



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Caracterización química y microbiológica del pulque producido en
Boyé, Cadereyta, Querétaro
(Tesis Individual)

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en Biología

Presenta:

Karen Guadalupe Manríquez Rodríguez

Dirigido por:

Dra. Rosalinda González Santos

Dra. Rosalinda González Santos

Presidente

Firma

Dra. Dalia Elizabeth Miranda Castilleja

Secretario

Firma

Dra. Sofía María Arvizu-Medrano

Vocal

Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Vocal

Firma

M. en C. Kruskaia Karenia Caltzontzin Fernández

Vocal

Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio, 2026
México

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Resumen

La principal actividad económica de Boyé, Cadereyta, es la elaboración y comercialización del pulque y la barbacoa. No obstante, a la fecha no se ha documentado el proceso para la elaboración y la composición química y microbiológica del pulque de esta región. El objetivo del presente trabajo fue documentar el proceso de elaboración, así como la composición química y microbiológica del pulque para caracterizar el pulque de Boyé e identificar si hay diferencias entre productores. Se aplicó una entrevista semiestructurada a cinco agricultores cooperantes; se tomaron 26 muestras de aguamiel y 25 de pulque, para determinar los grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$), pH, acidez total titulable (ATT) y contenido de alcohol. Para el análisis microbiológico se cuantificaron levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y coliformes totales en medios APD, MRS y ABRV. Los cinco agricultores usan cuatro variedades de *Agave* para elaborar pulque, sin embargo, prefieren las variedades “xa’mini” (*Agave salmiana* Otto ex Salm var. *ferox* (Koch) Gentry) y “chalqueño” (*Agave salmiana* Otto ex Salm). Además, para su elaboración usan materiales de plástico y para cubrir el maguey emplean pencas, plástico y piedras. Tienen asignado un espacio específico dentro de sus casas para el pulque, espacios que están contruidos con diferentes materiales como concreto y láminas. En aguamiel de la variedad “xa’mini” se obtuvieron de 9.30 a 13.1 $^{\circ}\text{Bx}$, de 5.10 a 6.34 en pH y de 0.1 a 2.01 g/L ácido láctico en ATT. En aguamiel de la variedad “chalqueño” se obtuvieron de 9.05 a 12.70 $^{\circ}\text{Bx}$, de 5.29 a 6.72 en pH y de 0.39 a 1.59 g/L ácido láctico en ATT. Por su parte, los pulques obtuvieron valores desde 3.96 hasta 6.37 $^{\circ}\text{Bx}$, de 3.03 hasta 4.06 en pH, de 3.44 a 10.13 g/L ácido láctico en ATT y, de 2.67 a 5.20 % de alcohol. En la cuantificación de levaduras, el aguamiel de la variedad “xa’mini” presentó en promedio 5.66 Log UFC/mL, 6.74 Log UFC/mL de BAL y 3.08 Log UFC/mL de coliformes totales. Mientras que, en aguamiel de “chalqueño” se obtuvieron en promedio 5.64 Log UFC/mL de levaduras, 6.34 Log UFC/mL de BAL y 3.14 Log UFC/mL de coliformes totales. Del mismo modo, el pulque en promedio presentó 6.78 Log UFC/mL de levaduras, 6.43 Log UFC/mL de BAL y 1.51 Log UFC/mL de coliformes totales. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el pulque de los cinco agricultores en $^{\circ}\text{Bx}$ y porcentaje de alcohol. En la composición microbiológica no se encontraron diferencias estadísticas significativas, lo cual puede deberse a diferencias mínimas en el proceso de elaboración.

Palabras clave: *Agave*, $^{\circ}\text{Brix}$, etanol, bacterias, levaduras.

SUMMARY

The main economic activity in Boyé, Cadereyta, is the production and commercialization of pulque and barbacoa. However, the production process and the chemical and microbiological composition of pulque from this region have not yet been documented. The objective of this study was to document the production process, as well as the chemical and microbiological composition of pulque, in order to characterize the pulque from Boyé and identify any differences among producers. Semi-structured interviews were conducted with five cooperating farmers; 26 aguamiel samples and 25 pulque samples were sampled to determine Brix degrees (°Bx), pH, total titratable acidity (TTA), and alcohol content. For the microbiological analysis, yeasts, lactic acid bacteria (LAB), and total coliforms were quantified using APD, MRS, and ABRV culture media. Out of several *Agave* varieties, the five farmers use four varieties of *Agave* to make pulque; however, they prefer the “xa’mini” (*Agave salmiana* Otto ex Salm var. *ferox* (Koch) Gentry) and “chalqueño” (*Agave salmiana* Otto ex Salm) varieties. They use plastic materials in their production process and cover the *Agave* plants with leaves, plastic, and stones. They have designed a specific area within their homes for the pulque production, spaces constructed with various materials such as concrete and sheet metal. Aguamiel from the “xa’mini” variety exhibited values ranging from 9.30 to 13.1 °Bx, pH values from 5.10 to 6.34, and lactic acid concentrations from 0.1 to 2.01 g/L TTA. Aguamiel from the “chalqueño” variety showed values ranging from 9.05 to 12.70 °Bx, pH values from 5.29 to 6.72, and lactic acid concentrations from 0.39 to 1.59 g/L TTA. Pulque samples exhibited values ranging from 3.96 to 6.37 °Bx, pH values from 3.03 to 4.06, lactic acid concentrations from 3.44 to 10.13 g/L, and alcohol contents ranging from 2.67 % to 5.20 %. In the yeast quantification, the aguamiel from the “xa’mini” variety contained average populations of 5.66 Log CFU/mL, 6.74 Log CFU/mL of LAB, and 3.08 Log CFU/mL of total coliforms. Meanwhile, aguamiel from the “chalqueño” variety contained average populations of 5.64 Log CFU/mL of yeasts, 6.34 Log CFU/mL of LAB, and 3.14 Log CFU/mL of total coliforms. Pulque samples presented average populations of 6.78 Log CFU/mL of yeasts, 6.43 Log CFU/mL of LAB, and 1.51 Log CFU/mL of total coliforms. Statistically significant differences were found between the pulque from the five farmers in °Bx and alcohol percentage. No statistically significant differences were found in the microbiological composition, which may be due to minimal differences in the production process.

KEY WORDS: *Agave*, ° Brix, ethanol, bacteria, yeasts.

Dedicatorias

Gracias a Dios.

A mis papás y mis hermanos, porque gracias a su esfuerzo me brindaron la oportunidad de disfrutar la biología, gracias por su cariño y curiosidad en lo que hago. Este logro no me pertenece solamente a mí, es el fruto de sus sacrificios.

A Emmanuel Jiménez, por su amor y su paciencia, por ser mi refugio y celebrar mis éxitos. Su confianza ha sido la fortaleza para culminar este proyecto.

A mis biólogos favoritos: Sandy, Anita, Ulises, Jorge y Josselyn. Porque estar en biología con ustedes fue increíble.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Facultad de Ciencias Naturales por mi formación académica. Al Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación, Vinculación y Extensión (FONFIVE-UAQ-2025) “Agricultores de Boyé, Cadereyta e investigadores – UAQ en vinculación para la conservación y aprovechamiento sustentable de maguey pulquero” por los recursos financiados y la beca para realizar la presente investigación.

Agradecimiento especial a los agricultores de Boyé (Alfonso Reséndiz Reséndiz, Jorge Guerrero Quintanar, Óscar Sánchez Morán, Rafael Hernández Reséndiz y Cindy Cortés Rojo) por su gran colaboración y entusiasta participación a lo largo de la investigación, por todas las atenciones que recibí en los días de muestreo y por permitirme estar en sus maravillosos magueyales.

A la Dra. Rosalinda González, por la confianza, por su acompañamiento, por la paciencia y enseñanza a lo largo de la tesis. Al Dr. Luis Hernández por sus valiosos comentarios y apoyo en la identificación de magueyes, a la M. en C. Kruskaia Caltzontzin por formar parte del comité de tesis.

A la Facultad de Química y al laboratorio de fermentaciones por abrirme las puertas para el análisis de las muestras y por su recibimiento tan cálido. A la Dra. Sofía Arvizu por sus importantes aportaciones y acertados comentarios para perfeccionar el presente trabajo. A la Dra. Dalia Miranda por su disposición, paciencia y apoyo dedicado para guiarme en laboratorio y en la revisión del trabajo. A los chicos del servicio social, Rosy, Diego y Kim, por toda su ayuda y acompañamiento.

Contenido

Resumen

1. Antecedentes	10
1.1 Generalidades del <i>Agave</i>	10
1.2 Usos de los magueyes en México e importancia biocultural.....	10
1.3 Historia del pulque en México.....	11
1.4 La elaboración del pulque	13
1.5 Composición química del aguamiel y pulque.....	13
1.6 Diversidad microbiológica del aguamiel y el pulque.....	18
2. Hipótesis	22
3. Objetivos	22
3.1 Objetivo general.....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4. Materiales y métodos	23
4.1 Área de estudio.....	23
4.2 Proceso de obtención del aguamiel y elaboración del pulque.....	24
4.3 Obtención de muestras de aguamiel y pulque.....	24
4.4 Análisis químico de aguamiel y pulque.....	25
4.5 Análisis microbiológico de aguamiel y pulque.....	26
4.6 Análisis estadístico.....	27
5. Resultados	28
5.1 Documentación de la extracción de aguamiel y la elaboración de pulque.....	28
5.2 Lugar de elaboración del pulque.....	34
5.3 Caracterización organoléptica de pulque.....	36
5.4 Comercialización de pulque.....	37
5.5 Composición química del aguamiel de las variedades de maguey de Boyé, Cadereyta.....	38
5.6 Composición química del aguamiel por agricultor.....	39
5.7 Características química del pulque de Boyé, Cadereyta.....	41
5.8 Composición química del pulque por agricultor.....	42
5.9 Caracterización química de aguamiel y pulque por periodo de tiempo.....	44
5.10 Caracterización microbiológica del aguamiel de las variedades de maguey de Boyé, Cadereyta.....	47
5.11 Caracterización microbiológica del aguamiel por agricultor.....	48

5.12 Caracterización microbiológica del pulque de Boyé, Cadereyta.....	51
5.13 Caracterización microbiológica del pulque por agricultor.....	52
5.14 Caracterización microbiológica de aguamiel y pulque por periodo de tiempo.....	54
6. Discusión.....	58
6.1 Proceso de extracción de aguamiel y elaboración de pulque.....	58
6.2 Composición química del aguamiel y pulque de Boyé, Cadereyta.....	60
6.3 Composición microbiológica del aguamiel y pulque de Boyé, Cadereyta.....	64
6.4 Composición química y microbiológica del aguamiel y pulque en función del proceso de elaboración.....	68
7. Conclusiones.....	71
8. Recomendaciones.....	72
9. Literatura citada.....	73

Índice de cuadros

Cuadro 1. Comparación de los resultados de diversos parámetros químicos en estudios de otras regiones productoras de aguamiel y pulque.....	16
Cuadro 2. Características fisicoquímicas de aguamiel en variedades de <i>Agave</i> : manso, cenizo y amarillo.....	17
Cuadro 3. Comparación de la composición microbiológica en pulque y aguamiel de diferentes regiones.....	20
Cuadro 4. Comparación del proceso de obtención del aguamiel y producción del pulque de los cinco agricultores del estudio en Boyé, Cadereyta.....	35
Cuadro 5. Apreciación gustativa de acuerdo a la estación del año según los cinco agricultores cooperantes de Boyé, Cadereyta.....	36
Cuadro 6. Contenido químico del pulque de Boyé, Cadereyta y límites legales basados en la Norma Mexicana NMX-V-037 “Pulque manejado a granel”. DGN-V-37-1972.....	42
Cuadro 7. Cifras de levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y coliformes totales para la carga microbiológica del pulque listo para consumo de diferentes agricultores de Boyé, Cadereyta.....	53

Índice de figuras

Figura 1. Localización de Boyé.....	23
Figura 2. Especies y variedades de <i>Agave</i> empleadas para la elaboración del pulque en Boyé, Cadereyta.....	28
Figura 3. Morfología de las espigas de magueyes.....	29
Figura 4. Proceso del raspado del maguey.....	30
Figura 5. Material que se utiliza para elaboración de pulque en Boyé, Cadereyta.....	31
Figura 6. Fermentación del pulque.....	33
Figura 7. Aguamiel y pulque.....	34
Figura 8. Pulque en jarro de barro y aguamiel en jarra de vidrio.....	37
Figura 9. Contenido químico en aguamiel de las diferentes variedades de <i>Agave</i> que utilizan para la elaboración del pulque en Boyé, Cadereyta.....	38
Figura 10. Contenido químico de aguamiel de <i>Agave salmiana</i> var. <i>ferox</i> (“xa’mini”).....	39
Figura 11. Contenido químico de aguamiel de <i>Agave salmiana</i> (“chalqueño”).....	40
Figura 12. Caracterización química de pulque producido en Boyé, Cadereyta.....	41
Figura 13. Características químicas del aguamiel de <i>Agave salmiana</i> var. <i>ferox</i> (“xa’mini”) en diferentes periodos del año.....	44
Figura 14. Características químicas del aguamiel de <i>Agave salmiana</i> (“chalqueño”) en diferentes periodos del año.....	45
Figura 15. Características químicas del pulque de Boyé, Cadereyta, en diferentes periodos del año.....	47
Figura 16. Composición microbiológica en aguamiel de las diferentes variedades de <i>Agave</i> que utilizan para la elaboración del pulque en Boyé, Cadereyta.....	48
Figura 17. Contenido químico de aguamiel de <i>Agave salmiana</i> var. <i>ferox</i> (“xa’mini”).....	49
Figura 18. Caracterización microbiológica de aguamiel de <i>Agave salmiana</i> (“chalqueño”).....	50
Figura 19. Caracterización microbiológica del pulque de Boyé, Cadereyta.....	51
Figura 20. Medios de cultivo.....	53
Figura 21. Caracterización microbiológica de aguamiel de <i>Agave salmiana</i> var. <i>ferox</i> (“xa’mini”) en diferentes periodos del año.....	54
Figura 22. Caracterización microbiológica de aguamiel de <i>Agave salmiana</i> (“chalqueño”) en diferentes periodos del año.....	55
Figura 23. Caracterización microbiológica de pulque en diferentes periodos del año.....	56

1. Antecedentes

1.1 Generalidades del *Agave*

El género *Agave s.s.*, comúnmente llamado maguey, pertenece a la familia Asparagaceae, y es endémico del continente americano. Se distribuye desde el sur de los Estados Unidos (con dos especies disyuntas en Florida) hasta Colombia y Venezuela. México es el centro de origen y diversidad del *Agave*. Se tiene el registro de 210 especies en total, considerando las categorías intraespecíficas, de las cuales, 159 son endémicas de México, lo que constituye el 70 % del número total de especies a nivel mundial (García-Mendoza, 2007; Fregoso-Zamorano *et al.*, 2023; Vega Zamorano, 2024). Los magueyes se distribuyen en las zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país, principalmente en las provincias florísticas de Sierra Madre Occidental, Altiplano mexicano, Península de Baja California y Sierra Madre Oriental (González Álvarez, 2005). La región de México con mayor número de especies es el Valle de Tehuacán-Cuicatlán con 15 especies y ocho de ellas son endémicas (García-Mendoza, 2002). En el Estado de Querétaro se determina un total de 26 especies pertenecientes al género *Agave*, con Cadereyta como el municipio con la mayor cantidad, con un total de 17 especies, de acuerdo con Magallán Hernández y Hernández-Sandoval (2000).

1.2 Usos de los magueyes en México e importancia biocultural

En México los magueyes son plantas de gran importancia cultural, ecológica y económica, son parte de la identidad nacional. Los magueyes han sido relevantes para los pueblos mesoamericanos debido a los diversos usos que se les han dado desde hace al menos 11 mil años, por esta razón muchos de ellos han llegado a la domesticación y en la actualidad tienen varios usos (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017; Álvarez-Ríos *et al.*, 2020b). Anteriormente, las púas del maguey se utilizaron para coser o pincharse como sacrificio hasta que brotara la sangre que ofrendaban a los dioses. Las pencas eran utilizadas como tejas para el techo y leña. La fibra

de la penca (ixtle) se utilizaba para elaborar jabones, estropajos, cuerdas y papel para los códices. Sin embargo, en la actualidad estos usos han disminuido significativamente (Erlwein *et al.*, 2013).

No obstante, diversas especies de *Agave* son empleadas para la elaboración de alimentos (como barbacoa, pan de pulque, atole, vinagre y miel de aguamiel), aún en la actualidad las flores son comestibles e incluso plagas asociadas al maguey, como algunas larvas de insectos que se consumen como alimento, forraje para el ganado, medicina humana y veterinaria, material de construcción, fabricación de fibras vegetales, construcción de cercos vivos, ornamental, biocombustible, elaboración de papel, fabricación de artesanías y producción de bebidas destiladas como el tequila o el mezcal y bebidas fermentadas como el pulque. Por lo tanto, el maguey es considerado como un recurso económico importante en el país (Aguilar Juárez *et al.*, 2014; Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017; Nopala Timoteo, 2023; Vega Zamorano, 2024).

1.3 Historia del pulque en México

Del maguey se obtiene una de las bebidas fermentadas no destiladas llamada “pulque”, esta palabra proviene del náhuatl “polihqui” que significa descompuesto. Durante la Conquista de México, los españoles debieron escuchar este término y confundieron el nombre originando la palabra pulque que utilizamos en la actualidad (Trejo *et al.*, 2020; Islas-Moreno *et al.*, 2021).

El pulque es una bebida alcohólica que se obtiene de la savia (aguamiel) del maguey, y es considerada la bebida prehispánica más emblemática e icónica de México (Trejo *et al.*, 2020).

Es una bebida que ha sido empleada desde la cultura azteca (1325-1521) por dioses y sacerdotes durante rituales religiosos y sagrados (Escalante *et al.*, 2016). Originalmente, los aztecas consideraban esta bebida como sagrada y la ofrecían a Mayahuel, la diosa del pulque. Tras el fin del imperio azteca, el pulque dejó de ser parte de las ceremonias religiosas para

transformarse en un ícono de la cultura tradicional, siendo reconocido hoy como la bebida nacional mexicana (Ulloa *et al.*, 1987).

También se han encontrado registros arqueológicos que demuestran su uso en tratamientos de lavado de colon, y contra enfermedades del tracto digestivo (Rodríguez Juárez, 2021). Durante la Colonia Española (1521-1821), la producción de pulque fue tan alta y de las principales actividades económicas, que resultó en la construcción de haciendas pulqueras (fincas dedicadas al cultivo de *Agave*, producción y comercialización de pulque) (Escalante *et al.*, 2016). La producción y consumo se mantuvo alta durante mucho tiempo, ya que, para principios del siglo XX, la producción de pulque alcanzó alrededor de 500 millones de litros/año. Para el año 1905, se estima que se consumían 350,000 litros de pulque sólo en la Ciudad de México (Escalante *et al.*, 2016).

En el siglo XIX la zona que abarca los estados de Hidalgo, Puebla, Morelos, Distrito Federal, Tlaxcala y Estado de México fue la región productora de pulque más importante del país, ya que contaba con 250 mil hectáreas, y aproximadamente 206 millones de plantas de maguey (Álvarez-Duarte, 2018; Lozano Hernández, 2023). Sin embargo, para 1910 al inicio de la Revolución Mexicana, la reforma agraria encaminó una reducción en la producción de pulque, debido a la redistribución de tierras, la sobreexplotación del maguey y sobre todo la competencia de otras bebidas alcohólicas como la cerveza (Trejo *et al.*, 2020). De igual manera, en el periodo de 1940 a 2012 en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Estado de México, la superficie sembrada de maguey pulquero se redujo en un 80 a 95 %, así como la eliminación de los establecimientos de venta de pulque, debido a la baja demanda de la bebida (Aguilar Juárez *et al.*, 2014).

A pesar de los desafíos históricos, el pulque ha vuelto a ganar popularidad en los últimos años gracias a que los agricultores locales se han empeñado no sólo en la producción, sino también en la difusión de su importancia, ya que es una bebida nutritiva, rica en carbohidratos, minerales, vitaminas y aminoácidos. Además, contiene microorganismos que favorecen la

salud intestinal (Trejo *et al.*, 2020). Actualmente, se produce en 20 estados del país, con más de 41 especies de *Agave* utilizadas para su elaboración, las más comunes son *A. americana* L., *A. salmiana* Otto ex Salm., *A. mapisaga* Trel., *A. atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck var. *mirabilis* (Trel.) Gentry, *A. hookeri* Jacobi, *A. inaequidens* K. Koch. y *A. marmorata* Roezl, entre otras (Anexo 1) (Trejo *et al.*, 2020; Vega-García *et al.*, 2023; Vega Zamorano, 2024).

Existe una normativa que establece los parámetros de calidad para el pulque, es la NMX-V-022-1972, titulada: Bebidas alcohólicas, pulque común y pulque curado. La norma define qué criterios debe considerar un pulque apto para consumo humano desde una perspectiva físico-química. La Norma establece los límites recomendados de alcohol en volumen, acidez total para controlar los niveles de ácidos y evitar que el producto esté excesivamente fermentado, además, determina los sólidos disueltos y los azúcares reductores que le dan consistencia (SECOFI, 1972).

1.4 La elaboración del pulque

El pulque es obtenido a partir de la fermentación de la savia (aguamiel) de diferentes especies de *Agave*, dicha fermentación es llevada a cabo por microorganismos como levaduras *Saccharomyces* spp. y BAL como *Lactobacillus* y *Leuconostoc*. Estos microorganismos convierten los azúcares del aguamiel en ácido láctico y etanol, este último puede ir del 2 al 7 % (v/v) (Matías Luis *et al.*, 2019; Medina-Mendoza *et al.*, 2022).

En general, la elaboración del pulque consta de las siguientes etapas descritas por Erlwein *et al.* (2013); selección de la planta, capar, picar y raspar el maguey para obtener su savia (aguamiel) y finalmente llevar a fermentarlo para obtener el pulque. Cada agricultor tendrá su propia técnica, así como las herramientas utilizadas durante el proceso de elaboración. El cultivo del maguey y las prácticas llevadas a cabo para elaborar el pulque han permanecido a

través del tiempo. Sin embargo, las herramientas utilizadas por los tlachiqueros (personas que raspan el maguey) se han modificado en los últimos años. En un estudio elaborado en regiones de Puebla y Tlaxcala, de 26 tlachiqueros, el 64 % utiliza herramientas como el acocote de guaje, fruto de *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. para extraer por succión el aguamiel del centro del maguey, el 33 % usan el acocote de madera y el resto utiliza el acocote de fibra de vidrio o botella de refresco de tres litros con una manguera de plástico (Álvarez-Duarte, 2018).

El proceso de elaboración tiene variaciones en cuanto a materiales utilizados, temperatura y tiempo de fermentación. De acuerdo con Escalante *et al.* (2016), la fermentación se lleva a cabo en recipientes hechos de cuero de vaca, fibra de vidrio, plástico o barriles de madera, ubicados ya sea en cuartos cerrados conocidos como tinacal o en espacios abiertos específicos. El tiempo de fermentación varía dependiendo de la calidad del aguamiel, la madurez de la semilla (pulque previamente fermentado durante un largo periodo de tiempo, que actúa como inóculo para acelerar la fermentación), la temporada y la región productora. Así mismo, el volumen extraído de aguamiel de un maguey se verá influenciado por agentes ambientales como los nutrientes en el suelo, disponibilidad de agua y madurez de la planta (Nopala Timoteo, 2023). El sabor, olor, textura y graduación alcohólica del pulque dependen de la especie de *Agave*, las condiciones ambientales, el tipo de fermentación, las técnicas, las herramientas utilizadas en el proceso y la microbiota asociada. Por esto mismo, no existe un solo tipo de pulque sino una gran diversidad de pulques en México (Álvarez Ríos, 2015).

1.5 Composición química del aguamiel y pulque

Se ha determinado que cada 100 g de pulque contienen: 4.60 mg de vitamina C y 0.29 mg de vitamina B₂. Además, de un alto contenido de aminoácidos, enzimas y minerales: hierro, fósforo, tiamina, riboflavina, calcio y niacina (Matías Luis *et al.*, 2019). Por su parte, dentro de los componentes del aguamiel se encuentra: fibra cruda, proteínas, minerales (N, Ca, P, Mg,

Fe, Zn, Cu y B), carbohidratos como azúcares (sacarosa, fructosa, glucosa) y fructooligosacáridos (inulina) (Medina-Mendoza *et al.*, 2022).

Un estudio sobre los beneficios nutricionales del pulque en la población indígena otomí del Valle del Mezquital, Hidalgo, concluye que el pulque es el segundo alimento más importante de la región, después de la tortilla, destacando el contenido de vitamina C, proteínas, calorías, aminoácidos, calcio y hierro que se aporta al consumir pulque (Medina-Mendoza *et al.*, 2022).

Rocha-Arriaga *et al.* (2020) analizaron las características químicas del aguamiel y el pulque recolectados en localidades productoras del estado de Hidalgo: Epazoyucan, Tepeapulco y Zempoala. Encontrando en el aguamiel un pH promedio de 4.83, proteínas de 3.70 g/L, azúcares reducidos directos de 23.7 g/L y cenizas de 3.76 g/L. El pulque mostró un pH ligeramente bajo de 4.07, junto con una disminución en los valores de proteínas (3.26 g/L), azúcares reducidos directos (0.93 g/L) y cenizas (2.3 g/L) (Cuadro 1). Estos resultados evidencian los cambios químicos que ocurren durante el proceso de fermentación. En el pulque de San Simón Tlatlahuquitepec, Tlaxcala, Cervantes-Contreras y Pedroza-Rodríguez (2007), mencionan que el contenido de etanol en aguamiel es 0.26 % (v/v), de azúcares 25 g/L y proteínas 3.7 g/L. No obstante, en pulque tras 24 horas de fermentación el contenido de etanol fue de 6.34 %, así como 12 g/L de azúcares y 2.5 g/L de proteínas. En pulque tras 48 horas de fermentación contenía 10.35 % de etanol, 4.76 g/L de azúcares reductores y 1 g/L de proteína (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de los resultados de diversos parámetros químicos en estudios de otras regiones productoras de aguamiel y pulque.

Estudio	Región	Pulque / Aguamiel	Parámetros analizados				
			pH	Azúcares g/L	Proteínas g/L	Etanol %	Cenizas g/100 mL
Cervantes- Contreras y Pedroza- Rodríguez (2007)	San Simón Tlatlahuquitepec, Tlaxcala	Aguamiel	NA	25	3.7	0.26	NA
		Pulque	NA	12	2.5	6.34	NA
		24 horas* Pulque	NA	4.76	1	10.35	NA
Flores- Morales <i>et al.</i> (2008)	Tlaxcala	Aguamiel	6.3	NA	3.41	NA	0.53
		Pulque	4.3	NA	NA	NA	NA
Valadez- Blanco <i>et al.</i> (2012)	Tamazulapan, Oaxaca	Aguamiel	4.3	NA	NA	NA	NA
Valadez- Blanco <i>et al.</i> (2012)	Tamazulapan, Oaxaca	Pulque	3.7	NA	NA	NA	NA
Rocha- Arriaga <i>et al.</i> (2020)	Hidalgo	1 semana* Pulque	3.7	NA	NA	NA	NA
		Aguamiel	4.83	23.7	3.70	NA	3.76
Medina Mendoza <i>et al.</i> (2022)	Alto Mezquital, Hidalgo	Pulque	4.07	0.93	3.26	NA	2.3
		24 horas* Pulque	4.01	NA	0.33	4.5	0.36
Medina Mendoza <i>et al.</i> (2022)	Alto Mezquital, Hidalgo	Aguamiel	6.8	NA	1.18	0.1	0.24
Flores- Rodríguez y Miranda- López, (2023)	Comonfort, Guanajuato	Pulque	4.12	NA	NA	2.4	NA
Flores- Rodríguez y Miranda- López, (2023)	Tarimoro, Guanajuato	Pulque	3.68	NA	NA	4.7	NA

Estudio	Región	Pulque / Aguamiel	Parámetros analizados				
			pH	Azúcares g/L	Proteínas g/L	Etanol %	Cenizas g/100 mL
Flores-Rodríguez y Miranda-López, (2023)	Valle de Santiago, Guanajuato	Pulque	3.14	NA	NA	1.96	NA
Verduzco Tornel, (2024)	Boyé, Charco Frío, El Marqués, Querétaro	Aguamiel	4.70-8.15	NA	NA	NA	NA
Verduzco Tornel, (2024).	Boyé, Charco Frío, El Marqués, Querétaro	Pulque comercial	3.5 - 4.25	NA	NA	1.07 - 2.21	NA

NA no analizado. *tiempo de fermentación.

De acuerdo con Flores-Morales *et al.* (2008), las características fisicoquímicas del aguamiel de tres diferentes variedades de maguey empleadas en Huamantla, Tlaxcala, se muestran en el Cuadro 2, donde se observa que sí existen diferencias en la composición química del aguamiel de estas variedades, en el caso del aguamiel de maguey amarillo es el que presenta un mayor porcentaje de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$), mientras que el aguamiel de maguey manso presenta mayor proteína.

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de aguamiel en variedades de *Agave*: manso, cenizo y amarillo.

Parámetro	Variedades de <i>Agave</i>		
	Manso	Cenizo	Amarillo
Cenizas (g)	0.53	0.41	0.43
pH	6.3	6.4	6.6
Sólidos solubles ($^{\circ}\text{Bx}$)	11.43	11.01	12.66
Densidad (g/L)	1.29	1.26	1.23
Acidez (%)	1.64	1.41	1.46
Proteínas (mg/L)	3.40	3.10	2.49
Azúcares reductores (g/L)	1.63	1.97	1.06
Fructosa (mg/L)	4.70	4.92	4.5

Fuente: Flores-Morales *et al.* (2008).

Además, se han encontrado propiedades nutricionales en el aguamiel, como minerales (potasio), vitaminas (ácido ascórbico) y aminoácidos (ácido glutámico), siendo estos los principales presentes en aguamiel de *A. atrovirens* (Romero-López *et al.*, 2015). La dosis dietética recomendada de potasio es de 3510 mg/día, mientras que la de calcio y sodio es de 1000 mg/día y 2400 mg/día, respectivamente. El aguamiel aporta el 3.43 % de potasio, el 1.17 % de calcio y el 0.03 % de sodio de las dosis diarias recomendadas por la OMS y la FAO. Por lo tanto, el aguamiel puede ser una fuente importante de estos minerales como complemento alimenticio (Romero-López *et al.*, 2015).

1.6 Diversidad microbiológica del aguamiel y el pulque

El aguamiel y el pulque tienen actividad prebiótica por su alto contenido de fructanos, los cuales al no ser digeridos en el estómago se acumulan en el colon, en donde promueven el desarrollo de BAL y levaduras, por esta razón, el pulque puede ser considerado como un producto prebiótico (sustrato utilizado por microorganismos del huésped que confieren beneficios para la salud del hospedero) (Herrera Solórzano, 2008; Rodríguez Juárez, 2021). Los microorganismos involucrados en la producción de pulque tienen potencial como transportadores de azúcar, enzimas hidrolíticas, productores de ácido láctico o de etanol, los cuales pueden ser aislados de esta bebida (Medina-Mendoza *et al.*, 2022). Además, la microbiota asociada a los alimentos puede mejorar el valor nutricional como vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales (Mengesha *et al.*, 2022). Las BAL desarrollan un papel fundamental en el proceso de fermentación, ya que son empleadas en la industria alimentaria por su capacidad para acidificar, preservar alimentos y también están implicadas en la textura, sabor y olor de los alimentos fermentados (Parra Huertas, 2010).

Cervantes-Contreras y Pedroza-Rodríguez (2007) elaboraron en San Simón Tlatlahuquitepec, Tlaxcala, un estudio microbiológico en Agar Papa Dextrosa acidificado, Agar LW y MRS, por el método de siembra por microgota, en los cuales aislaron bacterias del género *Saccharomyces*,

Zymomonas y *Leuconostoc*. Las muestras fueron tomadas de cuatro diferentes etapas del proceso de fermentación: a) aguamiel, b) pulque con fermentación de 60 días, c) pulque de 24 horas de fermentación d) pulque de 48 horas de fermentación (Cuadro 3).

Escalante *et al.* (2004) en un estudio de la diversidad bacteriana por medio de análisis de secuencias de ADNr 16S de muestras de pulque procedentes de diferentes zonas. Encontraron en la localidad de Aculco, Estado de México, géneros como *Lactobacillus*, *Leuconostoc* y *Hafnia*, en Tizayuca, Hidalgo, los géneros aislados fueron *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Acetobacter*, *Gluconobacter* y *Zymomonas*. En la localidad de Huitzilac, Morelos, determinaron géneros como *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Microbacterium*, *Flavobacterium*, *Hafnia* y *Zymomonas*. Más tarde, Escalante *et al.* (2008) analizaron en Huitzilac, Morelos, muestras de aguamiel y de pulque fermentado, de las cuales registraron bacterias de los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Streptococcus* (Cuadro 3). De igual forma, se han identificado levaduras que son importantes en la fermentación del pulque como *Candida*, *Candida lusitaniae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Kluyveromyces lactis*, *Kloeckera apiculata*, *Pichia guilliermondii* y *Torulaspora delbrueckii*, las cuales están involucradas en la producción de etanol en la bebida (Herrera Solórzano, 2008).

Los microorganismos más importantes para que se lleve a cabo la producción de pulque son: *Zymomonas mobilis*, esta es una bacteria capaz de fermentar fructosa, glucosa y sacarosa, además, es responsable del inicio de la fermentación alcohólica. *Leuconostoc mesenteroides* es responsable de la viscosidad del pulque. Mientras que, *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura responsable de la producción de etanol mediante fermentación anaeróbica. Las BAL son responsables de la fermentación ácida del pulque (Lozano Pérez, 2007).

No obstante, al ser una bebida artesanal, es común detectar bacterias coliformes tanto en el aguamiel como en el pulque, debido a que el aguamiel es vulnerable a contaminarse por su

exposición ambiental, en el pulque la proliferación de estos microorganismos está estrechamente ligada a sus propiedades fisicoquímicas. Los coliformes totales son un grupo indicador en microbiología alimentaria y su crecimiento se ve favorecido en un rango de pH de cuatro a ocho, por lo tanto, el pH es directamente proporcional a la proliferación de coliformes totales (Calderón *et al.*, 2017). Asimismo, la fermentación está implicada en el sabor de los alimentos, ayuda a eliminar componentes no deseados, de este modo hace que el producto sea seguro frente a agentes patógenos (Mengesha *et al.*, 2022).

Cuadro 3. Comparación de la composición microbiológica en pulque y aguamiel de diferentes regiones.

Estudio	Región	Pulque / Aguamiel	Bacterias	Hongos y levaduras
Estrada-Godina <i>et al.</i> (2001)	Tlaxcala e Hidalgo	Aguamiel	NA	<i>Candida lusitaniae</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> var. <i>bulgaricus</i> , <i>S. cerevisiae</i>
Estrada-Godina <i>et al.</i> (2001)	Tlaxcala e Hidalgo	Pulque	NA	<i>S. cerevisiae</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> var. <i>lactis</i>
Escalante <i>et al.</i> (2004)	Aculco, Estado de México	Pulque	<i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Hafnia</i>	NA
Escalante <i>et al.</i> (2004)	Tizayuca, Hidalgo	Pulque	<i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Gluconobacter</i> , <i>Zymomonas</i>	NA
Escalante <i>et al.</i> (2004)	Huitzilac, Morelos	Pulque	<i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Microbacterium</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Hafnia</i> , <i>Zymomonas</i> .	NA
Cervantes-Contreras y Pedroza-Rodríguez (2007)	San Simón Tlatlahuquitepec, Tlaxcala	Pulque	<i>Saccharomyces</i> , <i>Zymomonas</i> , <i>Leuconostoc</i>	NA

Estudio	Región	Pulque / Aguamiel	Bacterias	Hongos y levaduras
Escalante <i>et al.</i> (2008)	Huitzilac, Morelos	Pulque y aguamiel	<i>Lactobacillus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Streptococcus</i>	NA
Pérez Pérez y Ramírez Martínez (2011)	Hidalgo	Pulque	<i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Pediococcus</i> .	NA

NA: no analizado

De acuerdo con Silva-López *et al.* (2025), existe variabilidad en la diversidad microbiana del aguamiel y pulque, por factores como la especie de *Agave* empleada, etapa de fermentación y características geográficas de la región, encontrando mayor diversidad en verano, esto sugiere que la microbiota del aguamiel tiene cambios entre las estaciones del año, los cuales se deben al incremento en la radiación solar que provoca cambios en el metabolismo de la planta, por lo que produce aguamiel con pH bajo, favoreciendo el crecimiento de microorganismos tolerantes a condiciones ácidas.

En la literatura hay pocos estudios acerca del aguamiel y el pulque que se elabora en el Estado de Querétaro, uno de los principales es el trabajo de Verduzco-Tornel (2024) en el cual determina la composición química del aguamiel y pulque de las localidades de Boyé, Charco frío y El Marqués, pertenecientes a Querétaro. Es por ello, que el presente trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos.

2. Hipótesis

La composición química y microbiológica del pulque es diferente en los cinco agricultores de Boyé, Cadereyta, debido a las variedades de maguey empleadas, así como al proceso de obtención del aguamiel y la elaboración del pulque.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Comparar la composición química y microbiológica del aguamiel y pulque de cinco agricultores de Boyé, Cadereyta, en función del proceso de elaboración y la variedad de *Agave* utilizada.

3.2 Objetivos específicos:

- Documentar el proceso de elaboración del pulque y la variedad de *Agave* para asociarlo con el contenido químico.
- Determinar la composición química del aguamiel y el pulque de cinco agricultores de Boyé, Cadereyta.
- Cuantificar las poblaciones microbianas (levaduras, BAL y coliformes totales) presentes en el aguamiel y pulque de cinco agricultores de Boyé, Cadereyta.

4. Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

La comunidad de Boyé, pertenece al municipio de Cadereyta de Montes, ubicada en el Estado de Querétaro, se encuentra a 76 km de la capital del estado, y a 7.9 kilómetros, en dirección Este, de Cadereyta de Montes ($20^{\circ}41'06.5''\text{N } 99^{\circ}44'26.5''\text{W}$) (Figura 1), a una altitud de 2040 msnm. De acuerdo con los datos de INEGI (2020), la localidad presenta una población total de 1742 habitantes, de los cuales 803 son hombres y 939 son mujeres, hay 371 personas económicamente activas y 379 viviendas habitadas. Cabe resaltar que es una población de origen otomí. El municipio de Cadereyta es parte del Semidesierto Queretano, por lo tanto, predomina vegetación como matorral xerófilo (CONABIO, 2025).

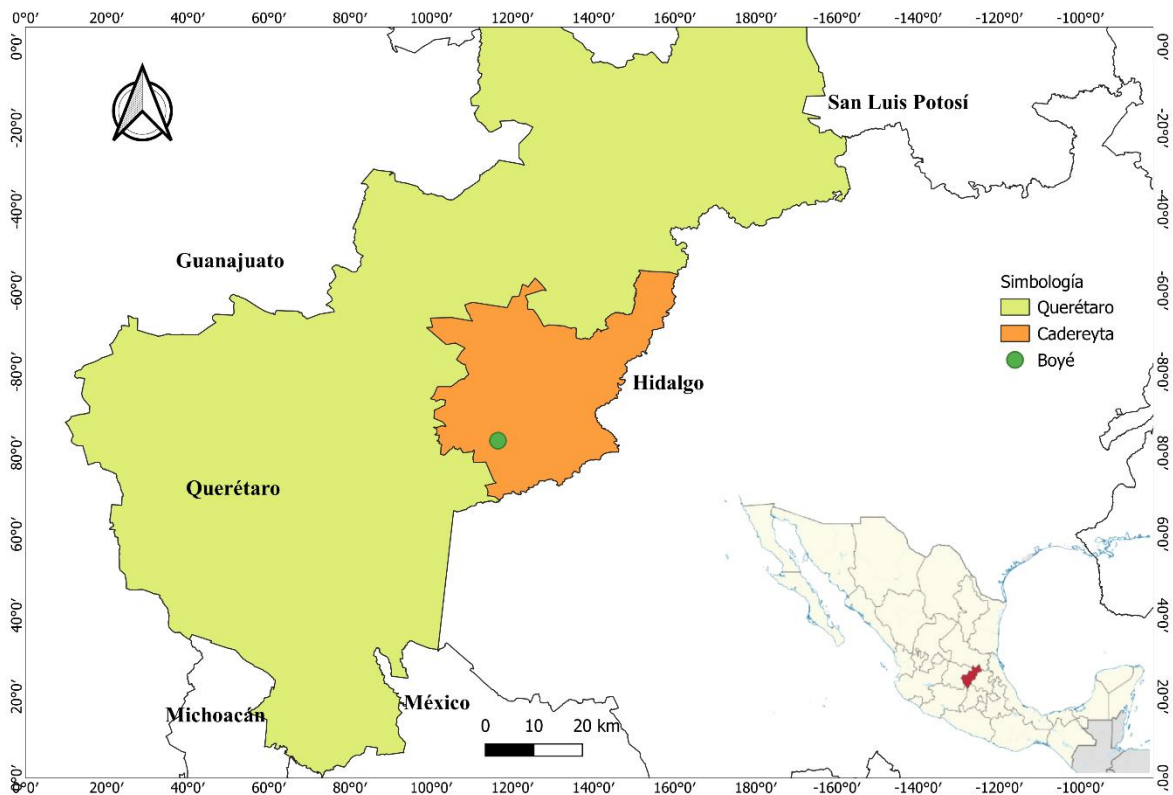


Figura 1. Localización de Boyé. Imagen: elaboración propia

4.2 Proceso de obtención del aguamiel y elaboración del pulque

Para documentar la obtención del aguamiel y elaboración del pulque de cinco agricultores de Boyé, Cadereyta. Se aplicó una entrevista semiestructurada que integra los siguientes aspectos (Anexo 2):

- Especie y variedades para la elaboración del pulque.
- Proceso para la elaboración del pulque.
- Materiales y herramientas empleadas en la elaboración.
- Condiciones del lugar donde se elabora.
- Horario de raspado y tiempo de fermentación.

4.3 Obtención de muestras de aguamiel y pulque

El muestreo se llevó a cabo por triplicado por cada agricultor, el primer muestreo fue durante la temporada de lluvias en junio-agosto, el segundo muestreo en la temporada de agosto-octubre, y finalmente el último muestreo fue en noviembre-diciembre de 2025. Se tomaron muestras de aguamiel y pulque de cuatro especies del género *Agave* empleadas por agricultores en la localidad de Boyé, Cadereyta, empleando las herramientas que tradicionalmente utiliza cada uno de ellos. El aguamiel fue extraído en el momento del muestreo, mientras que el pulque a colectar fue el considerado listo para comercializar.

Se recolectaron 300 mL de cada muestra en bolsas estériles (Nasco WHIRL-PAK®) y se almacenaron en hieleras con geles refrigerantes hasta su llegada al laboratorio y se procesaron durante las 24 horas siguientes. Una vez en el laboratorio, 200 mL de cada muestra se almacenaron a -20°C para los análisis químicos, mientras que los 100 mL restantes fueron empleados para los análisis microbiológicos.

Sin embargo, estos muestreos no son equitativos en cantidad, ya que dependía de la disponibilidad de magueyes maduros para la producción de aguamiel, ocasionando que en el caso de la variedad “poblano” (*Agave americana*) y “san juanero” (*Agave mapisaga*) solo fuera posible la colecta de muestras en un solo momento de su producción.

4.4 Análisis químico de aguamiel y pulque

Se determinaron cuatro parámetros que se explican a continuación, con base en la metodología de Verduzco Tornel (2024):

a) Determinación de pH

Para el pH se empleó un potenciómetro inalámbrico HALO2 GroLine (Hannah Instruments®) calibrado en dos puntos (4.0 y 7.0).

b) Acidez total titulable (ATT)

Se colocaron 10 mL de muestra a temperatura ambiente en un matraz y se titularon con una solución de NaOH estandarizada (0.1 N), hasta alcanzar un pH de 8.2.

Los cálculos y la expresión de resultados en gramos de ácido láctico por 1000 mL de la muestra, se analizaron de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ATT = \frac{(v_{NAOH})(N_{NAOH})(Meq. \text{Ácido láctico})}{Volumen de muestra (mL)}$$

En donde:

ATT = Acidez total expresada en gramos de ácido láctico por 1000 mL de muestra

V_{NAOH} = Mililitros de hidróxido de sodio gastados en la titulación de la muestra

N_{NAOH} = Normalidad de la solución de hidróxido de sodio usada en la titulación

Meq. Ácido láctico (factor láctico) = 90 (peso miliequivalente).

c) Sólidos solubles o grados Brix (°Bx)

Se colocó una gota de la muestra (1 mL aproximadamente) en el prisma de un refractómetro de mano (ATAGO®) y a través del ocular se observó a contra luz la línea divisora entre la zona clara y oscura en el visor, lo cual indica el porcentaje de °Bx.

d) Contenido de etanol

Se destilaron 50 mL de muestra agregando 2 mL de hidróxido de calcio (2 M) y perlas de vidrio de borosilicato. Una vez alcanzados $\frac{3}{4}$ del volumen inicial, se consideró terminada la destilación. Posteriormente, a los 18 °C se aforó nuevamente en un matraz de 50 mL, se tapó y se agitó. Finalmente, se colocaron unas gotas de la muestra destilada en un refractómetro de alcohol para la medición de porcentaje de alcohol con compensación automática de temperatura (ATC).

4.5 Análisis microbiológico de aguamiel y pulque

Para el análisis microbiológico se llevaron a cabo diluciones de 10^{-1} hasta 10^{-5} del pulque y diluciones de 10^{-1} hasta 10^{-4} del aguamiel, con 1 mL de la muestra diluidos en 9 mL de solución amortiguadora de fosfatos. Posteriormente, se sembraron 1 mL de muestra empleando la técnica de vertido en caja con Agar Bilis Rojo Violeta (ABRV) para identificar bacterias coliformes totales. Para las BAL el sembrado (0.1 mL) fue por extensión en superficie en medio Man Rogosa Sharpe Agar (MRS) adicionado con cicloheximida (100 ppm) con perlas de vidrio. Para los hongos y levaduras se sembró por extensión en superficie con perlas de vidrio en el medio de Agar Papa Dextrosa (APD) suplementado con cloranfenicol (100 ppm). Las placas se incubaron a 30 °C durante 72 horas, hasta obtener cultivos y cuantificar las unidades formadoras de colonias por mililitro de muestra (UFC/mL).

4.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo con el software PAST versión 4.03. Se emplearon pruebas paramétricas de ANOVA de una vía (F) y t de Student (t), pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney (z) y Kruskal-Wallis (H) para la comparación de medias, estableciendo como criterio de significación un valor de $p < 0.05$.

5. Resultados

5.1 Documentación de la extracción de aguamiel y la elaboración de pulque

Para la elaboración de pulque, los cinco agricultores participantes extraen aguamiel de cuatro diferentes variedades tradicionales de *Agave*: “xa’mini” (*Agave salmiana* var. *ferox*), “chalqueño” (*Agave salmiana*), “poblano” (*Agave americana*) y “san juanero” (*Agave mapisaga*) (Figura 2). La variedad de “xa’mini” es la principal y la que los cinco agricultores utilizan en común (Cuadro 4). No obstante, los cinco agricultores mencionan que combinan el aguamiel de todas las variedades de *Agave* que tienen para elaborar el pulque.



Figura 2. Especies y variedades de *Agave* empleadas para la elaboración del pulque en Boyé, Cadereyta. A) *Agave salmiana* var. *ferox* “xa’mini”, B) *Agave salmiana* “chalqueño”, C) *Agave americana* “poblano”, D) *Agave mapisaga* “san juanero”.

Los magueyes presentan diferencias morfológicas, las pencas de “san juanero” son largas y rectas, mientras que las de “xa’mini”, “chalqueño” y “poblano” ligeramente curvadas. Además, las espinas cambian en tamaño, disposición y forma, en la Figura 3 se pueden observar estas diferencias.

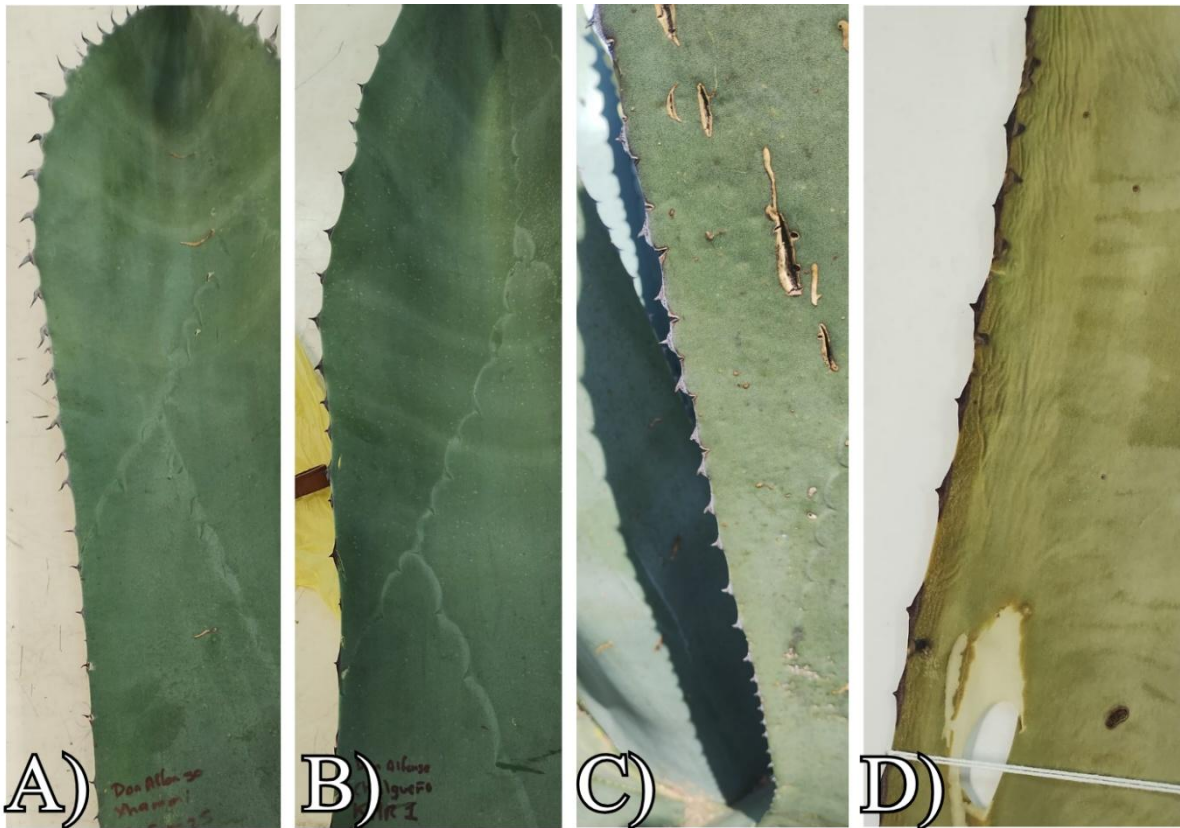


Figura 3. Morfología de las espinas de magueyes. A) *Agave salmiana* var. *ferox* “xa’mini”, B) *Agave salmiana* “chalqueño”, C) *Agave americana* “poblano”, D) *Agave mapisaga* “san juanero”

Todos los agricultores utilizan las mismas herramientas para extraer y recolectar el aguamiel, así como el material para resguardar el pulque (Cuadro 4). Solo difieren en el material que utilizan para cubrir los tinacales y para cubrir el cajete del maguey. Además, la limpieza del material utilizado durante el proceso de elaboración del pulque es similar. Como se explica detalladamente a continuación.

a) Capado o quebrado del maguey

Se seleccionan plantas maduras, esto a partir de los ocho a catorce años (dependerá de la variedad y especie de *Agave*). En este periodo de tiempo la planta de maguey está lista para iniciar el capado. Para lo cual, se revisan ciertas características, antes de que brote el escapo, como el adelgazamiento del centro del maguey (conjunto de pencas tiernas). Las cuales son retiradas para formar el cajete en donde se acumulará el aguamiel (Figura 4 A). Durante esta etapa se deja reposar el maguey de tres a ocho días, dependiendo el agricultor.



Figura 4. Proceso del raspado del maguey. A) Cajete en donde se acumula el aguamiel en un maguey raspado, B) Raspador de metal, C) “xhinfí” obtenido después de raspar, D) “xhinfí” y raspador de metal.

b) Raspado del maguey y extracción del aguamiel

Para el raspado del maguey se utiliza un instrumento de metal llamado “raspador” y con movimientos oscilatorios se raspa la base de las hojas del maguey. Señalan que es muy importante retirar por completo el “xhinfi” del cajete del maguey. En caso de que quede sobrante puede provocar que fermente el aguamiel contenido en el maguey raspado (Figura 4 B, C, D).

Posteriormente, se extrae el aguamiel contenido en el cajete con un utensilio llamado “acocote”. Anteriormente, empleaban un acocote de guaje, fruto de *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. Sin embargo, en la actualidad elaboran y utilizan un acocote a base de botella PET y manguera de plástico (Figura 5 A, B).



Figura 5. Material que se utiliza para elaboración de pulque en Boyé, Cadereyta. A) Acocote de guaje, B) Acocote con botella PET y manguera de plástico, C) Agricultor extrayendo

aguamiel de un maguey, D) Raspadura del *Agave* para que produzca aguamiel, E) Contenedores en donde se fermenta el pulque (tinacales).

Este proceso de raspado se hace de dos a tres veces al día, dependiendo del tlachiquero (persona que raspa el maguey) y del periodo del año en que se encuentre. En temporada de calor (primavera - verano) los tlachiqueros raspan tres veces al día. El primer raspado del día se lleva a cabo entre 5:30 am y 7 am, el segundo entre 11 am y 12 pm, y el tercero entre 5 pm y 8 pm. Mientras que, en temporada de frío (otoño - invierno) raspan dos veces al día, el primer raspado se lleva a cabo entre 6 am y 7 am, y el segundo raspado entre 6 pm y 8 pm. En temporada de calor la producción de aguamiel es mayor a diferencia de la temporada fría del año, esto posiblemente puede deberse a una mayor concentración de azúcares y un mecanismo de defensa de la planta contra la sequía (Figura 5 C, D). De acuerdo con los agricultores cooperantes, una planta de maguey produce de 1.5 a 5 L de aguamiel al día dependiendo de la variedad. En promedio, una planta puede llegar a producir 900 L de aguamiel durante el periodo de producción. El cual es de tres a seis meses dependiendo de la edad y tamaño de la planta.

Con relación al cuidado del aguamiel, los agricultores cubren el cajete del maguey, con una piedra, un trozo de penca y una bolsa de plástico o costales, para evitar el contacto con animales (Cuadro 4). Con especial cuidado en temporada de lluvias, ya que en caso de que se mezcle el aguamiel con agua de lluvia, no se utiliza para elaborar pulque, se desecha. El aguamiel recolectado se deposita en recipientes específicos para iniciar su fermentación, llamados tinacales (tambos de plástico). Estos contienen la semilla o pie de pulque, que consiste en dejar el aguamiel fermentar por al menos seis a ocho días, para producir el inóculo de microorganismos para el proceso de fermentación (Figura 5 E, 6 A).



Figura 6. Fermentación del pulque. A) Tinacales de plástico cubiertos con tela, B) Semilla o pie de pulque (inóculo) con aguamiel.

c) Elaboración del pulque

El proceso de fermentación del pulque toma alrededor de 24 horas. Por esta razón, es necesario agregar aguamiel cada vez que se raspa y se extrae para mantener activa la fermentación (Figura 6 B). Cabe señalar que, dependiendo de la época del año, cambia la proporción de aguamiel y de pulque que colocan los agricultores en los tinacales. Además, las horas de fermentación, desde que se coloca el aguamiel, es diferente acorde a la temperatura. En primavera - verano (calor) utilizan una proporción 1:1 de aguamiel y pulque, ya que las horas de fermentación son de una hora hasta cinco horas. Mientras que, en otoño - invierno (frío) la proporción utilizada es 1:3 de aguamiel y pulque respectivamente, ya que las horas de

fermentación son de una hora y media hasta 24 horas. En la Figura 7 se observa este cambio de color asociado a la fermentación en el aguamiel.



Figura 7. Aguamiel y pulque. A) *Agave salmiana* var. *ferox* “xa’mini”, B) *Agave salmiana* “chalqueño”, C) *Agave mapisaga* “san juanero”, D) Pulque con 24 horas de fermentación.

5.2 Lugar de elaboración del pulque

En el Cuadro 4, se muestra la comparación entre los cinco agricultores desde la recolección de aguamiel hasta la elaboración de pulque. Los agricultores disponen con un espacio exclusivo dentro de sus hogares destinado para elaborar pulque. Los cuales son cuartos en el patio hechos de ladrillo, con techos de concreto, teja o lámina (Cuadro 4). De los cinco agricultores cooperantes, tres fermentan el pulque en contenedores de plástico cubiertos por una tela, mientras que los otros dos utilizan contenedores de plástico y los cubren con tapas de plástico (Figura 5 E, 6 A). Es importante señalar que el agricultor B coloca los tinacales en una base de arena, esto para mantener el pulque fresco (Figura 6 A).

Por otra parte, para el cuidado del pulque, los agricultores mencionan que cambian y lavan cada tercer día los recipientes donde se mantiene el pulque. Asimismo, señalan que es importante no lavar con jabón los contenedores o el material utilizado durante el proceso de elaboración, únicamente se lava con agua, posteriormente se enjuaga con pulque, debido a que los agentes químicos del jabón pueden hacer que se descomponga el pulque, derivado de una mala fermentación.

Cuadro 4. Comparación del proceso de obtención del aguamiel y producción del pulque de los cinco agricultores del estudio en Boyé, Cadereyta.

		Agricultor A	Agricultor B	Agricultor C	Agricultor D	Agricultor E
Variedades de <i>Agave</i> que utilizan para elaborar pulque	“xa’mini”	✓	✓	✓	✓	✓
	“chalqueño”	✓	✓	✓	✓	✓
	“san juanero”	✓	-	-	-	-
	“poblano”	-	-	-	-	✓
Combina las variedades de <i>Agave</i> para elaborar el pulque		✓	✓	✓	✓	✓
Persona que se encarga del cuidado del aguamiel y el maguey		Tlachiadero	Tlachiadero	Agricultor y su esposa	Agricultor	Agricultor
Material con el que cubre el cajete del maguey		Penca y bolsa de cemento	Penca	Bolsa plástica y una piedra	Costal y penca	Penca y piedra
Material de colecta de aguamiel	Raspador de metal	✓	✓	✓	✓	✓
	Acocote de botella de plástico y manguera	✓	✓	✓	✓	✓
Lugar de fermentación	Espacio abierto y exclusivo dentro del hogar	✓	✓	✓	✓	✓
	Material del techo del lugar	Concreto	Teja	Lámina	Lámina	Lámina
Material para fermentar	Contenedor de plástico	✓	✓	✓	✓	✓
	Tapa del contenedor	Tela	Plástico	Tela	Tela	Tela
Limpieza del material para fermentar	Lava cada tercer día	✓	✓	✓	✓	✓
	Lava con pulque, no emplea jabón o cloro	✓	✓	✓	✓	✓

		Agricultor A	Agricultor B	Agricultor C	Agricultor D	Agricultor E
Persona que se encarga de la elaboración del pulque		Agricultor y su esposa	Esposa	Agricultor y su esposa	Agricultor	Esposa
Prepara curados de pulque		✓	✓	✓	-	✓
Escala de comercialización	Autoconsumo	✓	✓	✓	-	✓
	Venta dentro de la localidad (Boyé, Cadereyta)	✓	✓	✓	✓	✓
	Venta a localidades vecinas	✓	-	✓	-	✓
Persona que se encarga de la comercialización del pulque		Agricultor y sus hijos	Esposa	Agricultor, su esposa y sus hijos	Agricultor	Agricultor y su esposa

5.3 Caracterización organoléptica de pulque

En el Cuadro 5, se describen las apreciaciones gustativas del pulque conforme a la información proporcionada por los agricultores. En verano se considera como insípido y agrio, de mala calidad, en primavera con menos dulzor, agrio y consistencia líquida, mientras que en invierno se considera el pulque de buena calidad (Figura 8).

Cuadro 5. Apreciación gustativa de acuerdo a la estación del año según los cinco agricultores cooperantes de Boyé, Cadereyta.

Estación	Características	Apreciación gustativa
Verano	Insípido y agrio.	Mala calidad
Primavera	Menos dulzor, agrio, consistencia líquida.	Calidad intermedia
Invierno	Más dulzor, consistencia espesa, fresco.	Buena calidad



Figura 8. Pulque en jarro de barro y aguamiel en jarra de vidrio.

5.4 Comercialización del pulque

Se documentó que el 80 % de los agricultores emplean su pulque para autoconsumo, el 100 % lo comercializa dentro de Boyé, Cadereyta y el 60 % lo vende en localidades vecinas como Colón, La Griega y El Marqués (Cuadro 4). El precio del litro de pulque natural en Boyé, Cadereyta, ronda los \$10 a \$30, mientras que los curados de pulque rondan los \$50 el medio litro. Los curados se preparan a base del néctar de frutas como: piñón, nuez, coco, guayaba, apio, jitomate, mango, garambullo, tuna, fresa, mazapán, café, piña con coco y mamey. El agricultor B añade a los curados leche condensada para endulzar.

La tradición de la elaboración de pulque se mantiene viva gracias a la dedicación de diversos agricultores de la región, quienes tienen experiencia acumulada a lo largo del tiempo, ya que la mayoría de ellos mencionan que son actividades que elaboraban desde niños junto con sus padres. Destaca el agricultor A con más de 30 años elaborando pulque, el agricultor C con una trayectoria de 21 años, seguido por el agricultor D con 19 años, asimismo, el agricultor B con 16 años, y, por último, el agricultor E que se ha integrado a esta labor desde hace 5 años. Cabe mencionar, la importancia que tiene la mujer dentro de la producción de pulque y la comercialización del mismo, como lo señala el Cuadro 4, las esposas de los agricultores están

involucradas en varias etapas del sistema pulquero. Desde las actividades de extracción del aguamiel, elaboración del pulque y comercialización del mismo.

5.5 Composición química del aguamiel de las variedades de maguey de Boyé, Cadereyta

La variedad “xa’mini” presenta en promedio 11.2 ± 2.8 °Bx, es la variedad más utilizada en la región por su sabor dulce, mientras que, “chalqueño” tiene menos dulzor (10.5 ± 2.4 °Bx), sin diferencias estadísticas significativas ($t = 0.72$, $gl = 25$, $p > 0.05$). Del mismo modo, el aguamiel de “xa’mini” presenta un valor ligeramente bajo de pH en comparación con el aguamiel de “chalqueño” (5.7 ± 1.0 y 6.1 ± 0.8 , respectivamente), sin presentar diferencias estadísticas significativas ($z = 1.32$, $gl = 25$, $p > 0.05$). En acidez titulable (ATT) la variedad “xa’mini” presenta mayor ATT que “chalqueño” (1.2 ± 0.9 y 0.9 ± 0.9 g/L ácido láctico, respectivamente), sin diferencias estadísticas significativas ($z = 1.40$, $gl = 25$, $p > 0.05$).

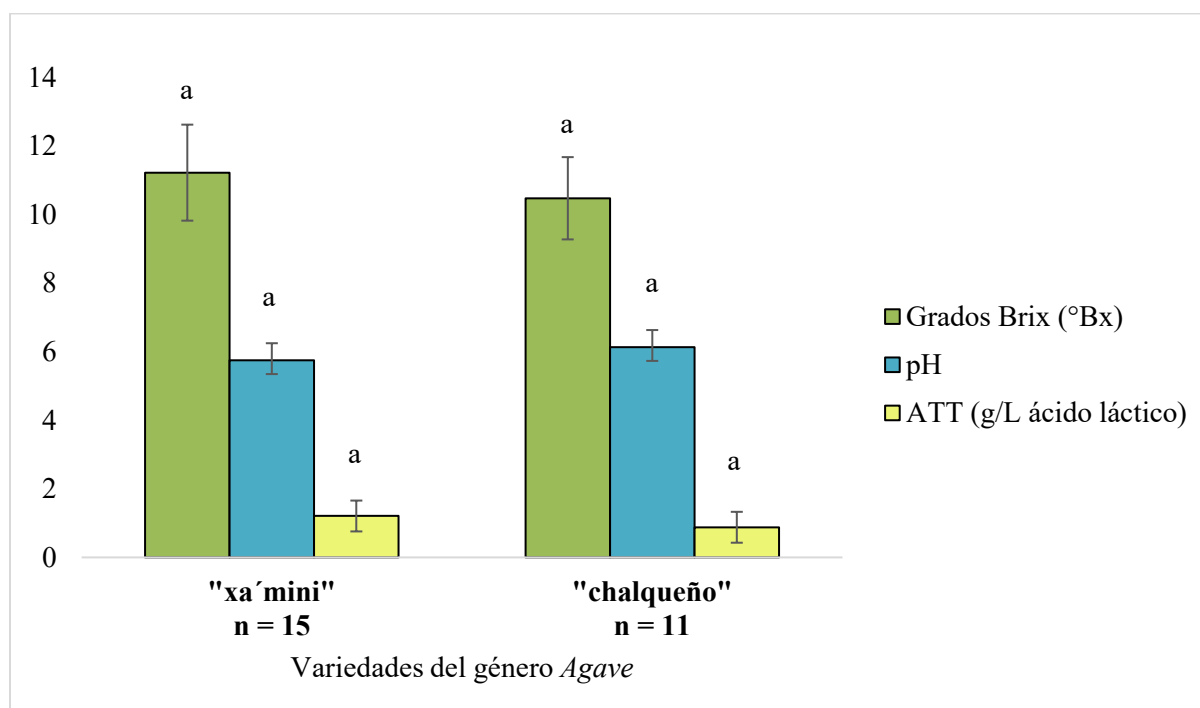


Figura 9. Contenido químico en aguamiel de las diferentes variedades de *Agave* que utilizan para la elaboración del pulque en Boyé, Cadereyta. Promedio de los parámetros químicos

evaluados de 26 muestras de aguamiel \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba t de Student y U de Mann-Whitney.

5.6 Composición química del aguamiel por agricultor

De acuerdo con la Figura 10, se muestran los análisis químicos en el aguamiel de la variedad “xa’mini” de los cinco agricultores. Los $^{\circ}\text{Bx}$ oscilan entre 9.30 y 13.23, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 1.12$, $gl = 14$, $p > 0.05$). El rango de pH varía entre 4.09 y 6.34, sin diferencias estadísticas significativas ($F = 0.71$, $gl = 14$, $p > 0.05$). En ATT, los valores son entre 0.78 y 2.01 g/L ácido láctico, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 0.97$, $gl = 14$, $p > 0.05$).

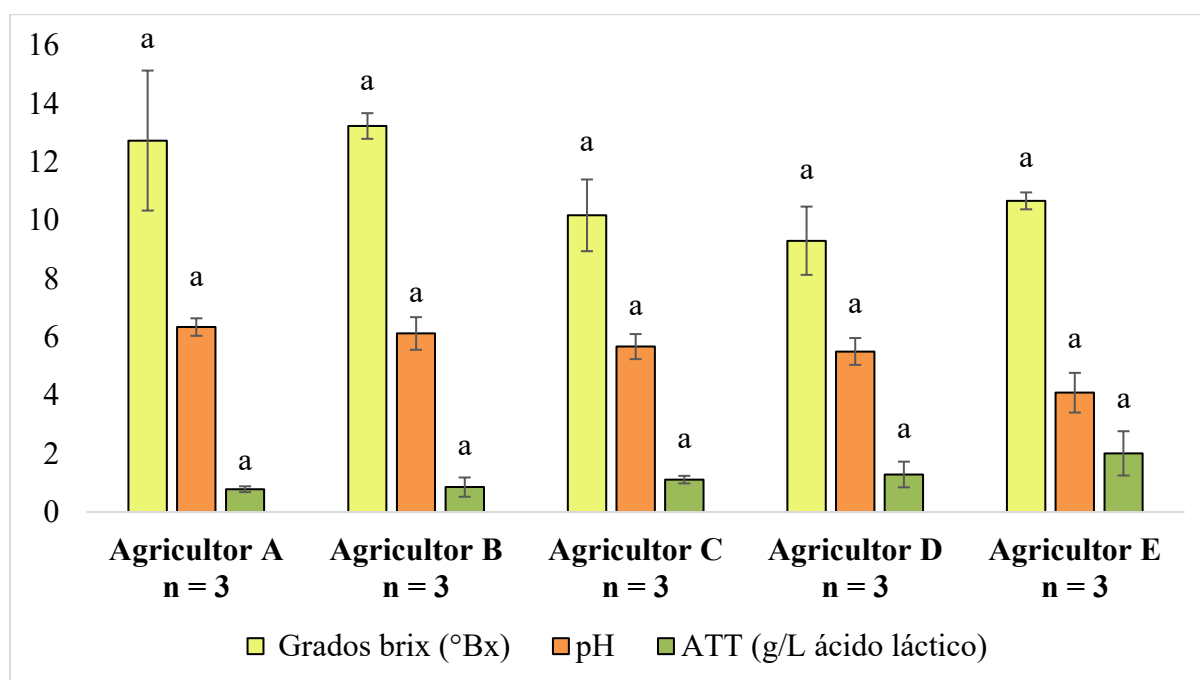


Figura 10. Contenido químico de aguamiel de *Agave salmiana* var. *ferox* (“xa’mini”). Promedio de los parámetros químicos evaluados de 15 muestras de aguamiel analizados por triplicado \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía de cada parámetro entre agricultores.

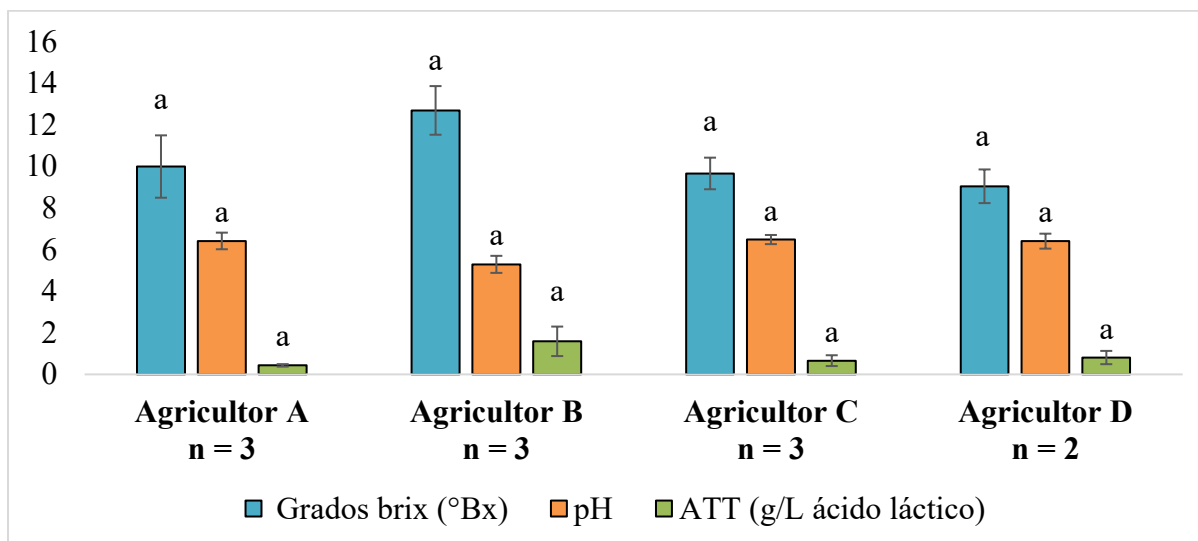


Figura 11. Contenido químico de aguamiel de *Agave salmiana* (“chalqueño”). Promedio de los parámetros químicos evaluados de 11 muestras de aguamiel analizados por triplicado \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía de cada parámetro entre agricultores.

Los análisis químicos de aguamiel de la variedad “chalqueño” de los diferentes agricultores se observan en la Figura 11. Los cuales presentan de 9.05 a 12.70 °Bx, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 1.38$, $gl = 10$, $p > 0.05$). El pH tiene valores entre 5.29 a 6.49, los cuales no tienen diferencias estadísticas significativas ($F = 2.59$ $gl = 10$, $p > 0.05$). Los valores en ATT van de 0.43 a 1.59 g/L ácido láctico, sin diferencias estadísticas significativas ($F = 1.42$, $gl = 10$, $p > 0.05$). El agricultor E no presentaba plantas de maguey de la variedad “chalqueño”, por lo tanto, no fue posible llevar a cabo los análisis correspondientes.

5.7 Características químicas del pulque de Boyé, Cadereyta

Se presentan los valores promedio de cuatro parámetros químicos analizados en muestras de pulque ($n = 25$) de cinco agricultores en Boyé, Cadereyta (Figura 12). Con lo que se puede caracterizar el pulque producido en la región. En los °Bx se observa un valor promedio de 4.9 ± 1.13 , el pH presenta un valor de 3.5 ± 0.40 , indicando que el pulque de Boyé, Cadereyta es una bebida ácida, característica de los productos fermentados. La ATT presenta un valor de 5.9 ± 2.69 g/L ácido láctico, este es el parámetro con mayor variabilidad entre las muestras, y finalmente un porcentaje de alcohol de 4.0 ± 1.21 %.

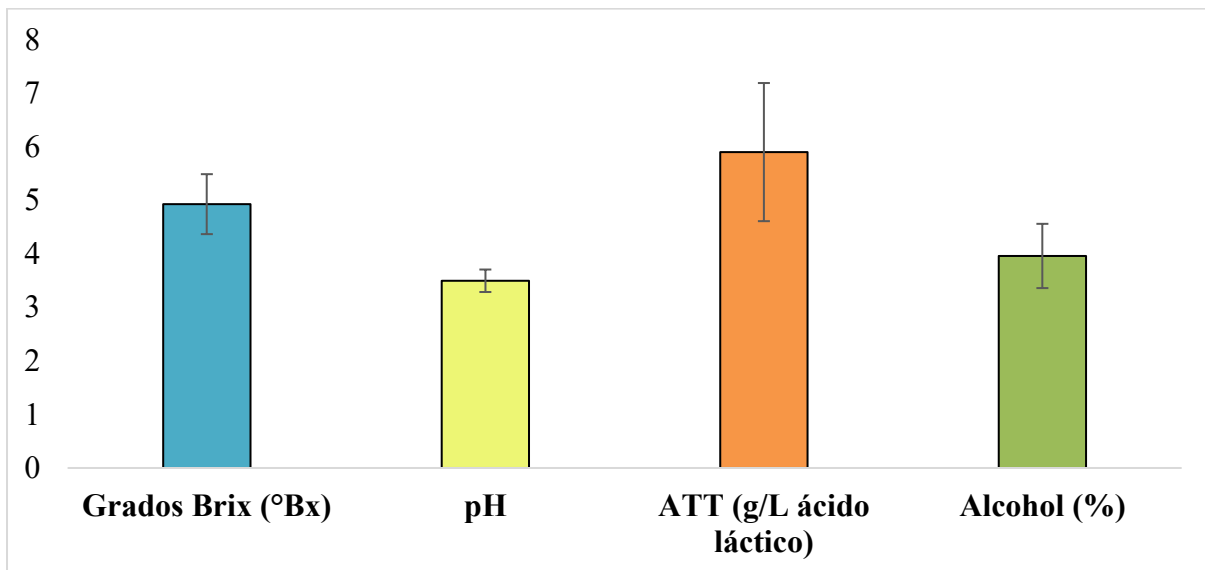


Figura 12. Caracterización química de pulque producido en Boyé, Cadereyta. Promedio de los parámetros químicos evaluados de 25 muestras de pulque \pm desviación estándar.

5.8 Composición química del pulque por agricultor

El contenido químico del pulque de cada uno de los diferentes agricultores se presenta en el Cuadro 6, entre los cuales se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en los °Bx y grado alcohólico.

Cuadro 6. Contenido químico del pulque de Boyé, Cadereyta y límites legales basados en la Norma Mexicana NMX-V-037 “Pulque manejado a granel”. DGN-V-37-1972. Basado en: SECOFI (1972).

	Grados Brix (°Bx)	pH	ATT (g/L ácido láctico)	Grado alcohólico (%)
Agricultor A <i>n</i> = 6	5.42 ± 1.20 a	3.30 ± 0.41 a	10.13 ± 4.14 a	4.33 ± 1.21 a
Agricultor B <i>n</i> = 6	5.20 ± 0.75 a	3.03 ± 0.27 a	7.70 ± 1.97 a	3.50 ± 0.84 a
Agricultor C <i>n</i> = 3	6.37 ± 1.10 a	3.86 ± 0.62 a	3.44 ± 2.32 a	2.67 ± 0.58 a
Agricultor D <i>n</i> = 5	3.96 ± 0.71 b	4.06 ± 0.45 a	6.49 ± 4.30 a	3.60 ± 0.89 a
Agricultor E <i>n</i> = 5	4.12 ± 0.11 b	3.15 ± 0.07 a	5.55 ± 1.33 a	5.20 ± 1.10 b
Norma Mexicana	NA	3.5 – 4.0	4.0 – 7.0	4.0 – 6.0

NA: no aplica. Promedio de los parámetros químicos evaluados de 25 muestras de pulque analizados por triplicado ± desviación estándar. Las letras indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía.

En sólidos solubles el del agricultor C tiene el valor más alto con 6.37 ± 1.10 °Bx, siendo similares a los del productor A y B, indicando que sus muestras de pulque son más dulces. Mientras que, el pulque del agricultor D tiene el valor más bajo (3.96 ± 0.71 °Bx) junto con el productor E, posiblemente esto se deba por una fermentación más avanzada en tiempo. Las muestras de pulque de los cinco agricultores presentan un pH ácido, entre 3.03 ± 0.27 y 4.06 ± 0.45 , sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 1.68$, $gl = 24$, $p > 0.05$) y en el rango que señala la norma (Cuadro 6).

En promedio, el pulque del agricultor A tiene mayor ATT (10.13 ± 4.14 g/L ácido láctico), seguido de cerca por el pulque del agricultor B y D (7.70 ± 1.97 y 6.49 ± 4.30 g/L ácido láctico, respectivamente), mientras que el del agricultor E presenta valores de 5.55 ± 1.33 g/L ácido láctico y el del agricultor C presenta el valor más bajo de todos en ATT con 3.44 ± 2.32 g/L ácido láctico, dichas cifras no presentan diferencias estadísticas significativas ($F = 2.70$, $gl = 24$, $p > 0.05$).

De igual manera, se presenta el promedio del contenido alcohólico (% (v/v)) en pulque producido por los diferentes agricultores en Boyé, Cadereyta. El pulque del agricultor E presenta el contenido de alcohol más alto con respecto a los demás agricultores (5.20 ± 1.10 %), lo que puede indicar que el pulque tiene una fermentación más activa o mayor cantidad de ° Bx. El agricultor A presenta un valor de 4.33 ± 1.21 %, ligeramente menor que el agricultor anterior. El pulque de los agricultores B y D presentan valores muy similares en alcohol (3.50 ± 0.84 y 3.60 ± 0.89 %, respectivamente), en cambio, el agricultor C con 2.67 ± 0.58 %, tiene el contenido alcohólico más bajo en comparación con el pulque de los demás agricultores. El grado alcohólico en el pulque de los distintos agricultores presenta diferencias estadísticas significativas ($F = 3.96$, $gl = 24$, $p < 0.05$) (Cuadro 6), sin embargo, en algunos productores cae por debajo de lo señalado por la norma.

5.9 Caracterización química de aguamiel y pulque por periodo de tiempo

El muestreo por triplicado fue en un primer periodo del 18 de junio al 07 de agosto, el segundo periodo del 21 de agosto al 07 de octubre y el tercer periodo del 11 de noviembre al 02 de diciembre durante el año 2025. Se muestran las características químicas del aguamiel de la variedad “xa’mini” en los diferentes periodos de muestreo (Figura 13). Los °Bx presentan mayor variabilidad, ya que se observa un descenso conforme avanza el tiempo, el punto máximo es durante el primer periodo con 13.05 ± 2.19 °Bx y el punto mínimo es durante el tercer periodo con 9.28 ± 2.66 °Bx, sin diferencias estadísticas significativas ($F = 2.73$, $gl = 14$, $p > 0.05$). El pH en general, se mantiene en un rango ligeramente ácido ($5.23 \pm 0.95 - 6.47 \pm 0.39$), estos valores no presentan diferencias estadísticas significativas ($F = 2.35$, $gl = 14$, $p > 0.05$). En cuanto a la ATT se mantienen los niveles relativamente estables, oscilando entre $0.8 - 1.58$ g/L ácido láctico durante los tres periodos de tiempo, sin diferencias estadísticas significativas ($F = 1.04$, $gl = 14$, $p > 0.05$).

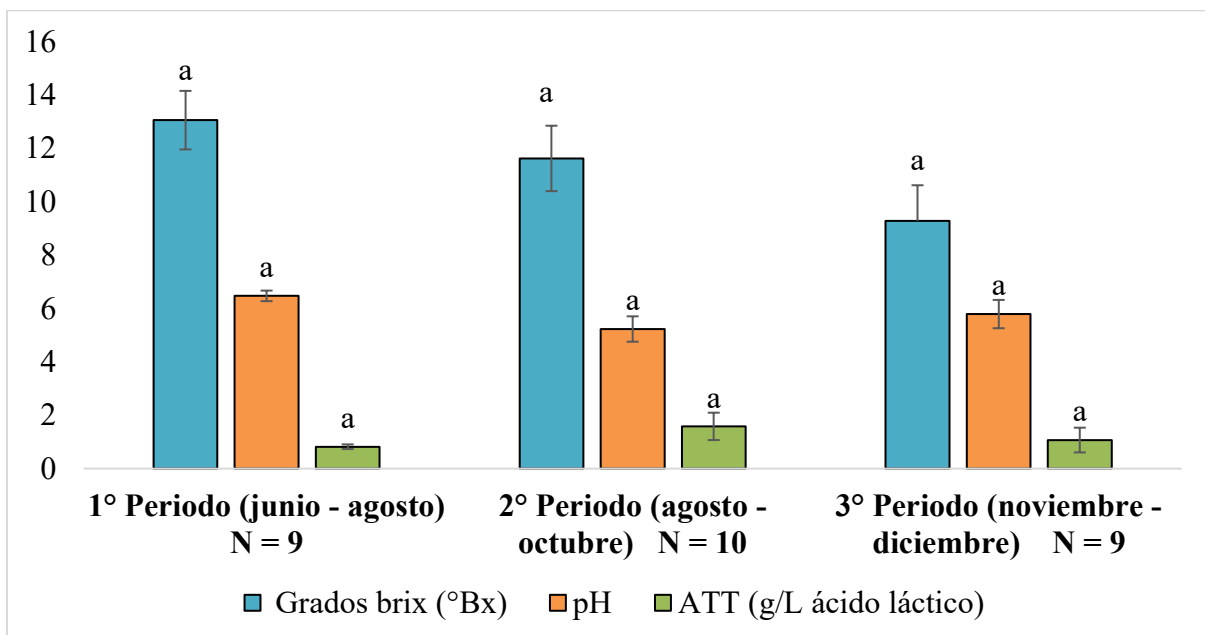


Figura 13. Características químicas del aguamiel de *Agave salmiana* var. *ferox* (“xa’mini”) en diferentes periodos del año. Promedio de los parámetros químicos evaluados de 15 muestras

de aguamiel \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística entre periodos $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía de cada parámetro entre agricultores.

La caracterización química del aguamiel de la variedad “chalqueño” se muestra en la Figura 14. Los °Bx tienen valores desde 9.25 ± 3.26 en el primer período, 11.00 ± 1.73 en el segundo período, y 11.30 ± 1.85 en el tercer período, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($H = 1.96$, $gl = 10$, $p > 0.05$). El pH varía de 5.49 ± 0.49 en el primero período, 6.05 ± 1.02 en el segundo período, y 6.69 ± 0.31 en el tercer período, sin diferencias estadísticas significativas ($F = 2.55$, $gl = 10$, $p > 0.05$), mientras que la ATT oscila entre 0.42 ± 0.20 g/L ácido láctico durante el primer período, 0.87 ± 0.36 g/L ácido láctico en el segundo período, y 1.35 ± 1.31 g/L ácido láctico en el tercer período, este último parámetro químico no presenta diferencias estadísticas significativas ($H = 4.35$, $gl = 10$, $p > 0.05$).

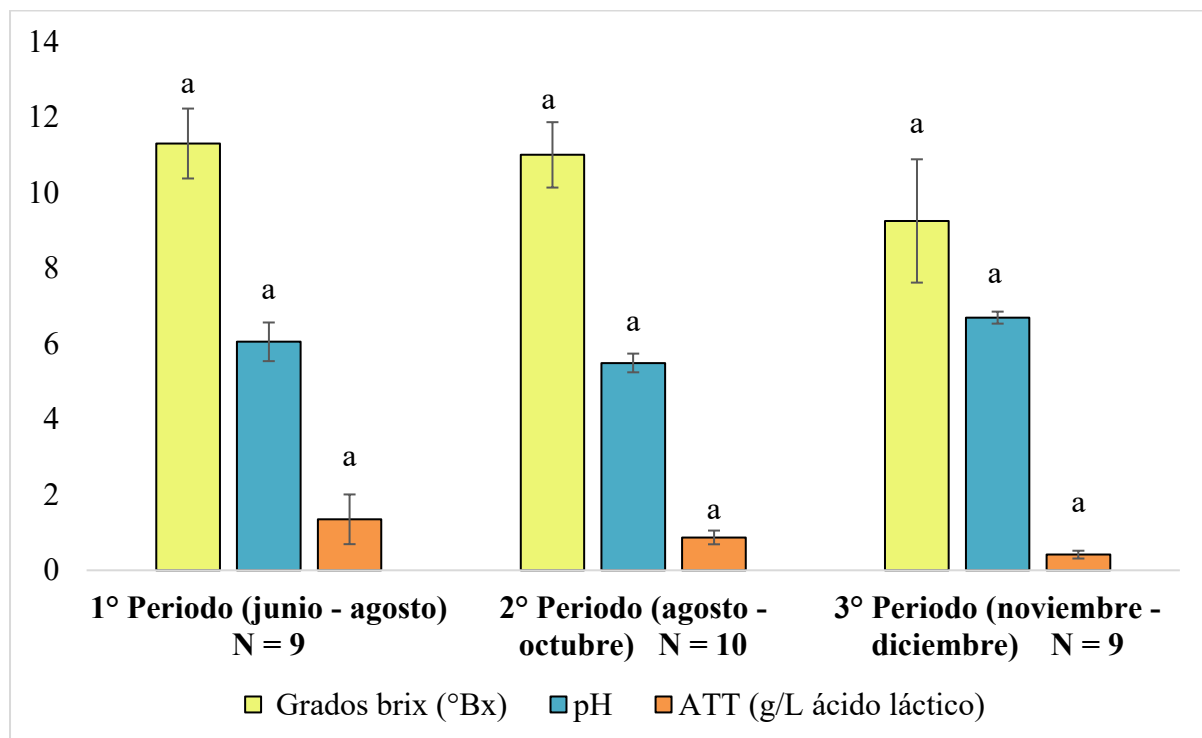


Figura 14. Características químicas del aguamiel de *Agave salmiana* (“chalqueño”) en diferentes periodos del año. Promedio de los parámetros químicos evaluados de 11 muestras

de aguamiel \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis de cada parámetro entre periodos.

En la Figura 15 se muestran los cambios en los parámetros químicos que hubo en las muestras de pulque en función del período de muestreo, las cuales presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en pH únicamente. Los °Bx se mantienen estables en el primer y segundo periodo de muestreo (5.08 ± 1.31 °Bx y 5.25 ± 1.16 °Bx), mientras que en el tercer muestreo disminuyeron ligeramente (4.44 ± 0.77 °Bx), sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 1.17$, $gl = 24$, $p > 0.05$), esto sugiere que las levaduras y bacterias fermentadoras consumieron los azúcares disponibles de forma más eficiente durante el periodo de noviembre – diciembre.

Durante los dos primeros periodos de muestreo se mantiene estable el pH con 3.20 ± 0.14 y 3.12 ± 0.12 , mientras que en el tercer periodo aumenta ligeramente el nivel (3.90 ± 0.40), presentando diferencias estadísticas significativas ($F = 10.65$, $gl = 24$, $p < 0.05$). La ATT con valores de 7.91 ± 3.53 g/L ácido láctico en el primer periodo hasta 5.45 ± 5.15 g/L ácido láctico en el tercer periodo, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($H = 2.49$, $gl = 24$, $p > 0.05$). El porcentaje de alcohol incrementa, se encuentra en el primer periodo de tiempo en 3.67 ± 0.70 % y en el tercer periodo con 4.38 ± 1.30 %, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 0.74$, $gl = 24$, $p > 0.05$) (Figura 15).

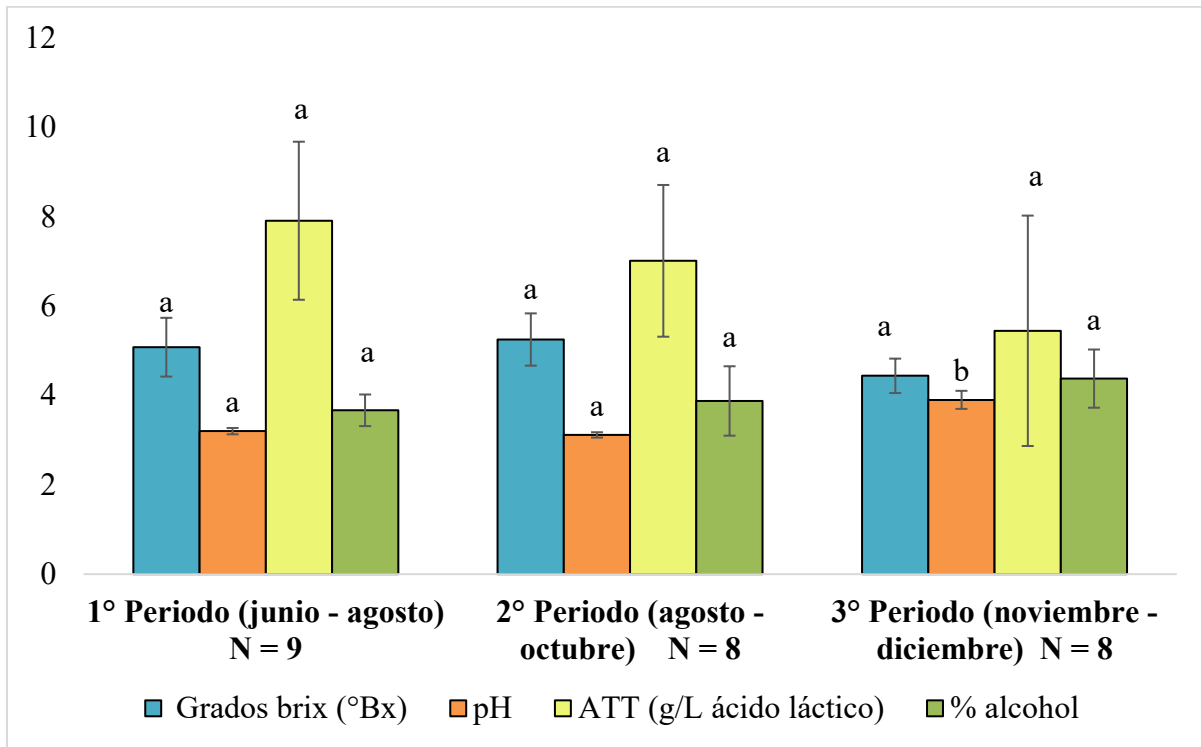


Figura 15. Características químicas del pulque de Boyé, Cadereyta, en diferentes periodos del año. Promedio de los parámetros químicos evaluados de 25 muestras de pulque \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis de cada parámetro entre periodos.

5.10 Caracterización microbiológica del aguamiel de las variedades de maguey de Boyé, Cadereyta

El aguamiel de la variedad “xa’mini” presenta en promedio 5.66 ± 0.96 Log UFC/mL de levaduras, mientras que el aguamiel de la variedad “chalqueño” presenta un conteo similar (5.64 ± 0.98 Log UFC/mL), las cuales no presentan diferencias estadísticas significativas ($t = 0.03$, $gl = 24$, $p > 0.05$). En BAL, el aguamiel de las distintas variedades de igual manera presenta valores promedio similares de 6.74 ± 0.50 y 6.34 ± 0.97 Log UFC/mL respectivamente, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($t = 1.34$, $gl = 24$, $p > 0.05$). En el conteo de coliformes totales, el aguamiel de la variedad “xa’mini” presentó $3.08 \pm$

1.48 Log UFC/mL y el de la variedad “chalqueño” 3.14 ± 1.75 Log UFC/mL, las cuales no presentan diferencias estadísticas significativas ($t = 0.09$, $gl = 24$, $p > 0.05$) (Figura 16).

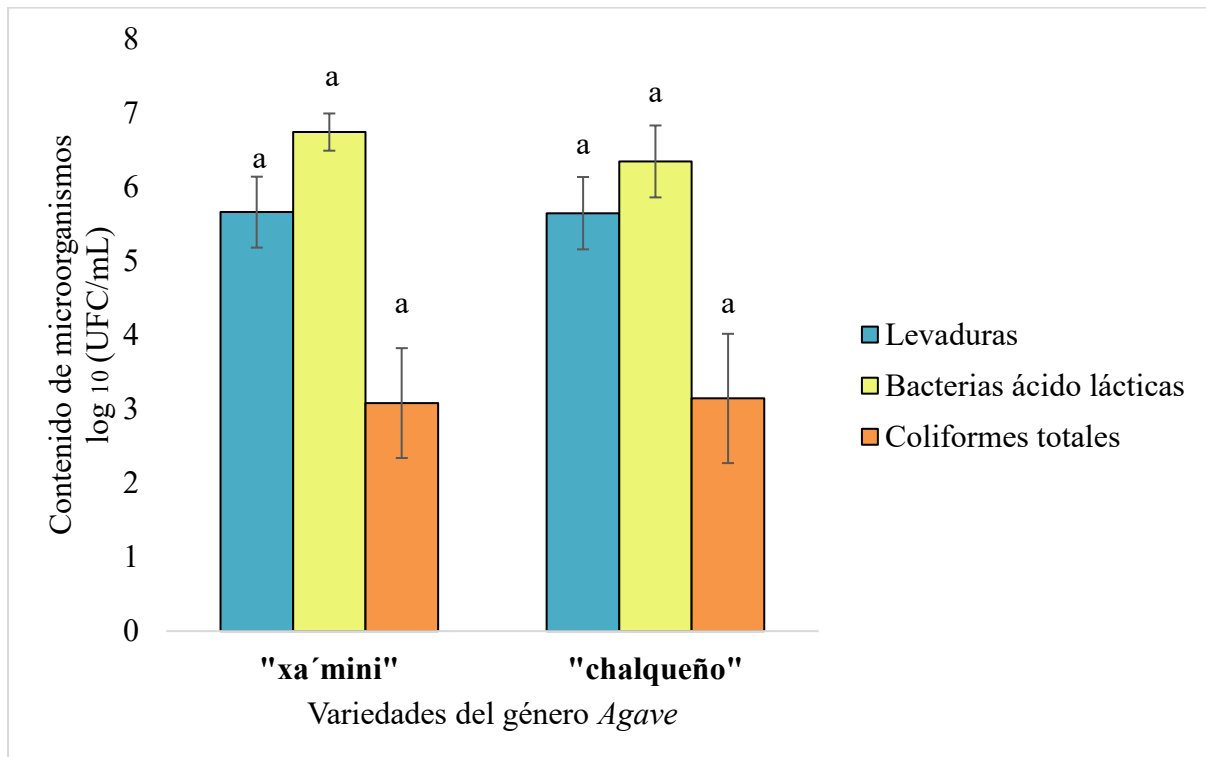


Figura 16. Composición microbiológica en aguamiel de las diferentes variedades de *Agave* que utilizan para la elaboración del pulque en Boyé, Cadereyta. Promedio de 25 muestras de aguamiel \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba t de Student de cada grupo microbiano entre variedades.

5.11 Caracterización microbiológica del aguamiel por agricultor

Se muestran las cifras que se obtuvieron para la cuenta de levaduras, BAL y coliformes totales en las muestras de aguamiel de *Agave salmiana* var. *ferox* “xa' mini” por cada agricultor (Figura 17). El conteo de levaduras está en un rango desde 4.39 ± 0.21 Log UFC/mL (agricultor C) hasta 6.72 ± 0.41 Log UFC/mL (agricultor E), presentando diferencias estadísticas significativas ($F = 4.74$, $gl = 14$, $p < 0.05$). El rango de BAL es de 6.41 ± 0.44 Log UFC/mL

del agricultor A, hasta 7.22 ± 0.18 Log UFC/mL del agricultor E, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 1.07$, $gl = 14$, $p > 0.05$). Mientras que el intervalo de coliformes totales es desde 2.41 ± 2.09 Log UFC/mL (agricultor D), hasta 4.02 ± 0.76 Log UFC/mL (agricultor A), sin diferencias estadísticas significativas ($F = 0.40$, $gl = 14$, $p > 0.05$).

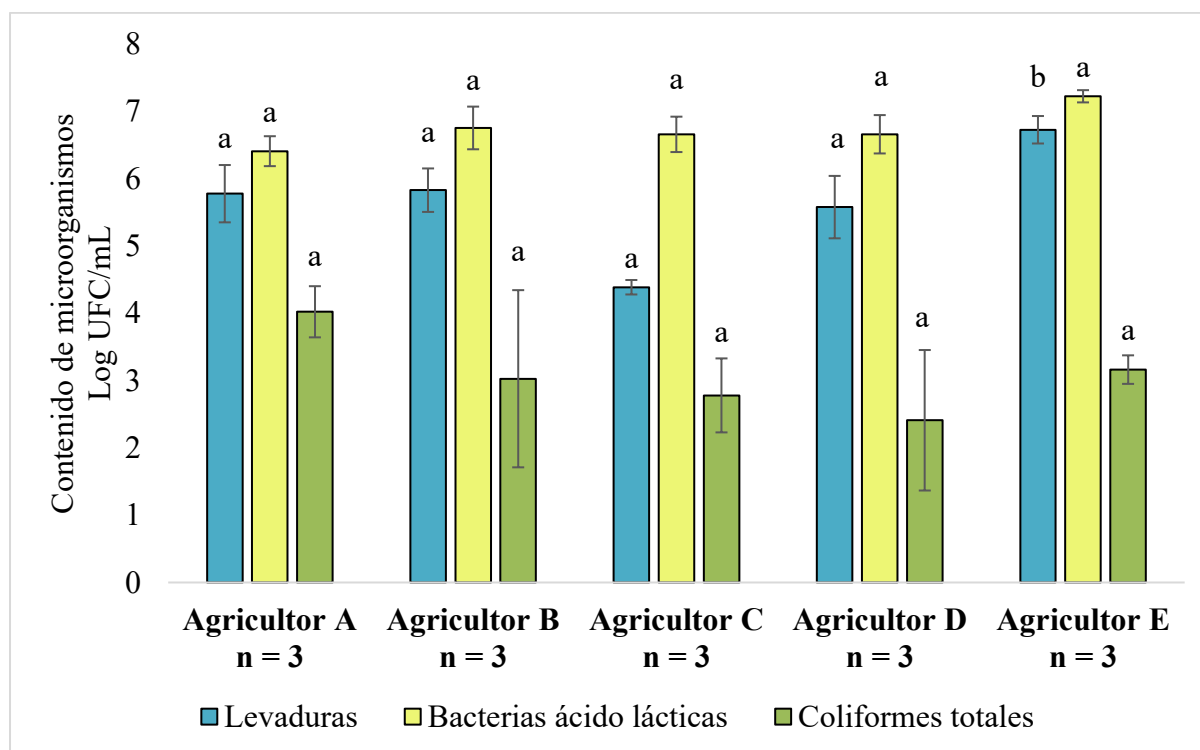


Figura 17. Contenido químico de aguamiel de *Agave salmiana* var. *ferox* (“xa’mini”). Promedio de los parámetros químicos evaluados de 15 muestras de aguamiel analizados por triplicado \pm desviación estándar. Las letras sobre indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía de cada grupo microbiano entre variedades.

Los resultados del aguamiel de la variedad “chalqueño” se muestran en la Figura 18. El promedio del conteo de levaduras de los diferentes agricultores tiene un rango de 5.31 ± 1.24 a 6.36 ± 0.79 Log UFC/mL de levaduras, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 0.67$, $gl = 9$, $p > 0.05$). Mientras que las BAL presentan en promedio de 5.88 ± 1.15 a 6.75 ± 0.60 Log UFC/mL, sin diferencias estadísticas significativas ($F = 0.32$, $gl = 9$, $p > 0.05$). Los

coliformes totales están en un rango de 2.81 ± 2.44 a 4.19 ± 0.50 Log UFC/mL, y no presentan diferencias estadísticas significativas ($F = 0.50$, $gl = 9$, $p > 0.05$). En cuanto al agricultor E, no contaba en ese momento con plantas de maguey de la variedad “chalqueño”, por lo tanto, no hay resultados.

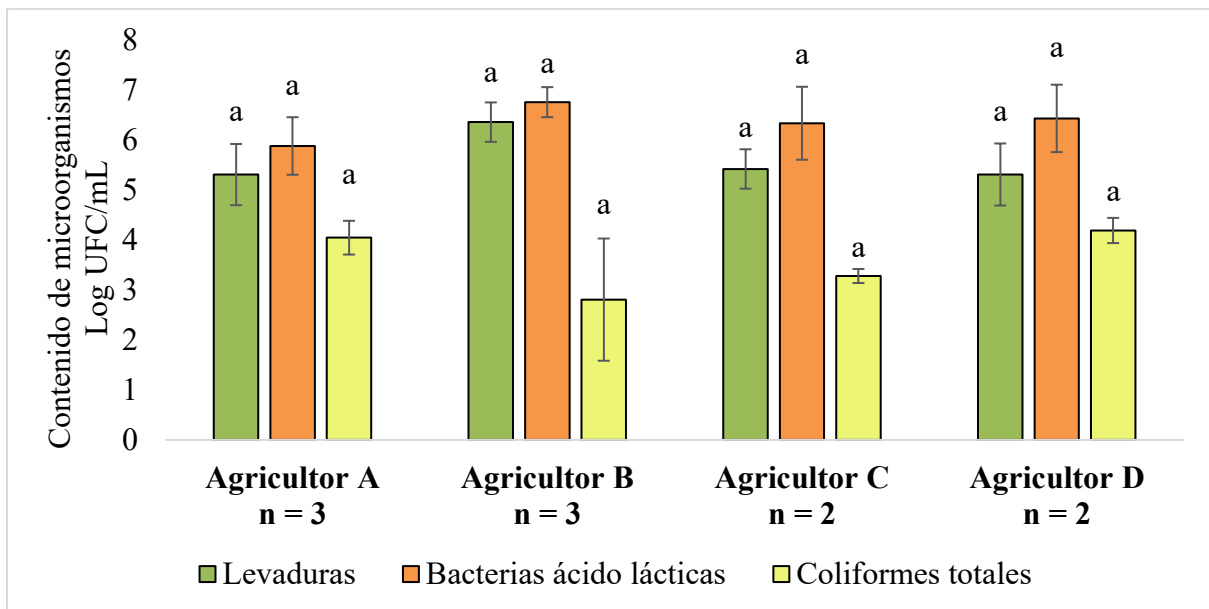


Figura 18. Caracterización microbiológica de aguamiel de *Agave salmiana* (“chalqueño”). Promedio de los parámetros químicos evaluados de 10 muestras de aguamiel analizados por triplicado \pm desviación estándar. Las letras entre líneas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía de cada grupo microbiano entre variedades.

5.12 Caracterización microbiológica del pulque de Boyé, Cadereyta

Se promediaron un total de 25 muestras de pulque analizadas por triplicado de cinco agricultores y se obtuvo la caracterización del pulque de la región. El pulque de Boyé, Cadereyta, en promedio presenta 6.78 ± 0.50 Log UFC/mL de levaduras, 6.43 ± 1.45 Log UFC/mL de BAL y 1.51 ± 1.52 Log UFC/mL de coliformes totales (Figura 19).

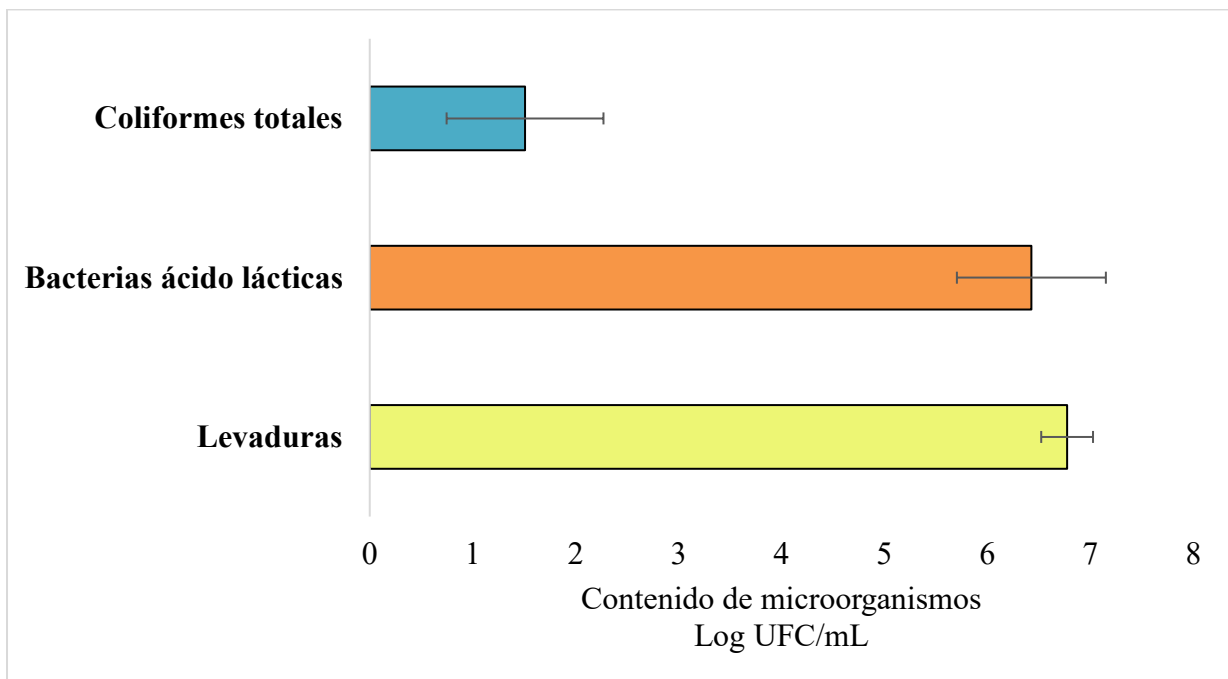


Figura 19. Caracterización microbiológica del pulque de Boyé, Cadereyta. Promedio de los parámetros químicos evaluados de 25 muestras de pulque \pm desviación estándar de cinco agricultores.

5.13 Caracterización microbiológica del pulque por agricultor

Las cifras que se obtuvieron para la cuenta de levaduras, BAL y coliformes totales en las muestras de pulque por cada agricultor, se muestran en el Cuadro 7. El pulque del agricultor C es el que presenta el valor más alto en levaduras (7.22 ± 0.24 Log UFC/mL), seguido por el del agricultor E (7.05 ± 0.26 Log UFC/mL). El pulque del agricultor A y B cuentan con valores similares (6.70 ± 0.55 y 6.76 ± 0.53 Log UFC/mL), mientras que el del agricultor D es el que cuenta con el valor más bajo en comparación con los demás agricultores con 6.34 ± 0.46 Log UFC/mL, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 2.31$, $gl = 24$, $p > 0.05$) (Cuadro 7, Figura 20 A).

En el conteo de BAL no presentan diferencias estadísticas significativas ($H = 4.07$, $gl = 24$, $p > 0.05$). El pulque del agricultor C presenta los valores más altos (7.05 ± 0.55 Log UFC/mL), seguido por el de los agricultores D y B con 6.85 ± 0.46 y 6.65 ± 0.56 Log UFC/mL), respectivamente, el pulque del agricultor A con 6.31 ± 0.50 Log UFC/mL y finalmente el del agricultor E con la cantidad más baja de BAL (5.50 ± 3.13 Log UFC/mL) (Cuadro 7, Figura 20 B).

Finalmente, los pulques de los agricultores C y B son los que presentaron los valores más altos de coliformes totales con 2.04 ± 1.83 y 1.98 ± 1.53 Log UFC/mL respectivamente, el pulque del agricultor A y D cuentan con valores similares con 1.32 ± 1.50 y 1.42 ± 1.95 Log UFC/mL, respectivamente, mientras que, el del agricultor E presenta una menor carga microbiana de coliformes totales con 0.94 ± 1.31 Log UFC/mL (Cuadro 7, Figura 20 C). En el conteo de coliformes totales no hay diferencias estadísticas significativas ($H = 1.76$, $gl = 24$, $p > 0.05$).

Cuadro 7. Cifras de levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y coliformes totales para la carga microbiológica del pulque listo para consumo de diferentes agricultores de Boyé, Cadereyta.

	Levaduras	BAL	Coliformes totales
Agricultor A <i>n</i> = 6	6.70 ± 0.55 a	6.31 ± 0.50 a	1.32 ± 1.50 a
Agricultor B <i>n</i> = 6	6.76 ± 0.53 a	6.65 ± 0.56 a	1.98 ± 1.53 a
Agricultor C <i>n</i> = 3	7.22 ± 0.24 a	7.05 ± 0.55 a	2.04 ± 1.83 a
Agricultor D <i>n</i> = 5	6.34 ± 0.46 a	6.85 ± 0.46 a	1.42 ± 1.95 a
Agricultor E <i>n</i> = 5	7.05 ± 0.26 a	5.50 ± 3.13 a	0.94 ± 1.31 a

Datos expresados en Log UFC/mL. Promedio de las concentraciones de levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y coliformes totales de 25 muestras de pulque analizadas por triplicado ± desviación estándar. Las letras entre líneas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis.

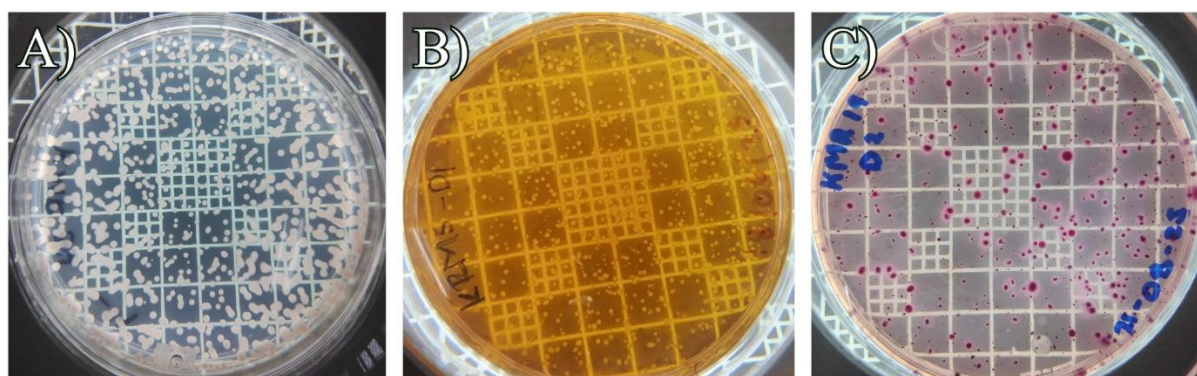


Figura 20. Medios de cultivo. A) Colonias de levaduras y mohos en medio Agar Papa Dextrosa (APD). B) Colonias de bacterias ácido lácticas (BAL) en medio Man Rogosa y Sharpe (MRS). C) Colonias de coliformes totales en medio Agar Bilis Rojo Violeta (ABRV).

5.14 Caracterización microbiológica de aguamiel y pulque por periodo de tiempo

El promedio de levaduras en aguamiel de la variedad “xa’mini” durante el primer periodo de muestreo es de 5.14 ± 0.84 Log UFC/mL, en el segundo periodo es de 6.30 ± 0.87 Log UFC/mL, mientras que en el tercero es de 5.30 ± 0.82 Log UFC/mL, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 2.89$ gl = 14, $p > 0.05$). El promedio de BAL durante el primer periodo es de 6.36 ± 0.30 Log UFC/mL, en el segundo es de 7.21 ± 0.19 Log UFC/mL, y en el tercer periodo de tiempo es de 6.48 ± 0.46 Log UFC/mL, presentando diferencias estadísticas significativas ($F = 10.36$, gl = 14, $p < 0.05$). En el conteo de coliformes totales, para el primer periodo de tiempo es de 4.21 ± 0.48 Log UFC/mL, en el segundo periodo es de 2.13 ± 1.81 Log UFC/mL, y en el tercero es de 3.31 ± 0.84 Log UFC/mL, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 3.26$, gl = 14, $p > 0.05$) (Figura 21).

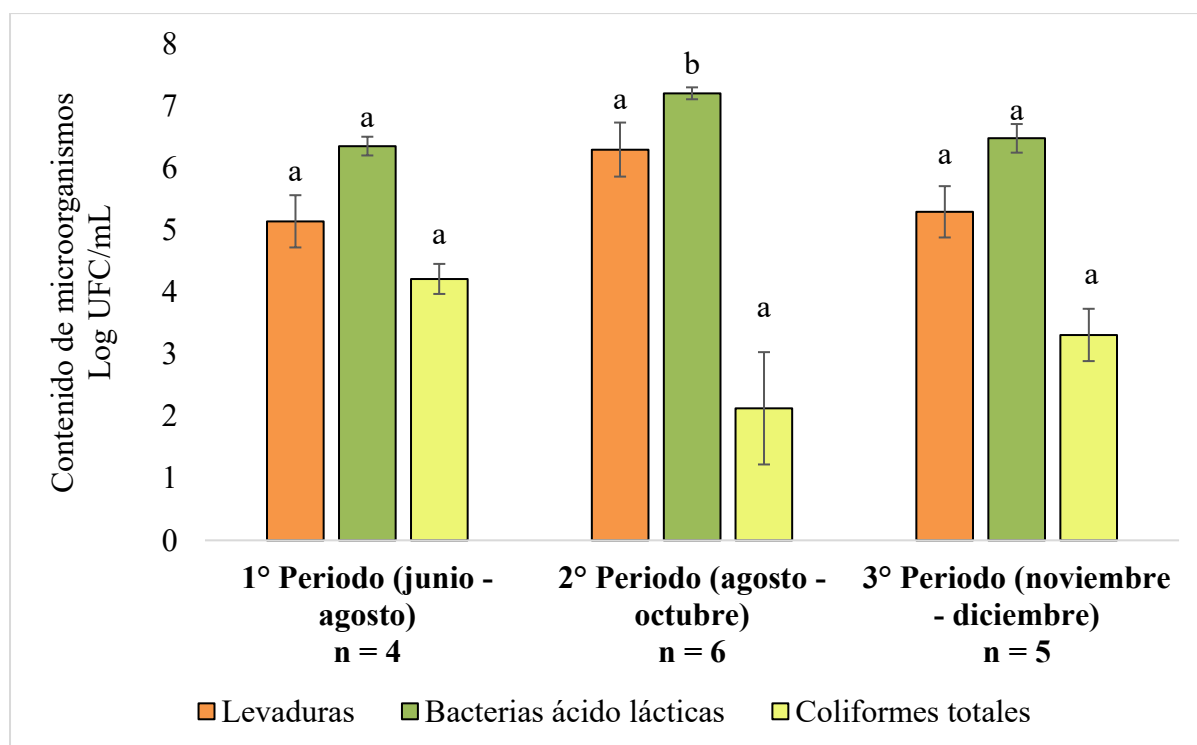


Figura 21. Caracterización microbiológica de aguamiel de *Agave salmiana* var. *ferox* (“xa’mini”) en diferentes periodos del año. Promedio de las concentraciones de levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y coliformes totales de 15 muestras de aguamiel \pm desviación

estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía de cada grupo microbiano entre periodos.

En el conteo de levaduras en el aguamiel de la variedad “chalqueño”, en el primer periodo de tiempo es de 6.10 ± 0.67 Log UFC/mL, en el segundo es de 6.45 ± 0.45 Log UFC/mL, y en el tercero es de 4.70 ± 0.60 Log UFC/mL, presentando diferencias estadísticas significativas ($F = 8.99$, $gl = 9$, $p < 0.05$). Para BAL el conteo en el primer periodo es de 6.59 ± 0.76 Log UFC/mL, en el segundo es de 7.28 ± 0.20 Log UFC/mL, y en el tercer periodo es de 5.45 ± 0.63 Log UFC/mL, con diferencias estadísticas significativas ($F = 8.47$, $gl = 9$, $p < 0.05$). Para coliformes totales el conteo en el primer periodo de tiempo es de 3.03 ± 2.62 Log UFC/mL, en el segundo es de 2.60 ± 2.39 Log UFC/mL, y en el tercero es de 3.63 ± 0.30 Log UFC/mL, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($F = 0.25$, $gl = 9$, $p > 0.05$) (Figura 22).

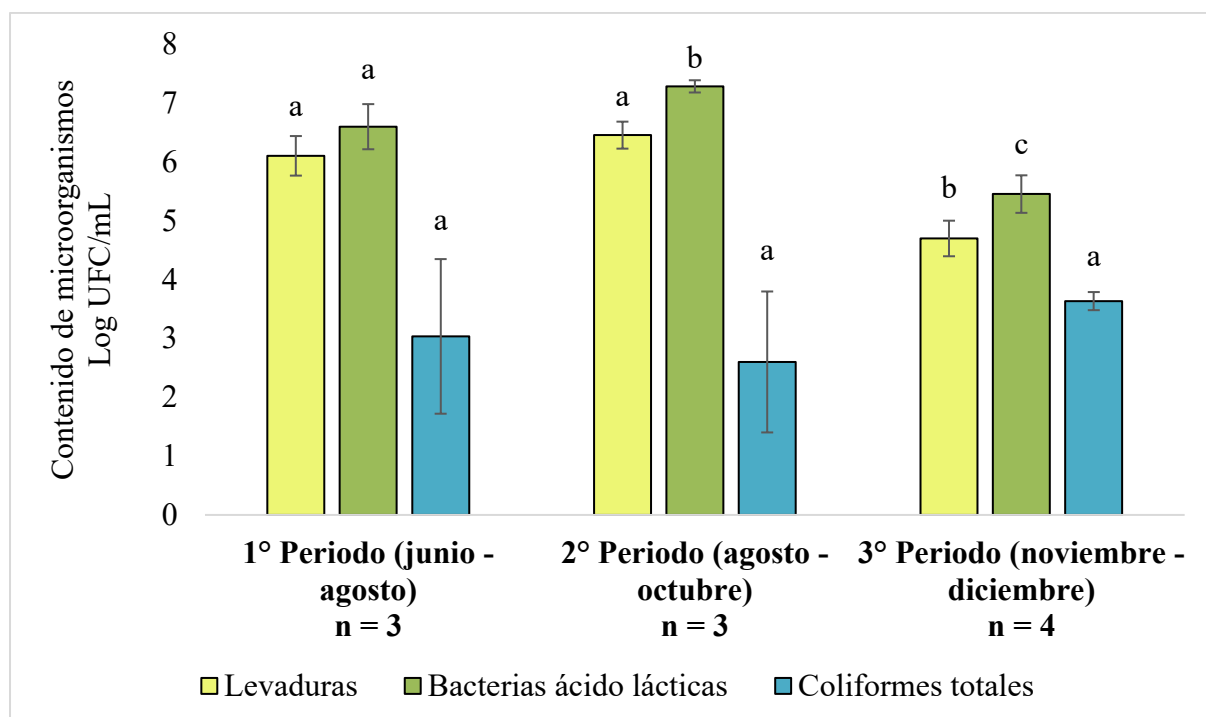


Figura 22. Caracterización microbiológica de aguamiel de *Agave salmiana* (“chalqueño”) en diferentes periodos del año. Promedio de las concentraciones de levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y coliformes totales de 10 muestras de aguamiel \pm desviación estándar. Las

letras sobre las columnas indican diferencia estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía de cada grupo microbiano entre variedades.

El promedio de levaduras en pulque durante el primer periodo de muestreo es de 6.46 ± 0.43 Log UFC/mL, en el segundo periodo es de 6.90 ± 0.51 Log UFC/mL y en el tercer periodo es de 7.01 ± 0.43 Log UFC/mL, presentando diferencias estadísticas significativas ($F = 3.57$, $gl = 24$, $p < 0.05$) (Figura 23). El promedio de BAL durante el primer periodo es de 6.84 ± 0.53 Log UFC/mL, en el segundo periodo es de 6.07 ± 2.49 Log UFC/mL y en el tercer periodo es de 6.33 ± 0.52 Log UFC/mL, sin diferencias estadísticas significativas ($H = 3.70$, $gl = 24$, $p > 0.05$). Por último, el promedio de coliformes totales durante el primer periodo es de 1.56 ± 1.53 Log UFC/mL, en el segundo periodo es de 1.41 ± 1.51 Log UFC/mL y en el tercero es de 1.54 ± 1.72 Log UFC/mL), sin presentar diferencias estadísticas significativas ($H = 0.19$, $gl = 24$, $p > 0.05$) (Figura 23).

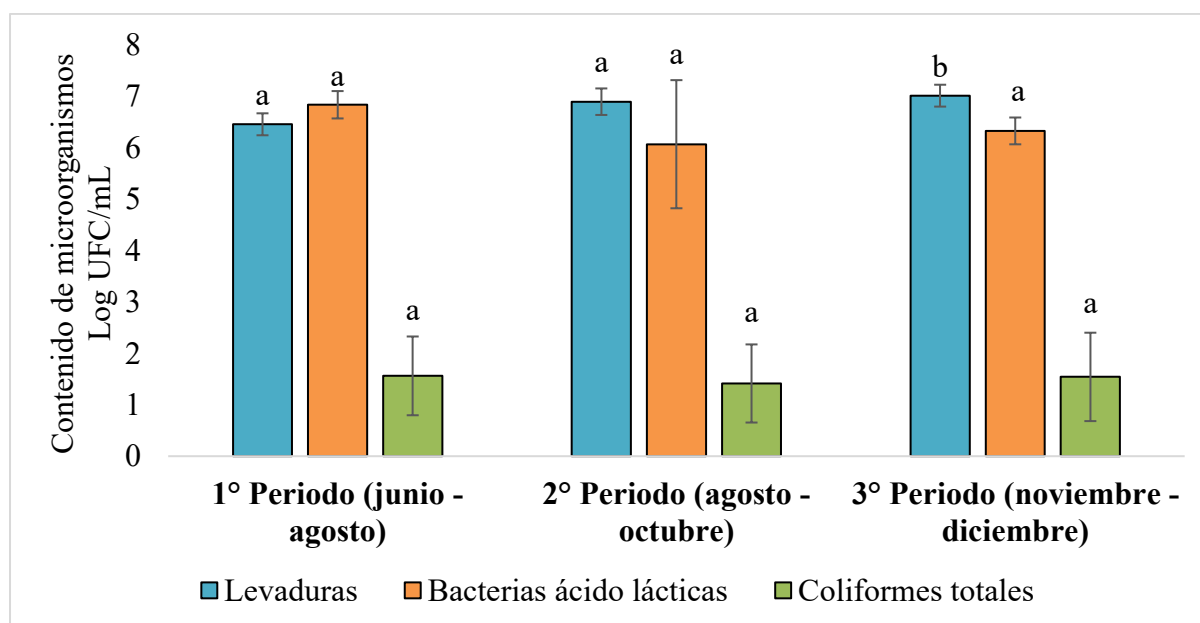


Figura 33. Caracterización microbiológica de pulque en diferentes periodos del año. Promedio de las concentraciones de levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y coliformes totales de 25 muestras de pulque \pm desviación estándar. Las letras sobre las columnas indican diferencia

estadística $p < 0.05$ mediante la prueba ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis de cada grupo microbiano entre variedades.

6. Discusión

6.1 Proceso de extracción de aguamiel y elaboración de pulque

En México se utilizan más de 40 especies de *Agave* para la elaboración del pulque. No obstante, cada lugar tiene sus especies y variedades de mayor uso. Por ejemplo, en Puebla y Tlaxcala, las principales especies pulqueras registradas en la región son: *A. salmiana* var. *salmiana* y *A. applanata* (Álvarez-Duarte *et al.*, 2018). También en la Ciudad de México la principal especie utilizada para la producción de pulque es *A. salmiana* var. *salmiana* (Álvarez Ríos, 2015). Además, en diferentes localidades del estado de Hidalgo: Singuilucan, Epazoyucan y Cardonal, se registraron 20 variedades tradicionales de maguey pulquero. De ellas, una variedad corresponde a la especie *A. mapisaga*, y una a *A. americana*. Mientras que los 18 restantes corresponden a la especie *A. salmiana*, dentro de esta especie se encuentran siete que pertenecen a *A. salmiana* var. *salmiana*, cuatro a *A. salmiana* ssp. *crassispina*, y una a *A. salmiana* var. *ferox* (Vega-García *et al.*, 2023). Esto sugiere, que *Agave salmiana* es la especie pulquera más reconocida para dicho propósito en diferentes regiones del país, ya que en el presente estudio ambas variedades (“xa’mini” y “chalqueño”) utilizadas para la extracción de aguamiel son *A. salmiana* (Figura 2). De igual manera, en diversos estudios se señala que *A. salmiana*, *A. americana* y *A. mapisaga* son de las principales especies productoras de pulque (Magallán Hernández y Hernández-Sandoval, 2000; González Álvarez, 2005; Vega Zamorano, 2024). De acuerdo con Vega-García *et al.* (2023), *A. salmiana* presenta una gran capacidad adaptativa para desarrollarse en diferentes condiciones ambientales.

En cuanto a los instrumentos empleados durante el proceso de elaboración de pulque, en Puebla y Tlaxcala utilizan el acocote hecho a base de una botella de plástico (Álvarez-Duarte *et al.*, 2018), similar a lo que se usa en Boyé, Cadereyta (Figura 5). Por el contrario, Arredondo Fernández (2023) señala que para la extracción de aguamiel en la Hacienda de Xochuca en el municipio de Tlaxco, Tlaxcala, se ocupa un acocote elaborado a base de fibra de vidrio, y que

además se traslada en contenedores de fibra de vidrio, finalmente se transporta en burro hasta el lugar donde será fermentado el pulque.

Rodríguez Juárez (2021), menciona que la producción del pulque ocurre en cuartos limpios, con poca exposición al sol y en lugares frescos a baja temperatura para preservar bien la bebida. Del mismo modo sucede con los agricultores en Boyé, Cadereyta, ya que mantienen sus contenedores en espacios abiertos y techados, donde circula el aire, por lo tanto, el ambiente es fresco. Además, el agricultor B menciona que en temporada de calor coloca sus fermentadores en una base de arena húmeda para conservar fresco el pulque.

Otra diferencia importante en el proceso de elaboración del pulque es la señalada por Escalante *et al.* (2016), que mencionan que cuando la fermentación produce un pulque de mala calidad, se le agrega raíces de plantas, hierbas o trozos de plantas de *Agave* para mejorar la fermentación, mientras que, Erlwein *et al.* (2013) en Concepción, Buenos Aires, Jalisco, mencionan agregar nuez moscada al pie de pulque con la finalidad de ayudar a la fermentación. En cambio, los agricultores de Boyé, Cadereyta, expresan no añadir ningún ingrediente para modificar el proceso de fermentación. Por lo cual, conforme a lo mencionado por Escalante *et al.* (2016), se considera importante documentar el proceso, con el fin de conservar las maneras tradicionales de elaborarlo.

En cuanto a la comercialización, el pulque de Boyé, Cadereyta, es para consumo local y venta en localidades como La Griega, Colón y el Marqués. Por el contrario, Álvarez-Duarte (2018) registra que lo producido en Chignahuapan-Zacatlán, Puebla, y Calpulalpan-Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala, se destina principalmente para la venta externa, a estados de Veracruz y Ciudad de México. Se considera importante señalar que, en Boyé, Cadereyta, existe una baja participación de la población juvenil, lo cual, coincide con lo mencionado por Aguilar Juárez *et al.* (2014), quien señala que los jóvenes no se involucran en el trabajo de campo en el Valle de México. Lo cual, puede poner en riesgo esta práctica con importancia biocultural. No

obstante, de acuerdo con Trejo *et al.* (2020), el pulque ha tenido un repunte en los últimos años debido al esfuerzo para promover el cultivo de magueyes y el consumo de pulque entre los jóvenes a través de ferias y eventos sociales. De igual manera, como se menciona en el presente estudio, también en el Valle del Mezquital, Hidalgo, Michoacán y Puebla, las mujeres se dedican a la actividad del raspado diario y participan activamente en el manejo del maguey pulquero (Vega-García *et al.*, 2023).

6.2 Composición química del aguamiel y pulque de Boyé, Cadereyta

En el presente estudio se determinaron valores de 11.2 °Bx en *Agave salmiana* var. *ferox* (“xa’mini”) y 10.5 °Bx en *Agave salmiana* (“chalqueño”). Similares a los mencionados por Flores-Morales *et al.* (2008), para maguey cenizo con 11.01 °Bx y maguey manso con 11.44 °Bx, pero menores que el maguey amarillo con 12.67 °Bx. De igual manera, Romero-López *et al.* (2015), mencionan 11.10 °Bx en aguamiel de *Agave atrovirens* en Michoacán. En el estado de Hidalgo los valores promedio de sólidos solubles en aguamiel en las localidades de Epazoyucan, Tepeapulco y Zempoala son 11.1 °Bx (Rocha-Arriaga *et al.*, 2020). Así mismo, Verduzco Tornel (2024) registra valores más altos con 14.5 °Bx en *Agave americana*, 11.87 °Bx en *Agave mapisaga* y 14.5 °Bx en *Agave salmiana* en localidades como El Marqués y Charco frío, Cadereyta. Las variaciones señaladas son muy probables, debido a que son diferentes las especies de *Agave* empleadas en cada región (Verduzco Tornel, 2024). Además, la disponibilidad de agua y nutrientes que tiene la planta contribuye a la composición química del aguamiel, ya que esto dicta que tan estresada está la planta, en suelos con poca absorción de agua, el maguey concentra mayores azúcares como mecanismo de reserva, y es posible que esté relacionado con el contenido de sólidos solubles (Fregoso-Zamorano *et al.*, 2023).

Los valores de pH de aguamiel pueden ir desde 4.83 hasta 6.79. Flores-Morales *et al.* (2008) analizaron aguamiel de tres variedades de *Agave* (manso, cenizo y amarillo) de Huamantla,

Tlaxcala. Los valores de pH fueron de 6.3 (maguey manso), 6.4 (maguey cenizo) y 6.6 (maguey amarillo). Romero-López *et al.* (2015) examinaron muestras de aguamiel de *Agave atrovirens* en Michoacán, de las cuales obtuvieron un pH de 6.29. Mientras que, en el estado de Hidalgo el valor promedio de pH de aguamiel en diferentes localidades (Epazoyucan, Tepeapulco y Zempoala) es de 4.83 (Rocha-Arriaga *et al.*, 2020). En cambio, Verduzco Tornel (2024) en las regiones de Boyé, Charco Frío y El Marqués, registra valores promedio de pH en aguamiel de *Agave salmiana* de 5.34, en *Agave americana* de 5.62 y en *Agave mapisaga* de 6.79 lo que representa ligeras diferencias con los resultados del presente estudio con valores de 5.75 en *Agave salmiana* var. *ferox* (“xa’ mini”) y 6.13 en *Agave salmiana* (“chalqueño”). Los resultados de Flores-Morales *et al.* (2008) y de Romero-López *et al.* (2015), son ligeramente mayores a los del presente estudio, así mismo, los resultados de Rocha-Arriaga *et al.* (2020) son menores a los del presente estudio. Estas variaciones posiblemente se deban a las diferentes especies de *Agave* que se utilizaron en cada estudio, además, al tratarse de la savia del maguey, influye el tipo de suelo, altitud de la región, y las características edáficas del lugar donde se encuentra la planta (Fregoso-Zamorano *et al.*, 2023). A los magueyes les favorecen los tipos de suelo tanto de origen ígneo como sedimentario, además de que se encuentran a una altitud desde los 0 hasta los 3,400 metros, variables que podrían influir en las diferencias en la composición química del aguamiel (García-Mendoza, 2002; García-Mendoza, 2007; Islas-Moreno *et al.*, 2021).

En el mismo estudio de Flores-Morales *et al.* (2008), analizaron los valores de ATT, los cuales variaron desde 14.1 g/L ácido láctico para la variedad cenizo, 14.7 g/L ácido láctico para la variedad de maguey amarillo y 16.5 g/L ácido láctico para el maguey manso. Del mismo modo, Romero-López *et al.* (2015) registró 0.0006 g/L ácido láctico en aguamiel de *Agave atrovirens* en Michoacán. También, Verduzco Tornel (2024) registra valores promedio de ATT en aguamiel de 1.10 g/L ácido láctico en *Agave americana*, 0.76 g/L ácido láctico en *Agave mapisaga* y 1.09 g/L ácido láctico en *Agave salmiana*. El último autor concuerda con los

resultados del presente estudio, ya que se obtuvieron valores en ATT de 1.2 g/L ácido láctico en *Agave salmiana* var. *ferox* (“xa’mini”) y 0.9 g/L ácido láctico en *Agave salmiana* (“chalqueño”). Sin embargo, los valores encontrados por Flores-Morales *et al.* (2008) son mayores a los del presente estudio y los de Romero-López *et al.* (2015) en aguamiel de *Agave atrovirens* son menores a los del presente estudio. Las diferencias anteriormente mencionadas se relacionan con que la composición química del aguamiel que va a producir un maguey varía de acuerdo a la especie de *Agave*, características edáficas y condiciones climáticas de la región (Medina-Mendoza *et al.*, 2022). De acuerdo con Ulloa *et al.* (1987), el aguamiel presenta cambios durante el proceso de fermentación, como disminución de sólidos solubles (°Bx) y pH, y un incremento en la producción de ácido láctico y de alcohol, estos cambios fueron percibidos en los resultados químicos del presente estudio.

Mientras tanto, el pulque en las localidades de Guanajuato (Comonfort y Valle de Santiago) se registra con 4.33 y 3.56 °Bx, respectivamente, mientras que, el de Tarimoro con 8.46 °Bx (Flores-Rodríguez y Miranda-López, 2023). Acorde a lo señalado por Lozano Hernández (2023), el pulque en Apan, Hidalgo, presenta 3.63 °Bx. También, Verduzco Tornel (2024) registra valores promedio de 4.0 a 9.0 °Bx. La mayoría de estos resultados se encuentran dentro del promedio señalado en el presente estudio con 4.9 °Bx, a excepción de los resultados de la localidad de Tarimoro y el máximo registrado por Verduzco Tornel (2024). Dichas diferencias pudieran deberse a variaciones en el proceso de fermentación, así como la especie de *Agave* empleada, temperatura de las diferentes regiones, el tiempo de fermentación, la concentración del sustrato y la disponibilidad de nutrientes, estos factores influyen en el proceso de fermentación (Mengesha *et al.*, 2022).

En localidades del estado de Hidalgo (Epazoyucan, Tepeapulco y Zempoala) el pulque presenta valores promedio de pH de 4.07 (Rocha-Arriaga *et al.*, 2020). En Apan, Hidalgo, de acuerdo con Lozano Hernández (2023) documenta valores de 3.69 de pH en pulque fresco. De igual

manera, Verduzco Tornel (2024) señala valores promedio de pH entre 3.52 y 4.25 en pulque de las regiones de Boyé, Charco Frío y El Marqués. Mientras que, Flores-Rodríguez y Miranda-López (2023), registran valores de pH en tres regiones de Guanajuato (Comonfort, Tarimoro y Valle de Santiago) de 4.12, 3.68 y 3.14, respectivamente, estos valores se encuentran dentro del promedio del presente estudio con 3.5 de pH en Boyé, Cadereyta. En cuanto a ATT, en Apan, Hidalgo, Lozano Hernández (2023) registra 8.5 g/L ácido láctico en pulque. Verduzco Tornel (2024) notifica valores de entre 2.4 - 4.7 g/L ácido láctico. En el mismo estudio de Flores-Rodríguez y Miranda-López (2023) encuentran en las tres localidades una ATT en pulque de 7 g/L ácido láctico en Comonfort, de 7.6 g/L ácido láctico en Tarimoro y 6.9 g/L ácido láctico en Valle de Santiago. Los valores del pulque en el presente estudio (5.9 g/L ácido láctico) son similares a los documentados por Verduzco Tornel (2024), por pertenecer a la misma región de estudio. Mientras que las diferencias con los otros autores podrían estar relacionadas con el pie de pulque o inóculo y también con la producción de ácidos orgánicos, ácido láctico y acético, durante el metabolismo de las BAL (Pérez Pérez y Ramírez Martínez, 2011).

Por otro lado, en la localidad de Santa Mónica, en el estado de Hidalgo, los valores del contenido de alcohol en pulque son 6.6 % (7 días de fermentación) y en semilla 3.2 % (inóculo para la elaboración de pulque) (Herrera Solórzano, 2008). Los cuales difieren con el valor promedio encontrado en pulque del presente estudio con 4.0 %. En cambio, en el poblado de San Simón Tlatlahuquitepec, en el estado de Tlaxcala, se notificó un porcentaje de etanol de 10.35 % de un pulque obtenido tras 48 horas de fermentación, más del doble del valor registrado en el presente estudio (Cervantes-Contreras y Pedroza-Rodríguez, 2007). De la misma manera, Flores-Rodríguez y Miranda-López (2023) señalan 2.4 %, 4.7 % y 1.96 % de alcohol en pulque de las localidades de Comonfort, Tarimoro y Valle de Santiago, en el estado de Guanajuato. Así mismo, Lozano Hernández (2023) señala que el pulque de Apan, Hidalgo

contiene 9.5 % de alcohol. Estas diferencias en el contenido de alcohol pueden deberse a las condiciones climáticas en las que se elabora el pulque, ya que son factores que influyen en la composición, debido a que la lluvia, el calor y el frío, y sobre todo el tiempo de fermentación, que origina las características químicas y el sabor del pulque (Medina-Mendoza *et al.*, 2022; Flores-Rodríguez y Miranda-López, 2023).

En comparación con los parámetros establecidos en la Norma Mexicana NMX-V-037 únicamente el pulque de dos agricultores (C y D) cumple con los niveles de pH (3.5 – 4.0), mientras que, en ATT los agricultores E y D entran dentro del intervalo (4.0 – 7.0) de la Norma. Por último, las muestras de los agricultores A y E coinciden con lo establecido en la Norma en el contenido de alcohol (4.0 – 6.0) (Cuadro 6).

6.3 Composición microbiológica del aguamiel y pulque de Boyé, Cadereyta

En un estudio de Herrera Solórzano (2008), en la población de Santa Mónica, en el estado de Hidalgo, se analizaron muestras de aguamiel de *A. salmiana*. El sembrado fue por el método de extensión en superficie en placas con medio de extracto de malta-extracto de levadura agar (EMELA) y en medio de rosa de bengala-dicloran-cloranfenicol agar (RBDCA). El conteo de levaduras obtenidas en aguamiel (*A. salmiana*) de Hidalgo son más bajas en el medio EMELA (3 Log UFC/mL) y son valores similares en el medio RBDCA (5.81 Log UFC/mL), comparados con los valores promedio de levaduras del aguamiel en Boyé, Cadereyta, con 5.66 Log UFC/mL en la variedad “xa’mini” y 5.64 Log UFC/mL en la variedad “chalqueño”, sembrado en medio APD. Así mismo, Cervantes-Contreras y Pedroza-Rodríguez (2007), encuentran 5.23 Log UFC/mL de hongos levaduriformes en el aguamiel de muestras analizadas en el estado de Tlaxcala, en el pueblo de San Simón Tlatlahuquitepec, estas cifras de levaduras en aguamiel son ligeramente menores en comparación con las que se registran en el presente estudio para Boyé, Cadereyta. Igualmente, Estrada-Godina *et al.*, (2001), presenta un estudio donde señala que, en muestras de aguamiel en localidades de Tlaxcala e Hidalgo, predominan

las levaduras. Según lo registrado por Escalante *et al.* (2008), las muestras de aguamiel analizadas en Huitzilac, estado de Morelos, presentan un conteo de 4.49 Log UFC/mL de levaduras totales. Conforme a los registros de Verduzco Tornel (2024) en muestras de El Marqués, Boyé y Charco Frío, Cadereyta, muestran que el aguamiel tiene un promedio de levaduras de 4.15 Log UFC/mL en *A. mapisaga*, de 4.45 Log UFC/mL en *A. americana* y 4.57 Log UFC/mL en *A. salmiana*. Los resultados de los últimos autores presentan valores menores a los registrados en el presente estudio. Las diferencias de carga microbiana de levaduras, podrían explicarse por posibles cambios en el pH del aguamiel de las diferentes regiones, ya que, de acuerdo con Nopala Timoteo (2023), a las levaduras les resulta favorable un medio ligeramente ácido con un pH entre 4.5 a 6.5, además de que, las condiciones ambientales afectan la supervivencia de los microorganismos, y el aguamiel se encuentra en contacto directo con el ambiente, lo que podría estar influyendo en el contenido microbiológico del aguamiel.

Según lo señalado por Escalante *et al.* (2008), las muestras de aguamiel analizadas en Huitzilac, estado de Morelos, presentan un conteo de 9.51 Log UFC/mL de BAL. Del mismo modo, Lozano Pérez (2007) analizó muestras de aguamiel en Huitzilac, estado de Morelos, de las cuales presentó una cuenta en agar APT (All Purpose Tween) de 8.51 Log UFC/mL de bacterias lácticas. Lo anterior indica que el aguamiel de Huitzilac, Morelos, presenta un recuento mayor de BAL que las muestras del presente estudio en Boyé, Cadereyta, con 6.74 Log UFC/mL en aguamiel de la variedad “xa’mini” y 6.34 Log UFC/mL en la variedad de “chalqueño”. Del mismo modo, Verduzco Tornel (2024) registra 7.05 Log UFC/mL de BAL en aguamiel de *A. mapisaga*, 6.95 Log UFC/mL en aguamiel de *A. americana* y 7.32 en aguamiel de *A. salmiana*, cifras ligeramente más altas que las del presente estudio. De acuerdo con Parra Huertas (2010) los factores que influyen en el crecimiento de las BAL, son los requerimientos nutricionales y la temperatura, por lo cual, las diferencias en la carga microbiana de BAL en el aguamiel podrían deberse a la disponibilidad de nutrientes y a los cambios de temperatura, ya que la zona

de Huitzilac, Morelos, presenta un clima templado húmedo (INEGI, 2010), a diferencia de Cadereyta que presenta en su mayoría clima semiseco templado (INEGI, 2022).

Mientras tanto, las muestras de pulque en Hidalgo presentan un valor más alto en el conteo de levaduras en medio RBDCA (8.73 Log UFC/mL) y en medio EMELA (8.54 Log UFC/mL) (Herrera Solórzano, 2008), a diferencia con el valor promedio del pulque registrado en el presente estudio para Boyé, Cadereyta, con 6.78 Log UFC/mL en medio APD. De igual manera, Cervantes-Contreras y Pedroza-Rodríguez (2007), encuentran 9.70 Log UFC/mL de hongos levaduriformes en el pulque, de muestras analizadas en el estado de Tlaxcala, en el pueblo de San Simón Tlatlahuquitepec, estos valores son mayores a los registrados en el presente estudio para Boyé, Cadereyta (6.78 Log UFC/mL). De acuerdo con Escalante *et al.* (2008) el pulque en Huitzilac, estado de Morelos, presenta 7.28 Log UFC/mL de levaduras. Así mismo, los registros de Verduzco Tornel (2024) en localidades de Querétaro (El Marqués, Boyé y Charco Frío, Cadereyta) muestran que el pulque contiene entre 5.0 y 7.8 Log UFC/mL de levaduras, similares a los registrados en el presente estudio para la región de Boyé, Cadereyta. De acuerdo con Verduzco Tornel (2024), estas diferencias podrían deberse a que la diversidad microbiana asociada a la bebida es dependiente de la región en la que se produzca, debido a que la producción es artesanal y variable en tiempo de fermentación, cantidad de aguamiel con la que se alimenta el inóculo y nutrientes disponibles. En el pulque se muestra un aumento significativo ($p < 0.05$) de UFC/mL de levaduras presentes en pulque comparado con el aguamiel (Figura 17 y 18, Cuadro 7), esto puede ser por la presencia del inóculo de microorganismos presentes en el pulque, que aprovechan los carbohidratos del aguamiel y aumenta el número de microorganismos a lo largo de la fermentación, mientras que el aguamiel a pesar de ser alto en azúcares y proteínas, sus poblaciones microbianas esperan latentes hasta encontrar las condiciones óptimas para crecer (Matías Luis *et al.*, 2019).

En BAL Escalante *et al.* (2008) encuentran 8.18 Log UFC/mL en pulque de Huitzilac, estado de Morelos. Mientras que, Verduzco Tornel (2024), registra un promedio de 5.8 - 9.3 Log UFC/mL de BAL en pulque de diferentes localidades de Querétaro (El Marqués, Boyé y Charco Frío, Cadereyta). También, Valadez-Blanco *et al.* (2012) encuentra en muestras de pulque en Tamazulápam, Oaxaca concentraciones entre 7.8 y 11.4 Log UFC/mL de BAL. De igual manera, Álvarez-Ríos *et al.* (2020a), registra valores de 8.50 Log UFC/mL en Santiago Undameo, Michoacán, y 8.28 Log UFC/mL en Tarimbaro, Michoacán, utilizando medio Agar Soya Trypticaseína y Agar MRS con citrato de amonio. Estos resultados difieren con los valores del presente estudio, debido a que se tiene un promedio de 6.43 Log UFC/mL de BAL en pulque de Boyé, Cadereyta, en medio Agar MRS.

Conforme a lo descrito por Escalante *et al.* (2004), en la diversidad microbiana en muestras de pulque predomina especies del grupo lactobacilli (antiguo género *Lactobacillus*) en un 80.97 %. Sin embargo, hay factores que influyen en las diferencias del crecimiento de BAL como es el tipo de nutrientes y cantidad de estos presentes en el sustrato (inóculo para fermentar), también el medio de cultivo empleado y el tiempo de incubación, estas variables podrían estar implicadas en las variaciones de crecimiento de BAL. Inclusive el contenido de etanol puede afectar el crecimiento de BAL, además, los niveles mayores a 6 % de etanol pueden inhibir el crecimiento de algunas de estas bacterias (Pérez Pérez y Ramírez Martínez, 2011). En general, el pulque contiene valores altos de ácido láctico, en comparación con los del aguamiel (Figura 9, Cuadro 6), debido a que el aguamiel es una bebida fresca y las BAL apenas empiezan la conversión de los azúcares en ácidos, en cambio, el pulque es una bebida fermentada, donde las BAL han tenido el tiempo suficiente para producir ácido láctico durante la fermentación.

En cuanto a coliformes totales, los registros de Verduzco Tornel (2024) en localidades de El Marqués y Charco Frío, Cadereyta, muestran que el aguamiel tiene un promedio de 2.10 Log UFC/mL en *A. mapisaga*, 2.1 Log UFC/mL en *A. americana* y 1.6 Log UFC/mL en *A.*

salmiana, mientras que en el pulque registra niveles de 0.3 - 1.8 Log UFC/mL. También, Pérez Pérez y Ramírez Martínez (2011) obtuvieron el recuento de coliformes totales en muestras de pulque en localidades de Hidalgo (San Pedro Huaquilpan, Apan, Tepetitlán, Progreso, Tlamaco, Atotonilco, Ocampo y Zapotlán de Juárez) en las cuales obtuvieron < 2 Log UFC/mL. Similares a los registrados en el presente estudio, en aguamiel de la variedad “xa’mini” con 3.08 Log UFC/mL, en aguamiel de la variedad “chalqueño” con 3.14 Log UFC/mL y en pulque con 1.51 Log UFC/mL. Sin embargo, es notoria la diferencia entre el recuento de coliformes totales en aguamiel y en pulque, lo cual podría explicarse por el proceso de fermentación en el pulque, ya que esto hace que el medio se acidifique y de este modo, los coliformes disminuyen su población, es por ello, que, en el presente estudio, las muestras de pulque los coliformes totales presentan una reducción de carga comparadas con las muestras de aguamiel (Figura 16, Cuadro 7) (Calderón *et al.*, 2017). Además, debido a la exposición del maguey con el ambiente, el aguamiel constituye un medio favorable para la proliferación de microorganismos, mismos que podrían estar presentes en el cajete de la planta, en el “xhinfi” que se deja cerca del cajete, o microorganismos inoculados a través de las herramientas utilizadas en el proceso de elaboración y también en vectores como el viento o insectos como *Drosophila* (Silva-López *et al.*, 2025).

6.4 Composición química y microbiológica del aguamiel y pulque en función del proceso de elaboración

Las similitudes en el contenido químico y microbiológico, entre las muestras de aguamiel, tanto de la variedad “xa’mini” (*Agave salmiana* var. *ferox*) como de la variedad “chalqueño” (*Agave salmiana*) entre los cinco agricultores cooperantes, puede explicarse porque las parcelas de los agricultores se encuentran cerca entre sí, y se comparten entre agricultores las plantas de maguey. Además, a través de las entrevistas llevadas a cabo, se observó la disminución de la propagación sexual (reproducción por semilla) y el incremento de la propagación asexual

(reproducción por hijuelos y bulbos) esto implica que haya poca variabilidad genética entre las especies de *Agave*, y, por lo tanto, puede estar relacionado con que la composición química del aguamiel sea semejante (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 2017). Sin embargo, presentan diferencias en la carga microbiana de coliformes totales en aguamiel, que pueden deberse a que cada agricultor utiliza diferente material para cubrir el cajete del maguey, siendo los agricultores A, B y D aquellos que presentan los niveles más altos de coliformes totales, y estos coinciden en cubrir la cavidad del maguey con penca y bolsa plástica o costal, lo que otorga menos soporte a comparación de los otros agricultores que cubren con una piedra, además el uso de materiales como la penca, favorece la retención de humedad y facilita el crecimiento de microorganismos.

El material del techo del lugar donde se elabora el pulque influye en la temperatura, ya que la lámina tiende a generar calor, es probable que por esta razón los agricultores C y E presentan las poblaciones de levaduras más altas y ambos utilizan techo de lámina, lo que podría estar acelerando la actividad de las levaduras. En cambio, el lugar para elaborar pulque del agricultor A es con techo de concreto y el agricultor B mantiene sus contendedores en una base de arena, son factores que posiblemente contribuyen a mantener un ambiente más fresco y estabilidad en la actividad microbiana.

Los agricultores A y E utilizan tres variedades de *Agave*, y su pulque presenta los niveles de alcohol más altos, lo cual, podría estar relacionado con que al mezclar todas las variedades están aportando mayores azúcares y nutrientes, lo que permite a las bacterias fermentadoras trabajar de mejor manera en la conversión de azúcares a etanol. Aquellos agricultores que emplean al menos tres variedades de *Agave* para la elaboración de su pulque, podrían estar contribuyendo a que presente una mayor diversidad de microorganismos benéficos como las BAL y levaduras. Finalmente, conforme a lo mencionado por Álvarez Ríos (2015) no existe

un solo tipo de pulque sino una gran diversidad de pulques, debido a los diferentes factores que influyen en su composición química y microbiológica.

7. Conclusiones

- Los agricultores de Boyé, Cadereyta, emplean principalmente para la elaboración de pulque las variedades de *Agave*: “xa’mini” (*Agave salmiana* var. *ferox*) y “chalqueño” (*Agave salmiana*).
- No hay diferencias en el proceso de extracción del aguamiel y la elaboración de pulque entre los cinco agricultores. Sin embargo, difieren en el material para proteger el aguamiel en el cajete del maguey y con el que se tapa el contenedor de los tinacales y el espacio en donde se resguardan los contenedores de pulque.
- La composición química y microbiológica del aguamiel de la región estudiada es homogénea independientemente de la variedad empleada para su obtención (“xa’mini” (*Agave salmiana* var. *ferox*) y “chalqueño” (*Agave salmiana*)).
- La composición química y microbiológica del aguamiel no presenta diferencias estadísticas significativas entre los cinco agricultores cooperantes.
- La composición química del pulque producido en la región estudiada muestra una variación mayor en sólidos solubles (° Bx) y porcentaje de alcohol entre los cinco agricultores, diferencias que pueden estar asociadas a las variaciones durante el proceso de fermentación, mientras que, la composición microbiana es similar entre el pulque de los cinco agricultores cooperantes.
- Conforme a lo reportado en la bibliografía la composición química del pulque de Boyé es diferente al pulque producido en regiones como Guanajuato, Hidalgo, El Marqués, Tarimoro y Charco frío, Cadereyta. Del mismo modo, la composición microbiológica del pulque de Boyé es diferente al producido en regiones como Tlaxcala, Morelos, Oaxaca y Michoacán.
- De acuerdo con la bibliografía la composición química del aguamiel de Boyé es diferente al aguamiel que se extrae en regiones como Tlaxcala, Michoacán e Hidalgo. Así como la

composición microbiológica del aguamiel de Boyé es diferente a la que se extrae en Hidalgo, Morelos, El Marqués y Charco frío, Cadereyta.

8. Recomendaciones

Se sugiere complementar el estudio con el contenido de otros parámetros químicos como: vitaminas, minerales, proteínas, densidad, humedad, cenizas. Además, analizar los géneros taxonómicos de levaduras y BAL presentes en las muestras de pulque y aguamiel de la región.

9. Literatura citada

- Aguilar Juárez, B., Enríquez Del Valle, R., Rodríguez-Ortiz, G., Granados Sánchez, D., y Cerero, B. M. (2014). El estado actual de *Agave salmiana* y *Agave mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, Vol. 1, Núm. 2. pp.106-120
- Álvarez-Duarte, M.C., García-Moya, E., Suárez-Espinosa, J., Luna-Cavazos, M., y Rodríguez-Acosta, M. (2018). Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en los municipios de Puebla y Tlaxcala. *Polibotánica*, Núm. 45. pp.205-222. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.15>
- Álvarez-Ríos, G. D. (2015). "Del maguey al vaso: el manejo del pulque en las pulquerías del Distrito Federal y en las localidades abastecedoras". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/148349>
- Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J. y Casas, A. (2020a). Physical, Chemical, and Microbiological Characteristics of Pulque: Management of a Fermented Beverage in Michoacán, Mexico. *Foods*, Vol. 9, Núm. 3. pp. 361 <https://doi.org/10.3390/foods9030361>
- Álvarez-Ríos, G. D., Figueredo-Urbina, C. J., y Casas, A. (2020b). Sistemas de manejo de maguey pulquero en México. *Revista Etnobiológica*, Vol. 18, Núm. 2. pp.3- 23.
- Arredondo Fernández, R. (2023). Determinación de la sucesión de las comunidades de levaduras y de los cambios fisicoquímicos durante la elaboración de pulque comercial de la hacienda Xochuca, Tlaxco, Tlaxcala, México. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Instituto de Biología, UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3671633>
- Calderón, R., Jácome, J. D., Reyes, M., Rojas, D. y Ramírez Cando L. J. (2017). Consideración básica sobre la seguridad microbiológica de los jugos de naranja expendidos en los alrededores de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Quito, Campus "El Girón". *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, Vol. 25, Núm. 1. pp.71-84.
- Cervantes-Contreras, M., y Pedroza-Rodríguez, A. (2007). El Pulque: Características Microbiológicas y Contenido Alcohólico Mediante Espectroscopia Raman. *Nova*, Vol. 5, Núm. 8. pp. 135-146. <https://doi.org/10.22490/24629448.382>
- Colunga-GarcíaMarín, P. I., Torres-García, I., Casas, A., Figueredo-Urbina, C., Rangel-Landa, S., Lemus, A., Vargas-Ponce, O., Cabrera-Toledo, D., Zizumbo-Villarreal D., Aguirre-Dugua. X., Eguiarte, L., Carrillo-Galván, M. (2017). El *Agave* y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. En: Casas A., J. Torres-Guevara, F. Parra (Eds.). México. Domesticación en el Continente Americano. UNAM / UNALM, Vol. 2. pp. 275-282.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Querétaro. (2025). La biodiversidad en Querétaro. Estudio de Estado. México.

- Erlwein, S., Mira Tapia, J., Velasco Pegueros, A. (2013). Proceso de elaboración del pulque, su importancia económica y concepción social en Apan, Hidalgo. Ejercicios etnográficos, aprendiendo a investigar. México. Escuela Nacional de Antropología e Historia - Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, pp.59-103.
- Escalante, A., Rodríguez, M.E., Martínez, A., López-Munguía, A., 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, Vol. 235, Núm. 2. pp.273–279. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2004.04.045>
- 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, Vol. 124, Núm. 2. pp.126–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.003>
- 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, Vol. 7, pp.1026. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>
- Estrada-Godina, A.R., Cruz, A., Lappe-Oliveras, P., Ulloa, M., García-Garibay, M. y Gómez-Ruiz, L. (2001). Isolation and identification of killer yeasts from *Agave* spp. (aguamiel) and pulque. World Journal of Microbiology and Biotechnology, Núm. 17. pp. 557-560.
- Flores-Morales, A., Mora-Escobedo, R., Romero-Aguilar L. (2008). Evaluación fisicoquímica del aguamiel de tres variedades de maguey pulquero (*Agave* spp.). Revista Salud Pública y Nutrición, Vol. 8. pp.1-9
- Flores-Rodríguez, E. y Miranda-López, R. (2023). Caracterización fisicoquímica y sensorial del pulque producido en la zona sur del estado de Guanajuato. Revista Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología De Alimentos, Vol. 8, Núm. 1. pp.363–368. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.49>
- Fregoso-Zamorano, B. E., Mancilla-Villa, O. R., Guevara-Gutiérrez, R. D., Moreno-Hernández, A., Figueroa-Bautista, P., Can-Chulim, Á., Hernández-Vargas, O., Cruz-Crespo, E., Ortega-Escobar, H. M., Khalil Gardezi, A. y Villalvazo-López, V. M. (2023). Caracterización edafológica con cultivo de *Agave* azul (*Agave tequilana* Weber) en Tonaya y Tuxcacuesco, Jalisco, México. Terra Latinoamericana, Vol. 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1592>
- García-Mendoza, A. (2002). “Distribution of the genus *Agave* (Agavaceae) and its endemic species in México”. Cactus and Succulent Journal (US), Núm. 74. pp. 177-187.
- García-Mendoza, A. (2007). Los *Agave* de México. UNAM, Vol. 87. pp.14-23

- González Álvarez, M., (2005). Revisión taxonómica de la sección *Salmianae* Berger del género *Agave* L. (Agavaceae). (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/22588>
- Herrera Solórzano, M. (2008). Identificación polifásica de levaduras y bacterias ácido lácticas aisladas de aguamiel, pulque y semilla. (Tesis de Maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. pp.2-26. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1160>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal. Huitzilac, Morelos.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. (2020). Principales resultados por localidad (ITER). Censo de Población y Vivienda.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Aspectos geográficos de Querétaro. Compendio de información geográfica.
- Islas-Moreno, A., Rocillo-Aquino, Z. I. y Thomé-Ortiz, H. (2021). El papel de las fiestas en la revalorización del pulque, una bebida ancestral del centro de México. Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad, Vol. 8, Núm. 22. pp.128-145. <https://dx.doi.org/10.35588/rivar.v8i22.4780>
- Lozano Hernández, I. G. (2023). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de pulque almacenado a bajas temperaturas. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. pp.5-14.
- Lozano Pérez, L. M. (2007). Análisis de la diversidad de bacterias Gram-positivas presentes en aguamiel y en el inicio de la fermentación del pulque, por técnicas microbiológicas y moleculares. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de México. pp.14-28
- Magallán Hernández, F., y Hernández Sandoval, L. (2000). La familia Agavaceae en el Estado de Querétaro, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, Núm. 66. pp.103-112
- Matías Luis, G., Peña Caballero, V., Reyna González, W. (2019). Valor nutricional y medicinal del pulque. Journal of Negative & No Positive Results, Vol. 4, Núm. 12. pp.1291-1303 <https://doi.org/10.19230/jonnpr.3148>
- Medina-Mendoza, C., Roldán-Cruz, E. y Vázquez-Jahuey, M. (2022). Caracterización fisicoquímica, microbiológica y organoléptica del aguamiel y pulque del Alto Mezquital, Hidalgo. Agricultura, Sociedad y Desarrollo, Vol. 19, Núm. 4. pp.448-462. <https://doi.org/10.22231/asyd.v19i4.1412>
- Mengesha, Y., Tebeje, A. y Tilahun, B. (2022). A Review on Factors Influencing the Fermentation Process of Teff (*Eragrostis teff*) and Other Cereal-Based Ethiopian Injera. International journal of food science, Vol. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4419955>
- Nopala Timoteo, R. I. (2023). Aislamiento de levaduras obtenidas de aguamiel y su caracterización en la producción de bebidas alcohólicas. (Tesis de Ingeniería).

- Parra Huertas, R., A. (2010). Review. Bacterias ácido lácticas: papel funcional en los alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 8, Núm. 1. pp.93-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380878960009>
- Pérez Pérez, V. y Ramírez Martínez, L. A. (2011). Aislamiento de bacterias ácido lácticas (BAL) de bebidas fermentadas: pulque y tepache. (Tesis de licenciatura). Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. México. pp.12-48.
- Rocha-Arriaga, C., Espinal-Centeno, A., Martínez-Sánchez, S., Caballero-Pérez, J., Alcaraz, L. D. y Cruz-Ramírez, A. (2020). Deep microbial community profiling along the fermentation process of pulque, a biocultural resource of Mexico. *Microbiological Research*. Vol. 241. pp.2-7. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126593>
- Rodríguez Juárez, F. A., Urbina Carrasco, H. S. y Zapata Hernández, A. (2021). Pulque: contenido probiótico y potencial en la industria biotecnológica. *Revista Digital-Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, Vol. 7, Núm. 20. pp.95–110. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2021.20.601>
- Romero-López, M. R., Osorio-Díaz P., Flores-Morales A., Robledo, N. y Mora-Escobedo. (2015). Chemical composition, antioxidant capacity and prebiotic effect of aguamiel (*Agave atrovirens*) during *in vitro* fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 14, Núm. 2. pp.281-292.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (SECOFI). (1972). NMX-V-037-1972. Pulque manejado a granel. Norma Oficial Mexicana Dirección General de Normas. México. Vol. 14, Núm. 6. pp.845-849
- Silva-López, N.L., Martínez-Hernández, S. y Urbina-Figueroa, C. J. (2025). Microorganismos asociados al aguamiel en el *Agave* pulquero en Hidalgo, México. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, Vol. 12 Núm. 24. pp.92-101. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12i24.12206>
- Trejo, L., Reyes, M., Cortés-Toto, D., Romano-Grande, E., y Muñoz-Camacho, L. L. (2020). Morphological Diversity and Genetic Relationships in Pulque Production *Agave* in Tlaxcala, Mexico, by Means of Unsupervised Learning and Gene Sequencing Analysis. *Frontiers in plant science*, Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.524812>
- Ulloa, M., Herrera, T. y Lappe, P. (1987). Fermentaciones tradicionales indígenas de México. *Instituto Nacional Indigenista*. Vol. 16, Núm 16. pp.33-39.
- Valadez-Blanco, R., Bravo-Villa, G., Santos-Sánchez, N. F., Velasco-Almendarez, S. I. y Montville T. J. (2012). La Producción Artesanal del Pulque, Bebida Tradicional del Altiplano Mexicano. *Probióticos y proteínas antimicrobianas*, Vol. 4. pp.140-144. <https://doi.org/10.1007/s12602-012-9096-9>

- Vega-García, M. A., Álvarez-Ríos, G. D. y Figueredo-Urbina, C. J. (2023). Sistemas de manejo de *Agave* pulqueros en el estado de Hidalgo. *Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, Vol. 10, Núm. 20. pp.92–100. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.9598>
- Vega Zamorano, A. (2024). Distribución y pruebas pregerminativas en las especies del género *Agave* (Asparagaceae) en Cadereyta, Querétaro. (Tesis de licenciatura). Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/10353>
- Verduzco Tornel, M. (2024). Caracterización microbiológica, física y química del pulque producido en el estado de Querétaro. (Tesis de maestría). Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/11310>

Anexos

Anexo 1. Taxones de magueyes utilizados para la elaboración de pulque. Basado en: Álvarez Ríos (2015).

Especies y variedades de *Agave pulquero*.

1. <i>Agave americana</i> subsp. <i>protamericana</i>	16. <i>Agave karwinskii</i>	31. <i>Agave salmiana</i> var. <i>angustifolia</i>
2. <i>Agave americana</i> var. <i>americana</i>	17. <i>Agave kerchovei</i>	32. <i>Agave salmiana</i> var. <i>ferox</i>
3. <i>Agave americana</i> var. <i>marginata</i>	18. <i>Agave lechuguilla</i>	33. <i>Agave salmiana</i> var. <i>salmiana</i>
4. <i>Agave americana</i> var. <i>oaxacensis</i>	19. <i>Agave macroacantha</i>	34. <i>Agave scabra</i> subsp. <i>potosiensis</i>
5. <i>Agave angustifolia</i>	20. <i>Agave macroculmis</i>	35. <i>Agave schottii</i>
6. <i>Agave applanata</i>	21. <i>Agave mapisaga</i> var. <i>lisa</i>	36. <i>Agave shrevei</i> subsp. <i>shrevei</i>
7. <i>Agave atrovirens</i>	22. <i>Agave mapisaga</i> var. <i>mapisaga</i>	37. <i>Agave shrevei</i> subsp. <i>magna</i>
8. <i>Agave atrovirens</i> var. <i>mirabilis</i>	23. <i>Agave marmorata</i>	38. <i>Agave striata</i>
9. <i>Agave bovicornuta</i>	24. <i>Agave maximiliana</i>	39. <i>Agave vilmoriniana</i>
10. <i>Agave cerulata</i> subsp. <i>dentiens</i>	25. <i>Agave maximiliana</i> var. <i>katharinae</i>	40. <i>Agave wocomahi</i>
11. <i>Agave cupreata</i>	26. <i>Agave multiflifera</i>	41. <i>Agave weberi</i>
12. <i>Agave desmettiana</i>	27. <i>Agave polianthiflora</i>	
13. <i>Agave fourcroydes</i>	28. <i>Agave parryi</i>	
14. <i>Agave hookeri</i>	29. <i>Agave peacockii</i>	
15. <i>Agave inaequidens</i>	30. <i>Agave salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i>	

Anexo 2. Formato de entrevista semiestructurada para los agricultores de pulque.

Proyecto:	Documentación del proceso de elaboración del pulque				
Número de cuestionario:		Fecha de aplicación: ____/____/____			
Nombre del encuestador:					
DATOS DEL AGRICULTOR					
Nombre completo del agricultor:					
Sexo:	Masculino	Femenino	Edad:		
Localidad:		Municipio:		Estado:	
Latitud:		Longitud:		Altitud:	

1. ¿Cómo se hace el pulque?	
2. Variedades que utiliza para hacer el pulque. 2.1 Combina diferentes variedades. 2.2 Qué % de cada variedad.	
3. Lugar de fermentación (1. Espacio compartido dentro del hogar, 2. Espacio exclusivo dentro del hogar, 3. Espacio exclusivo fuera del hogar).	
4. Material para fermentar (olla de barro o plástico u otro)	
5. Instrumento de colecta (botella de plástico o acocote u otro)	
6. Manejo y cuidados del aguamiel (qué tipo de animales hay cerca de la zona de trabajo, con que se tapa el raspado)	
7. Cuando no hay semilla de que otro productor consigue	
8. Qué se hace con el pulque sobrante. Se usa como inóculo/semilla?	
9. Precio del pulque (\$/litro)	
10. Escala de comercialización (1. Auto-consumo, 2. Venta dentro de la localidad, 3. Venta a localidades vecinas, 4. Venta a estados vecinos, 5. Venta internacional)	
11. Área de <i>Agave</i> que tiene.	
12. Quiénes participan en la producción. Trabajadores, familia, amigos.	

Temporada	Horario de raspado	Horas de fermentación (cuándo ya es pulque)	Período de vida (tiempo para consumir)	Manejo y cuidados del inóculo (pie)	Producción (litros/día)	Sabor y consistencia
Seca						
Lluvia						
Fría						
Otro						