastronomía mexicana, utilizada comúnmente como remedio para la resaca y servida en pulquerías de la Ciudad de México, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala, que son visitadas por una gran cantidad de turistas (Escalante *et al.*, 2011).

Se ha demostrado que el consumo de pulque tiene muchos beneficios para la salud, como un riesgo reducido de tener niveles bajos de ferritina y valores bajos de hemoglobina en mujeres mexicanas. Además, se ha descrito como una buena fuente de ácido ascórbico, tiamina, riboflavina, hierro y probióticos antiinfecciosos y antiinflamatorios (Kuligowski *et al.*, 2019). Estas características se presentan por la abundante actividad y diversidad microbiológica con función probiótica en la flora intestinal del consumidor.

2. Composición y Propiedades del Aguamiel

El aguamiel es una savia de agave color blanco lechoso semiturbio con espesor, dulzor y sabor ácido característicos (Escalante *et al.*, 2011). Esta savia es el medio que favorece el crecimiento de toda la variedad de microorganismos del ambiente del maguey, los cuales son responsables de la fermentación que proporciona las características propias del pulque (Ruiz *et al.*, 2017), debido a su contenido enriquecido de agua, azúcares, proteínas, gomas y sales minerales (Escalante *et al.*, 2011).

El aguamiel es un jugo del maguey rico en azúcares, como sacarosa, fructosa, glucosa y polifruktanos (Valadez *et al.*, 2012). Estos azúcares se encuentran en mayor concentración cuando el estado de maduración del maguey está entre los 7 y 8 años de edad (González *et al.*, 2016), aunque también se encuentran niveles considerables de inulina dependiendo de la especie del maguey (Escalante *et al.*, 2011). Además, la savia de agave es rica en azúcares, en especial de fructanos, los cuales tienen actividad prebiótica (Kuligowski *et al.*, 2019).

Escalante *et al.* (2011) mencionan que el aguamiel está compuesto por todos los aminoácidos esenciales (excepto la metionina), vitaminas (en mg/100 mL de aguamiel, 0.02 mg de riboflavina, 0.45 mg de niacina, 19.6 mg de biotina, 21.64 mg de ácido p-aminobenzoico, 65.17 mg de ácido pantoténico, 22.98 mg de piridoxina y 9.0 mg de ácido ascórbico) y minerales (en mg/100 mL de aguamiel, 25 mg de sodio, 9 mg de magnesio, 1.1 mg de hierro, 0.8 mg de zinc, 0.3 mg de cobre y 0.3 mg de manganeso). Las cantidades varían dependiendo de la especie de maguey usada y el proceso realizado.

3. Producción del Pulque

El método de producción del pulque ha cambiado a lo largo del tiempo y se ha modificado e industrializado en la actualidad. El proceso consta de diversos pasos; el primero es la recolección de aguamiel fresco y su almacenamiento en grandes recipientes (Torres *et al.*, 2016).

El aguamiel se extrae de especies autóctonas de agave, en particular de *A. salmiana* var. *salmiana* (agave verde o manso), *A. atrovirens* (agave blanco) y *A. mapisaga* (agave mexicano o mano larga), y en una proporción menor de *A. lehmannii* y *A. altissima* (Escalante *et al.*, 2011). Estas especies crecen en regiones semiáridas y templadas de la zona del altiplano de México, donde es producido y consumido con regularidad (Matías *et al.*, 2019). Cuando el agave tiene entre 5 y 10 años, se corta el capullo floral tallando un agujero (cajete) en el tallo central con capacidad de 2 L, el cual se sella con hojas o plástico para proteger el contenido del exterior y se cosecha dos veces al día (Valadez *et al.*, 2012) por succión oral a través de una calabaza seca llamada acocote (Escalante *et al.*, 2011). En algunos pueblos se hace un previo hervido ligero del aguamiel fresco

durante no más de 1 min y se deja enfriar por 1 h, para después ser fermentado (Álvarez *et al.*, 2020).



Figura 1. Extracción tradicional del aguamiel. **(A)** Planta de maguey *A. salmiana*. **(B)** Aguamiel producido en el cajete dentro del maguey. **(C)** Hombre transfiriendo pulque a un contenedor de 2.5 L para su venta en Apan, Hidalgo, México (Álvarez *et al.*, 2020).

La preparación de este brebaje consiste en un proceso de tres tipos de fermentaciones: una fermentación ácida, una fermentación alcohólica y una fermentación viscosa (González *et al.*, 2015). Estas fermentaciones son hechas por un consorcio microbiano compuesto de levaduras, bacilos Gram positivos y cocobacilos Gram negativos presentes en todas las etapas del proceso (Matías *et al.*, 2019). El aguamiel fresco conserva un pH de 6 y, después de ser inoculado y pasadas 6 h, el pulque resultante cuenta con un pH de 4.5 (Escalante *et al.*, 2011).

El aguamiel es fermentado en madera, barro o, comúnmente más utilizado, en plástico para formar pulque. La fermentación puede ser iniciada por microbiota nativa del maguey en un procedimiento similar al usado en una fermentación alimentada (del inglés *fed-batch*), donde se añade aguamiel a la vez que se extrae pulque producido (Valadez *et al.*, 2012). La producción del pulque ocurre en cuartos limpios, con poca exposición a la

luz solar y, según los campesinos, se recomienda mantenerlo a baja temperatura para una buena preservación de la bebida (Álvarez *et al.*, 2020).

De forma tradicional, el inóculo se prepara dejando fermentar 3 L de aguamiel de 48 a 72 h, se mezcla en una proporción 1:2 con aguamiel fresco y se recolecta el sedimento al fondo del recipiente con forma de arenisca; este sedimento sirve para inocular savia fresca que producirá efervescencia y espuma blanca y, después de 3 h, ya puede ser consumido como pulque (Álvarez *et al.*, 2020), aunque el proceso se puede alargar dependiendo de la consistencia y el sabor que se deseen obtener.



Figura 2. Proceso de producción de aguamiel. **(A)** Extracción de aguamiel fresco en *A. salmiana* var. *salmiana*. **(B)** Sedimento tomado como inóculo de pulque en un contenedor de plástico. **(C)** Hervido de aguamiel (Álvarez *et al.*, 2020).

4. Diversidad Microbiológica Asociada al Pulque

Como se mencionó anteriormente, el aguamiel favorece el crecimiento y desarrollo de diversos microorganismos, lo cual se debe a sus grandes cantidades de sacarosa, fructosa, glucosa y fructooligosacáridos según Escalante *et al.* (2011). Asimismo, el aguamiel tiene un pH de 4.5 a 7.5, mientras que el pulque tiene un pH más ácido (de 3.5 a 4.3), una concentración alcohólica de 4 a 6% y una consistencia viscosa, por lo cual se promueve la aparición de microbiota ácida y alcohol tolerantes al final de la fermentación del pulque, además de la producción de bacteriocinas, peróxido de hidrogeno o agua oxigenada (H_2O_2) por bacterias ácido lácticas (BAL) y acetilmetilcarbinol sintetizado por *Zymomonas mobilis*.

Entre la microbiota asociada al aguamiel, se encuentran principalmente *Leuconostoc mesenteroides*, *L. citreum*, *L. kimchii*; las proteobacterias *Acinetobacter radioresistens*,

Erwinia rhapontici, *Enterobacter* spp. (Escalante *et al.*, 2011); otras bacterias como *Citrobacter* spp., *Kluyvera cochleae*, *Lactococcus* spp., *Serratia grimensii*, *Streptococcus devriesei*; y levaduras como *Candida lusitanae* (Gutiérrez *et al.*, 2017), *Kluyveromyces marxianus* var. *bulgaricus* y *Saccharomyces cerevisiae*, incluyendo al mohó *Geotrichum candidum* (Estrada *et al.*, 2001).

Después de la fermentación del pulque y, por lo tanto, cuando se comercializa, se han encontrado las especies bacterianas *Lactobacillus acidophilus*, *L. kefir*, *L. acetotolerans*, *L. hilgardii*, *L. plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Microbacterium arborescens*, *Flavobacterium johnsoniae*, *Acetobacter pomorium*, *Gluconobacter oxydans*, *Z. mobilis*, *Hafnia alvei* (Escalante *et al.*, 2004), *Lactobacillus paracasei*, *L. brevis*, *L. composti*, *L. sanfranciscensis* (Torres *et al.*, 2015), *Leuconostoc citreum*, *L. kimchii*, *Lactococcus lactis* (Campos *et al.*, 2008), *Bacillus pumilus* (González *et al.*, 2017), *Bacillus simplex*, *Cellulomonas* sp., *E. coli* (Lappe *et al.*, 2008), *Kokuria rosea*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus vermiforme*, *Leuconostoc lactis*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Macrococcus caseolyticus*, *Micrococcus luteus*, *Sarcina* spp. (Gutiérrez *et al.*, 2017), *Bifidobacterium lactis*, *B. infantis*, *B. animals* y *B. adolescentis* (Escalante *et al.*, 2016). Por otra parte, también se encuentran un gran número de levaduras como *Cryptococcus* spp., *Candida parapsilosis*, *Clavispora lusitanae*, *Debaryomyces carsonii*, *Hanseniaspora uvarum*, *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Geotrichum candidum*, *Pichia* spp., *Pichia guilliermondii*, *Pichia membranifaciens*, *Rhodotorula* sp., *Rhodotorula mucilaginosa*, *Saccharomyces bayanus*, *S. cerevisiae*, *S. pastorianus*, *Torulaspóra delbrueckii* (Lappe *et al.*, 2008), *Candida valida* y *Debaryomyces carsonii* (Guitierrez *et al.*, 2017).

Las bacterias productoras de ácido láctico como *Leuconostoc* y *Lactobacillus* incrementan la acidez de la bebida junto con las bacterias acéticas del género *Acetobacter* spp. (Matías *et al.*, 2019); las levaduras (*Saccharomyces* y no *Saccharomyces*) producen etanol a partir de glucosa, fructosa y sacarosa, además de sintetizar aminoácidos, vitaminas y compuestos volátiles que le confieren la calidad y el perfil aromático a la bebida (Lappe *et al.*, 2008); y por último, las bacterias productoras de dextranos, como *L. mesenteroides* y *L. kimchii*, le confieren viscosidad (Matías *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2014).

5. Contenido Probiótico del Pulque

Los probióticos son microorganismos no patógenos que, al ser ingeridos en cantidades adecuadas, pueden ejercer una influencia positiva en la salud de su hospedero (Torres *et al.*, 2015). Por esta razón, el pulque puede ser considerado como un producto probiótico debido a la presencia de bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras (Escalante *et al.*, 2011).

El uso de nuevos microorganismos con potencial probiótico requiere de una amplia investigación tanto de sus beneficios como de sus posibles efectos secundarios. Por consiguiente, es importante que las cepas con potencial probiótico para consumo humano se sometan a pruebas *in vitro* (Ruiz *et al.*, 2017), como resistencia a pH bajo, sales biliares (Torres *et al.*, 2015), lisozima y proteasas (Giles *et al.*, 2016), actividad antimicrobiana, sensibilidad a antibióticos (Cervantes *et al.*, 2019) y adhesión al tracto gastrointestinal (Mendoza, 2013). Por otra parte, también deben hacerse pruebas *in vivo*, donde se toman en cuenta un mayor número de variables, como la matriz del alimento, el procesamiento del microorganismo y la interacción con la microbiota intestinal, las cuales se llevan a cabo en modelos animales e incluso en humanos cuando las pruebas son más avanzadas (Ruiz *et al.*, 2017).

Según el trabajo de Mendoza (2013), la levadura *Kluyveromyces marxianus* aislada del pulque presenta actividad antimicrobiana en comparación con *Klebsiella pneumoniae* (Figura 3), además de que es capaz de sobrevivir a una concentración de incluso 0.3% de sales biliares. En otro estudio realizado por Cervantes *et al.* (2019), se reporta que la cepa P24-8 de *Lactobacillus plantarum* tiene una gran tolerancia a la pancreatina, la pepsina y las sales biliares y una actividad antagónica contra *Helicobacter pylori*. Asimismo, la cepa P24-2 de la misma especie demostró tener una fuerte actividad antimicrobiana contra *E. coli*, *S. aureus* y *H. pylori*.

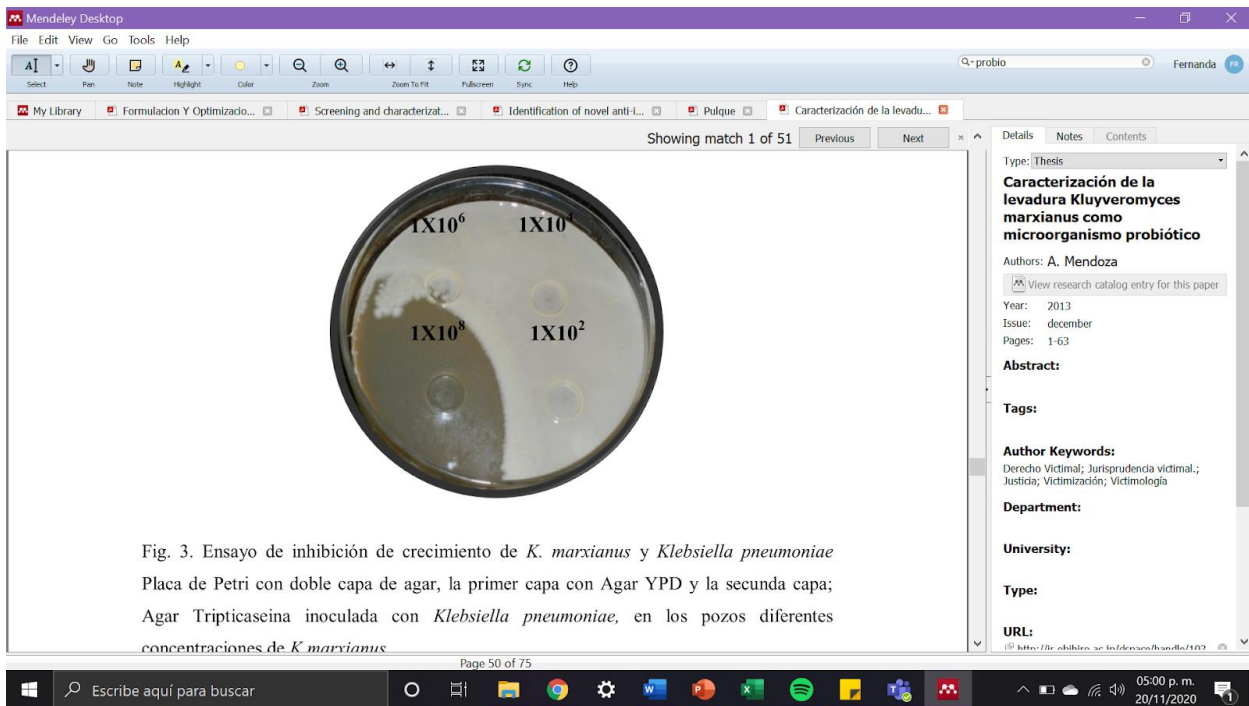


Figura 3. Ensayo de inhibición de crecimiento de *Klebsiella pneumoniae* en pozos a diferentes concentraciones de *K. marxianus* (Mendoza, 2013).

En otro estudio con bacterias del género *Lactobacillus*, se encontró que dichas cepas sobrevivieron por más de 90 minutos a un pH = 2 (Torres *et al.*, 2015) y, en el mismo trabajo, sobresale el aislamiento de *Lactobacillus sanfranciscensis*, que mejoró la salud de ratones con colitis reduciendo su pérdida de peso y permeabilidad intestinal y mejoró la modulación de citocinas, por lo que los autores sugieren que esta cepa es un probiótico potencial para el tratamiento de enfermedades inflamatorias del intestino. En este mismo estudio, *L. composti* mostró una actividad hidrolasa con sales biliares y capacidad antiinflamatoria menor a la de *L. sanfranciscensis*. Además, la bacteria *Lactobacillus casei* J57 aislada del pulque mostró actividad hidrolasa con sales biliares, lo cual está relacionado con efectos de disminución del colesterol (Romero *et al.*, 2017).

Otra cepa reportada con potencial probiótico aislada del pulque es *Leuconostoc mesenteroides* P45 (Giles *et al.*, 2016), que presentó una resistencia alta al pH bajo y las sales biliares, además de inhibir el crecimiento de *Escherichia. coli* enteropatógena, *Listeria. monocytogenes* y *Salmonella enterica* serovar. Typhi y Thyphimurium, como se muestra en la Figura 4 (Ruiz *et al.*, 2017).

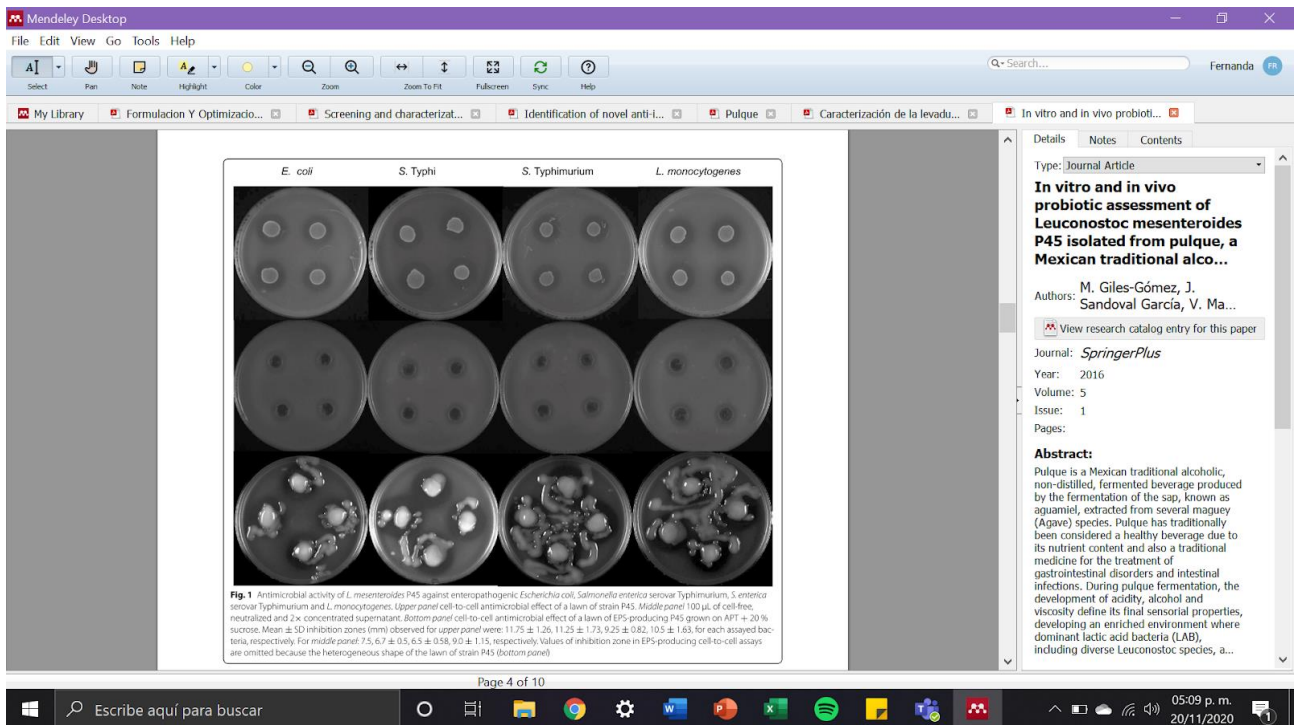


Figura 4. Actividad antimicrobiana a distintas concentraciones de *L. mesenteroides* P45 contra *Escherichia coli* enteropatógena, *Salmonella enterica* serovar. Typhi, *S. enterica* serovar. Typhimurium y *Listeria monocytogenes* (Giles *et al.*, 2016).

Algunas otras BAL presentes en el pulque que han demostrado ser parte de la microbiota intestinal del ser humano son *L. acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*, *B. infantis*, *B. animals* y *B. adolescentis* (Escalante *et al.*, 2016). Asimismo, Escalante *et al.* (2011) afirman que *Z. mobilis* posee actividad antagónica contra bacterias y hongos patógenos.

Tabla 1. Probióticos identificados en el pulque. Elaboración propia.

Probiótico	Referencia
<i>Bifidobacterium adolescentis</i>	Escalante <i>et al.</i> (2016)
<i>B. animals</i>	Escalante <i>et al.</i> (2016)
<i>B. infantis</i>	Escalante <i>et al.</i> (2016)
<i>B. lactis</i>	Escalante <i>et al.</i> (2016)
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Mendoza (2013)
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Escalante <i>et al.</i> (2016)
<i>L. casei</i>	Romero <i>et al.</i> (2017)
<i>L. composti</i>	Torres <i>et al.</i> (2015)
<i>L. plantarum</i>	Cervantes <i>et al.</i> (2019)
<i>L. sanfranciscensis</i>	Torres <i>et al.</i> (2015)
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Giles <i>et al.</i> (2016)
<i>Zymomonas mobilis</i>	Escalante <i>et al.</i> (2011)

6. Aplicación y Potencial Biotecnológico del Pulque

El pulque tiene un uso típico en la cultura mexicana como bebida alcohólica tradicional que conlleva una fermentación de azúcares que ocurre en el agave por medio de los microorganismos que forman parte de la microbiota del maguey. Al ocurrir este proceso donde hay cambios químicos en el sustrato, se incita el desarrollo y el surgimiento de diferentes grupos microbianos como bacterias lácticas, levaduras y bacterias fenólicas, y bacterias productoras de exopolisacáridos (González *et al.*, 2016).

Los microorganismos con características probióticas han captado la atención de la comunidad científica por el valor demostrado en la prevención y solución de algunos problemas de salud (González *et al.*, 2016).

Un claro ejemplo de esto son las cepas seleccionadas de *Lactobacillus sanfranciscensis* en el estudio de Torres *et al.* (2015) que, mediante un modelo de ratón con colitis crónica inducida genera una mejora de salud, reduce la pérdida de peso, disminuye significativamente la permeabilidad intestinal y modula las citocinas de manera eficiente.

Debido a aplicaciones como ésta, los probióticos presentes en el pulque son un punto de partida para la investigación científica y otros campos de estudio en la generación de diversos beneficios potenciales para la salud, por lo cual se busca tener un medio de cultivo optimizado. Según León de la O *et al.* (2013), el medio de cultivo MRS se especializa en el crecimiento de lactobacilos y surge de la necesidad de buscar otras fuentes económicas de materia prima para la producción y el mantenimiento de probióticos, ya que un medio común no es rentable.

Diversos estudios muestran que el pulque es una bebida funcional por el contenido ofrecido por compuestos prebióticos, como los fructooligosacáridos, y por organismos probióticos (Villarreal *et al.*, 2019). Los fructanos o fructooligosacáridos tienen enlaces β -(2-1) que evaden la acción de las enzimas digestivas pero que pueden ser fermentadas por la microbiota, produciendo ácidos grasos de cadena corta, principalmente acetato, propionato, butirato y lactato (Gutiérrez *et al.*, 2017).

Matías *et al.* (2019) afirman que un vaso de pulque curado aporta un total de 330 calorías y es alto en fructosa pero bajo en glucosa, lo cual no está contraindicado en diabéticos. En caso de ser pulque puro, las calorías descienden hasta 80. Asimismo, ellos señalan que la cantidad de oligofruktanos favorecen la digestión y ayudan a prevenir el cáncer de colon. Con base en lo expresado por Alcántara (2020), el pulque es una fuente importante de proteína (6%), vitaminas (riboflavina 24%; niacina 23%; tiamina 10% y vitamina C 48%) y minerales como calcio (8%) y hierro (51%, no asociado con hemoglobina).

En el aguamiel se encuentra una cantidad abundante de *L. kimchii*, que en conjunto con *L. mesenteroides* producen polisacáridos extracelulares (EPS, acrónimo inglés de exoplysaccharides), como se muestra en la Figura 5, que causan la viscosidad del pulque. Estos EPS son productos de importancia económica al usarse como aditivos alimentarios o ingredientes funcionales seguros y naturales debido a sus propiedades funcionales como fibra soluble y prebióticos, e incluso es posible que puedan reemplazar o reducir el uso de hidrocoloides (Torres *et al.*, 2014).

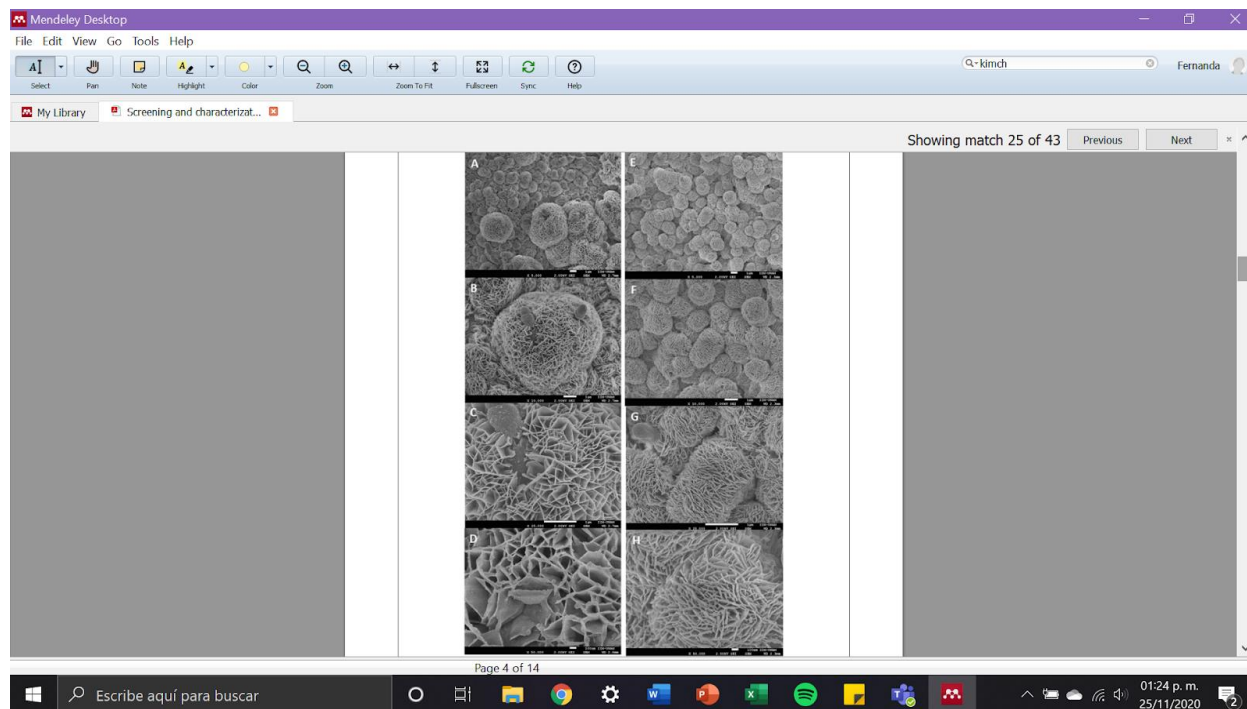


Figura 5. Análisis por microscopía electrónica de barrido de los EPS producidos por *Leuconostoc kimchii*. Los paneles de (A) a (D) corresponden a diferentes campos a 5,000X, 10,000X, 25,000X y 50,000X, respectivamente. Los paneles de (E) a (H) corresponden a diferentes campos a 5,000X, 10,000X, 25,000X y 50,000X, respectivamente (Torres *et al.*, 2014).

7. Conclusión

Desde la época prehispánica hasta la actualidad, el pulque ha sido una bebida reconocida como un símbolo cultural referente a la tradición y la gastronomía mexicanas. Una bebida enaltecida por el cosmos en ceremonias religiosas de las culturas prehispánicas y, luego, utilizada como una estrategia para controlar a los indígenas en la Colonia para, más tarde, ser desprestigiada al considerarla una bebida de bajo estrato social, hoy en día es una fuente de investigación en el campo científico de la biotecnología y la salud alimentaria.

La importancia del pulque no sólo radica en su contenido nutrimental por sus minerales, carbohidratos, vitaminas y aminoácidos, sino también por la amplia diversidad microbiológica encargada de la fermentación del aguamiel. Dentro de esta microbiota existen BAL y levaduras que han sido catalogadas como sustancias probióticas, ya que al ser ingeridas resultan benéficas para la salud humana, y también como sustancias de interés biotecnológico que van desde antagónicos contra patógenos hasta antiinflamatorios e ingredientes alimentarios funcionales, los cuales podrían producirse a escala industrial.

El pulque no sólo es una bebida tradicional fermentada, sino también puede ser considerado un alimento funcional debido a sus propiedades nutritivas.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a sus familias por el constante e incondicional apoyo para su desarrollo académico y al Dr. Enrique González Vergara por su guía para encaminarlos en la divulgación científica.

Referencias

Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J. y Casas, A. (2020). Physical, chemical, and microbiological characteristics of *pulque*: Management of a fermented beverage in Michoacán, Mexico. *Foods*, 9(361), 1-17. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/foods9030361>.

- Campos, I., Escalante, A. y Giles-Gómez, M. (2008). Aislamiento e identificación de bacterias lácticas del pulque con capacidad probiótica.
- Cervantes-Elizarrarás, A., Cruz-Cansino, N. del S., Ramírez-Moreno, E., Vega-Sánchez, V., Velázquez-Guadarrama, N., Zafra-Rojas, Q. Y. y Piloni-Martini, J. (2019). *In vitro* probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from *aguamiel* and *pulque* and antibacterial activity against pathogens. *Applied Sciences* (Switzerland), 9(601), 1-11. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/app9030601>.
- Escalante, A., Elena Rodríguez, M., Martínez, A., López-Munguía, A., Bolívar, F. y 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. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2004.04.045>.
- Escalante, A., Giles-Gómez, M., Esquivel-Flores, G., Matus-Acuña, V., Moreno-Terrazas, R., López-Munguía, A. y Lappe-Oliveras, P. (2011). *Pulque* Fermentation. En *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology* (Segunda Edición), pp. 691-706). Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b12055-50>.
- Escalante, A., López Soto, D. R., Velázquez Gutiérrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F. y López-Munguía, A. (2016). *Pulque*, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects. *Frontiers in Microbiology*, 7(1026), 1-18. Recuperado de: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>.
- Estrada, A., Cruz, A., Lappe, P., Ulloa, M., García, M. y Gómez, L. (2001). Isolation and identification of killer yeasts from *Agave* spp. (*aguamiel*) and *pulque*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17, 557-560. Recuperado de: <https://doi.org/10.1023/A>.
- Giles-Gómez, M., Sandoval García, J. G., Matus, V., Campos Quintana, I., Bolívar, F. y Escalante, A. (2016). *In vitro* and *in vivo* probiotic assessment of *Leuconostoc mesenteroides* P45 isolated from *pulque*, a Mexican traditional alcoholic beverage. *SpringerPlus*, 5(708). Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2370-7>.
- González-Vázquez, R., Azaola-Espinosa, A., Mayorga-Reyes, L., Reyes-Nava, L. A., Shah, N. P. y Rivera-Espinoza, Y. (2015). Isolation, Identification and Partial Characterization of a *Lactobacillus casei* Strain with Bile Salt Hydrolase Activity from *Pulque*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 7(4), 242-248. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s12602-015-9202-x>.
- González-Vázquez, Raquel, Mayorga-Reyes, L., Monroy-López, A., Reyes-Nava, L. A., Rivera-Espinoza, Y. y Azaola-Espinosa, A. (2017). Antibiotic resistance and tolerance to simulated gastrointestinal conditions of eight hemolytic *Bacillus pumilus* isolated from *pulque*, a traditional Mexican beverage. *Food Science and Biotechnology*, 26(2), 447-452. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0061-y>.

- González, F., Vázquez, P., Jáimez, O. y Zúñiga Juárez, M. (2016). Potencial Probiótico de Bacterias Aisladas del Pulque: Una Revisión. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 924-930. Recuperado de: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/10/159.pdf>.
- Gutiérrez-Urbe, J. A., Figueroa, L. M., Martín-del-Campo, S. T. y Escalante, A. (2017a). Pulque. En *Fermented Foods in Health and Disease Prevention* (pp. 543-556). Elsevier Inc. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802309-9.00023-6>.
- Kuligowski, M., López Otero, R., Polanowska, K., Montet, D., Jasińska-Kuligowska, I. y Nowak, J. (2019). Influence of fermentation by different microflora consortia on pulque and pulque bread properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6307-6314. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9907>.
- Lappe-Oliveras, P., Moreno-Terrazas, R., Arrizón-Gaviño, J., Herrera-Suárez, T., García-Mendoza, A. y Gschaedler-Mathis, A. (2008). Yeasts associated with the production of Mexican alcoholic non-distilled and distilled Agave beverages. *FEMS Yeast Research*, 8, 1037-1052. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00430.x>.
- León de la O, D. I., Calderón, B., Martínez, A., Sánchez, E. y Zulato, A. (2013). Formulación y Optimización de un Medio de Cultivo Económico para *Lactobacillus* con potencial probiótico aislado del pulque. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*, 12, 133-144. Recuperado de: <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwicouzo6o7SAhXI7YMKHfn-DGgQFggbMAA&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4745491.pdf&usq=AFQjCNHx0TaliTPzrA5NjUo8qwqAc9BELA&sig2=kEHhXiYtC>.
- Matías Luis, G., Peña Caballero, V., González, W., Domínguez Díaz, R. y Martínez Hernández, J. J. (2019). Valor nutricional y medicinal del pulque. *Journal of Negative and No Positive Results*, 4(12), 1291-1303. Recuperado de: <https://doi.org/10.19230/jonnpr.3148>.
- Mendoza, A. S. (2013). Caracterización de la levadura *Kluyveromyces marxianus* como microorganismo probiótico. (Ejemplar de diciembre). Recuperado de: <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>.
- Romero-Luna, H. E., Hernández-Sánchez, H. y Dávila-Ortiz, G. (2017). Traditional fermented beverages from Mexico as a potential probiotic source. *Annals of Microbiology*, 67(9), 577-586. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1290-2>.
- Ruiz, Y., Guadarrama, P. y Valadez-Blanco, R. (2017). Pulque: fuente de probióticos y péptidos antimicrobianos. *BioTecnología*, 21(3), 37-57.
- Torres-Maravilla, E., Lenoir, M., Mayorga-Reyes, L., Allain, T., Sokol, H., Langella, P., Sánchez-Pardo, M. E. y Bermúdez-Humarán, L. G. (2015). Identification of novel anti-inflammatory probiotic strains isolated from pulque. *Applied Microbiology and*

Biotechnology, 100(1), 385-396. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7049-4>.

Torres-Rodríguez, I., Rodríguez-Alegría, M. E., Miranda-Molina, A., Giles-Gómez, M., Conca Morales, R., López-Munguía, A., Bolívar, F. y Escalante, A. (2014). Screening and characterization of extracellular polysaccharides produced by *Leuconostoc kimchii* isolated from traditional fermented *pulque* beverage. *Springer Plus*, 3(583), 1-14. Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-583>.

Valadez-Blanco, R., Bravo-Villa, G., Santos-Sánchez, N. F., Velasco-Almendarez, S. I. y Montville, T. J. (2012). The Artisanal Production of *Pulque*, a Traditional Beverage of the Mexican Highlands. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 4, 140-144. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s12602-012-9096-9>.

Villarreal Morales, S. L., Enríquez Salazar, M. I., Michel Michel, M. R., Flores Gallegos, A. C., Montañez-Saens, J., Aguilar, C. N. y Herrera, R. R. (2019). Metagenomic Microbial Diversity in Aguamiel from Two Agave Species during 4-Year Seasons. *Food Biotechnology*, 33(1), 1-16. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/08905436.2018.1547200>.