



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, SENSORIAL Y ANÁLISIS DE TIPICIDAD DEL DESTILADO DE PULQUE DEL ALTIPLANO MEXICANO

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Presenta:

Walter Donaldo Méndez Ordoñez

Bajo la supervisión de:

Anastacio Espejel García, Dr.



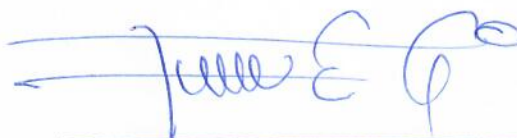
Chapingo, Estado de México, agosto de 2025

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, SENSORIAL Y ANÁLISIS DE TIPICIDAD DEL DESTILADO DE PULQUE DEL ALTIPLANO MEXICANO

Tesis realizada por **WALTER DONALDO MÉNDEZ ORDOÑEZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

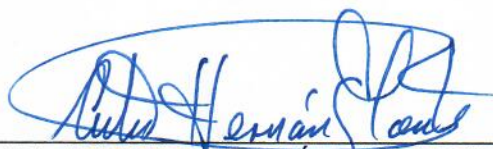
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR



DR. ANASTACIO ESPEJEL GARCÍA

ASESOR



PH.D. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES

ASESOR



DR. EMMANUEL FLORES GIRÓN

ASESOR



DRA. VERENICE TORRES SALAS

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
DEDICATORIAS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN GENERAL	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Literatura citada	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Marco teórico	4
2.1.1. Alimentos tradicionales y autenticidad	4
2.1.2. Figuras de protección jurídico económicas	6
2.1.3. Agave pulquero y pulque	7
2.1.4. Espectroscopía de infrarrojo cercano y compuestos volátiles en bebidas alcohólicas	9
2.1.5. Métodos sensoriales para la caracterización de alimentos	11
2.1.6. Valoración económica y disposición a pagar en productos tradicionales	14
2.2. Marco de referencia	17
2.2.1. Destilado de pulque	17

2.2.2. Región de estudio.....	18
2.3. Literatura citada	19
3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO DEL DESTILADO DE PULQUE EN EL ALTIPLANO MEXICANO	26
3.1. Introducción.....	28
3.2. Materiales y métodos	29
3.3. Resultados y discusión	30
3.3.1. Caracterización de las unidades de producción.....	30
3.3.2. Proceso productivo.....	31
Primera etapa: Obtención del aguamiel	31
Cultivo y manejo agronómico del maguey	32
Castración o capado del maguey.....	32
Raspado y mantenimiento de la cavidad	33
Extracción del aguamiel	33
Segunda etapa: Fermentación del aguamiel para obtener pulque.....	33
Microbiota y fermentación natural.....	33
Preparación y uso de la semilla	34
Condiciones y duración de la fermentación	34
Control artesanal y tradicional.....	34
Tercera etapa: Proceso de destilación.....	35
Preparación del pulque para destilación	35
Primera destilación.....	35
Segunda destilación.....	35
Ajuste final y embotellado	35
3.4. Conclusiones.....	37
3.5. Agradecimientos	37
3.6. Literatura citada	38

4. ANÁLISIS DE AUTENTICIDAD DEL DESTILADO DE PULQUE MEDIANTE ESPECTROSCOPIA NIR Y MODELOS QUIMIOMÉTRICOS.....	40
4.1. Introducción.....	42
4.2. Materiales y métodos.....	44
4.2.1. Muestreo.....	44
4.2.2. Espectroscopía de infrarrojo cercano.....	45
4.2.3. Análisis quimiométrico.....	46
4.2.4. Grados Brix.....	46
4.2.5. Cromatografía de gases.....	47
4.3. Resultados y discusión	47
4.3.1. Espectroscopía de infrarrojo cercano.....	47
4.3.2. Grados Brix y contenido alcohólico	49
4.3.3. Análisis quimiométrico.....	51
4.3.4. Cromatografía de gases.....	53
4.4. Conclusiones.....	55
4.5. Agradecimientos	55
4.6. Literatura citada	56
5. CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DEL DESTILADO DE PULQUE MEDIANTE LA METODOLOGÍA RATE-ALL-THAT-APPLY (RATA): PERFIL Y ACEPTACIÓN DE CONSUMIDORES.....	59
5.1. Introducción.....	61
5.2. Materiales y métodos.....	64
5.2.1. Muestreo.....	64
5.2.2. Grupo focal.....	65
5.2.3. Método RATA (Rate-All-That-ApplY).....	65
5.2.4. Análisis estadístico.....	66
5.3. Resultados y discusión	66
5.3.1. Análisis de varianza.....	66

5.3.2. Matriz de correlaciones	68
5.3.3. Análisis de componentes principales (PCA).....	69
5.4. Conclusiones.....	73
5.5. Agradecimientos	73
5.6. Literatura citada	74
6. ATRIBUTOS DE VALORACIÓN Y DIFERENCIACIÓN EN DESTILADO DE PULQUE MEDIANTE EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN DISCRETA	76
6.1. Introducción.....	78
6.2. Materiales y métodos	81
6.3. Resultados y discusión	83
6.4. Conclusiones.....	87
6.5. Agradecimientos	88
6.6. Literatura citada	89
7. CONCLUSIONES GENERALES.....	94
8. ANEXOS	96
8.1. Formato prueba RATA	96
8.2. <i>Encuesta de valoración (Experimentos de elección discreta)</i>	97

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Codificación y origen de las muestras analizadas.....	45
Cuadro 2. Contenido alcohólico y grados Brix de las muestras analizadas.....	50
Cuadro 3. Compuestos volátiles de destilado de pulque provenientes de Agave salmiana.	53
Cuadro 4. Codificación y origen de las muestras utilizadas en la caracterización sensorial.	64
Cuadro 5. Perfil descriptivo de destilado de pulque, comparación de media de las intensidades de sus atributos.	67
Cuadro 6. Matriz de correlaciones entre los atributos analizados de las muestras de destilado de pulque.	69
Cuadro 7. Atributos y niveles del experimento de elección discreta.	81
Cuadro 8. Tarjetas obtenidas mediante SPSS.	82
Cuadro 9. Características sociodemográficas de los consumidores (n = 207). .	84
Cuadro 10. Estadísticos de bondad del ajuste.....	85
Cuadro 11. Prueba de hipótesis.	85
Cuadro 12. Coeficientes estandarizados para la DAP.....	86
Cuadro 13. Disposición a pagar marginal por destilado de pulque.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso productivo del destilado de pulque.	32
Figura 2. Espectros de infrarrojo cercano de muestras analizadas de destilado de pulque.....	48
Figura 3. Gráficos de puntuaciones del modelo PCA de muestras de destilado de pulque.....	51
Figura 4. Gráfico de puntuaciones del modelo PCA con el Modelo-Prueba.	52
Figura 5. Perfil sensorial comparativo de seis muestras evaluadas de destilado de pulque.....	67
Figura 6. Biplot de PCA tipo mapa externo de las evaluaciones de seis muestras de destilado de pulque.	70
Figura 7. Biplot de PCA tipo mapa combinado (interno–externo) de seis muestras analizadas de destilado de pulque.	71
Figura 8. Ejemplo de tarjeta de elección de destilado de pulque.	83

DEDICATORIAS

A la memoria de mi madre, quien con su amor incondicional, su fortaleza y su ejemplo de vida me enseñó el valor del esfuerzo y la perseverancia. Su legado de cariño y sabiduría es la luz que ha guiado cada uno de mis pasos en este camino. Esta tesis es un homenaje a su recuerdo eterno y a todo lo que me brindó, inspirándome siempre a alcanzar mis sueños.

A mis padres: María P. Ordoñez Ordoñez y José Porfirio Méndez Martínez, por su tiempo, amor y constante apoyo, por todos los esfuerzos realizados durante mis años de formación personal y académica, por ayudarme a mejorar cada día como persona, por haberme dado el mejor regalo de todos, la existencia.

A mi hermana: Laura Mar Méndez Ordoñez, quien, con su apoyo incondicional, su ánimo constante y su ejemplo de superación, ha sido una fuente de inspiración en cada paso de este camino. Gracias por creer en mí.

A mis amigos, quienes con su apoyo constante y compañía han hecho más llevadero este camino académico. Gracias por estar presentes en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico otorgado durante la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por los conocimientos brindados en mi formación académica y profesional.

A mi comité asesor: Dr. Anastacio Espejel García, Ph.D. Arturo Hernández Montes, Dr. Emmanuel Flores Girón y Dra. Verenice Torres Salas, por los conocimientos compartidos, por su contribución y facilidades para el desarrollo de esta investigación.

A mis padres y hermana, por su amor incondicional, apoyo constante y por inculcarme los valores que me han guiado a lo largo de esta etapa

Al Ing. Luis Raúl Moreno García, Destilería Meyotl y Grupo Teotl por la asesoría y conocimientos compartidos sobre el sistema producto destilado de pulque, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y enriquecimiento de esta investigación.

A mis amigos: Jessica Marcos, Miguel Jiménez y Ricardo Rubio, por la confianza brindada, por motivarme a seguir adelante ante cada tropiezo, fue un honor compartir con ustedes muchos momentos durante esta etapa.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Walter Donaldo Méndez Ordoñez
Fecha de nacimiento	31 de julio de 1997
Lugar de nacimiento	Teziutlán, Puebla
No. Cartilla militar	D-4254927
CURP	MEOW970731HPLNRL04
Profesión	Ingeniero Agroindustrial
Cédula profesional	13581859

Desarrollo académico

Técnico	Técnico en Agroindustrias Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 86 Cédula profesional 09884890
Licenciatura	Ingeniero Agroindustrial Universidad Autónoma Chapingo Cédula profesional 13581859

RESUMEN GENERAL

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, SENSORIAL Y ANÁLISIS DE TIPICIDAD DEL DESTILADO DE PULQUE DEL ALTIPLANO MEXICANO

El destilado de pulque es una bebida alcohólica tradicional del Altiplano Mexicano, obtenida mediante la fermentación y destilación del aguamiel de *Agave salmiana*. A pesar de su relevancia cultural y creciente interés comercial, enfrenta desafíos en cuanto a autenticidad y diferenciación debido a la ausencia de normas que regulen su calidad y características. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo analizar los atributos físicoquímicos y sensoriales que determinan su tipicidad, empleando técnicas espectrométricas, cromatográficas, sensoriales y de valoración económica, con el propósito de establecer parámetros que contribuyan a su autenticación y futura regulación.

Se recolectaron muestras de destilado en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México. Mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) y cromatografía de gases (GC) se identificaron perfiles específicos, con un contenido alcohólico promedio entre 32 y 45 % Alc. Vol. y niveles de metanol dentro de los límites aceptados, garantizando la calidad y seguridad del producto. En el análisis sensorial, realizado con la metodología Rate-All-That-Apply (RATA), se destacaron atributos clave como aroma y sabor dulce, aroma característico de pulque y una sensación picante, elementos determinantes en la aceptación del consumidor. Adicionalmente, a través de experimentos de elección discreta se evidenció que los consumidores otorgan un mayor valor a la autenticidad, el origen geográfico y el método artesanal, mostrando una disposición a pagar superior por estas características.

Los resultados confirman que el destilado de pulque presenta perfiles físicoquímicos y sensoriales definidos que validan su tipicidad y autenticidad. Estos hallazgos constituyen un sustento técnico y científico para fortalecer su diferenciación en el mercado, apoyar su valorización económica y servir como referente en el diseño de normativas específicas que protejan y promuevan esta bebida tradicional.

Palabras clave: *Agave salmiana*, atributos, espectroscopía NIR, cromatografía de gases, Rate-All-That-Apply, valoración económica.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Walter Donald Méndez Ordoñez

Director de Tesis: Anastacio Espejel García, Dr.

ABSTRACT

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION, SENSORY ANALYSIS, AND TYPICITY ASSESSMENT OF DISTILLED PULQUE FROM THE MEXICAN ALTIPLANO

Distilled pulque is a traditional alcoholic beverage from the Mexican Highlands, obtained through the fermentation and distillation of *Agave salmiana* sap ("aguamiel"). Despite its cultural relevance and growing commercial interest, it faces challenges related to authenticity and differentiation due to the absence of standards regulating its quality and characteristics. In this context, the present research aimed to analyze the physicochemical and sensory attributes that determine its typicity, employing spectrometric, chromatographic, sensory, and economic valuation techniques, with the purpose of establishing parameters that contribute to its authentication and future regulation.

Samples of the distillate were collected in the states of Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, and the State of Mexico. Using near-infrared spectroscopy (NIR) and gas chromatography (GC), specific profiles were identified, with an average alcohol content ranging from 32 to 45% Alc. Vol. and methanol levels within accepted limits, ensuring product quality and safety. In the sensory analysis, conducted using the Rate-All-That-Apply (RATA) methodology, key attributes were highlighted, such as sweet aroma and flavor, characteristic pulque aroma, and a pungent sensation, all of which play a decisive role in consumer acceptance. Additionally, through discrete choice experiments, it was demonstrated that consumers place greater value on authenticity, geographical origin, and artisanal production methods, showing a higher willingness to pay for these attributes.

The results confirm that pulque distillate exhibits well-defined physicochemical and sensory profiles that validate its typicity and authenticity. These findings provide a solid technical and scientific basis to strengthen its market differentiation, support its economic valorization, and serve as a reference for the design of specific regulations that protect and promote this traditional beverage.

Keywords: *Agave salmiana*, attributes, near-Infrared Spectroscopy (NIR), gas chromatography, Rate-All-That-Apply (RATA), economic valuation.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El destilado de pulque es una bebida alcohólica obtenida a partir de la destilación del pulque fermentado, elaborado principalmente con *Agave salmiana*. Su origen se relaciona con la incorporación de técnicas de destilación durante la Colonia, lo que permitió diversificar el aprovechamiento del pulque tradicionalmente consumido fresco. En la actualidad, este producto experimenta un resurgimiento, enmarcado en procesos de revalorización cultural y agroindustrial en el Altiplano Mexicano, donde se combinan prácticas artesanales con innovaciones tecnológicas para generar un destilado con características sensoriales distintivas (Valdivieso Solís et al., 2021).

Al mismo tiempo, se observa una tendencia creciente hacia la recuperación y consumo de productos tradicionales que refuercen la identidad cultural y el vínculo con el territorio. Este contexto abre oportunidades para el destilado de pulque, al posicionarse como un producto diferenciado que integra autenticidad, tipicidad y calidad, elementos clave para su inserción en mercados nacionales e internacionales. De esta manera, tradición e innovación convergen en una bebida que puede contribuir a la valorización del patrimonio agavero de México y al desarrollo económico de las comunidades productoras (Guerrero et al., 2009; Guiné et al., 2021).

En este contexto, el objetivo general del presente trabajo fue analizar los atributos fisicoquímicos y sensoriales que determinan la tipicidad del destilado de pulque del Altiplano Mexicano, mediante métodos espectrométricos, sensoriales y valoración económica. Este análisis integral busca establecer criterios claros de autenticidad y diferenciación del producto, brindando información técnica y científica que permita a los productores, consumidores y autoridades contar con bases sólidas para promover, proteger y valorizar esta bebida tradicional.

Para cumplir con el objetivo planteado, esta investigación se desarrolló en capítulos específicos, cada uno enfocado en aspectos fundamentales para comprender y definir la tipicidad del destilado de pulque:

En el Capítulo 2 se presentó el marco teórico, que integra conceptos clave sobre alimentos tradicionales, autenticidad, métodos de caracterización sensorial y análisis económico, y el marco de referencia, donde se contextualiza el estudio en torno al destilado de pulque y la región productora del Altiplano Mexicano, sentando así las bases conceptuales y contextuales que sustentan la investigación

En el Capítulo 3, se realizó una caracterización del sistema productivo del destilado de pulque, documentando detalladamente el proceso artesanal tradicional, desde la extracción y manejo del aguamiel hasta las etapas de fermentación y destilación. Se identificaron las particularidades de las diez unidades productivas evaluadas en la región del Altiplano Mexicano, destacando la importancia del conocimiento tradicional y los recursos naturales locales.

En el Capítulo 4, se efectuó un análisis de autenticidad y calidad mediante técnicas instrumentales como la cromatografía de gases y la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) acoplada a métodos quimiométricos. Estas herramientas permitieron identificar perfiles espectrales específicos y compuestos volátiles que son indicadores clave de autenticidad y calidad del destilado de pulque, ofreciendo bases sólidas para su diferenciación en el mercado.

En el Capítulo 5, se realizó una caracterización sensorial del producto utilizando la metodología Rate-All-That-Apply (RATA), técnica innovadora que permite captar la percepción directa del consumidor respecto a los atributos sensoriales relevantes del destilado de pulque. A través de esta técnica, fue posible identificar y cuantificar los atributos clave que definen la tipicidad del producto, así como evaluar su nivel de aceptación entre los consumidores.

Finalmente, en el Capítulo 6, se abordaron los aspectos económicos mediante la valoración del producto a través de experimentos de elección discreta, identificando los atributos que más influyen en la decisión de compra, revelando

una alta valoración por características relacionadas con la autenticidad, origen geográfico y procesos artesanales.

La investigación realizada estableció un marco integral para la caracterización y autenticación del destilado de pulque, sustentado en técnicas espectrométricas, cromatográficas y sensoriales. Los resultados evidenciaron perfiles específicos de calidad y atributos sensoriales distintivos, lo que confirma la identidad propia de esta bebida. Asimismo, los hallazgos muestran su viabilidad para posicionarse en mercados locales e internacionales y aportan elementos concretos que contribuyen a la conservación de los recursos naturales y culturales vinculados al patrimonio agroindustrial y gastronómico del Altiplano Mexicano.

1.1. Literatura citada

- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Xicola, J., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Zakowska-Biemans, S., Sajdakowska, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Contel, M., Scalvedi, M. L., Granli, B. S., y Hersleth, M. (2009). Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite*, 52(2), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.008>
- Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Barroca, M. J., y Anjos, O. (2021). The duality of innovation and food development versus purely traditional foods. En *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 109, pp. 16–24). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.010>
- Valdivieso Solís, D. G., Vargas Escamilla, C. A., Mondragón Contreras, N., Galván Valle, G. A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F., y Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. En *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 5). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Alimentos tradicionales y autenticidad

Los alimentos tradicionales representan un patrimonio cultural, social y gastronómico fundamental que se ha transmitido de generación en generación durante al menos 25 años, conformando así un vínculo vivo entre el pasado y el presente de diversas comunidades alrededor del mundo. Estos alimentos, elaborados mediante técnicas, ingredientes y procesos específicos de cada región, reflejan no solo la diversidad de recursos disponibles, sino también la identidad y el legado cultural que forman parte integral de la vida cotidiana y las celebraciones de las poblaciones que los consumen (Guerrero et al., 2009; Rahman, 2019). Desde la perspectiva del consumidor, un alimento tradicional es reconocido no solo por su historia, sino también por sus propiedades sensoriales únicas y su estrecha relación con un territorio o cultura específicos, aspectos que generan una experiencia de consumo diferenciada y significativa y que otorgan al consumidor atributos no solo tangibles sino intangibles (Bryła, 2015; Guerrero et al., 2009).

La autenticidad de estos alimentos es un concepto esencial, compuesto por la legitimidad, calidad e identidad, que se manifiestan en la confianza y satisfacción del consumidor. Garantizar esta autenticidad es clave para preservar el valor cultural y económico de los alimentos tradicionales, así como para protegerlos contra la adulteración y falsificación que amenazan su integridad (Shahrin y Hussin, 2023). Para ello, se han desarrollado diversas técnicas analíticas que permiten evaluar la autenticidad con alta precisión, incluyendo métodos sensoriales, fisicoquímicos, basados en ADN, cromatográficos y espectroscópicos, siendo la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y las narices

electrónicas ejemplos destacados por su capacidad para identificar perfiles moleculares y aromáticos únicos de los productos, facilitando la detección de fraudes y garantizando la calidad (Consonni y Cagliani, 2022; Fiorino et al., 2018).

El reto actual radica en la conservación y comercialización de estos alimentos en un mundo cada vez más globalizado y urbanizado, donde los hábitos alimenticios cambian y la demanda se orienta hacia productos procesados y estandarizados, poniendo en riesgo la continuidad de las tradiciones alimentarias (Jasso-Arriaga, 2018). A pesar de ello, la valorización cultural y la creciente preferencia por productos auténticos y de alta calidad han impulsado el interés por los alimentos tradicionales, generando un mercado que busca equilibrar la innovación en términos de seguridad, salud y conveniencia con el respeto a la identidad y métodos ancestrales de producción (Guerrero et al., 2009; Guiné et al., 2021). La tensión entre innovación y tradición se refleja en la necesidad de mantener el carácter genuino de los alimentos tradicionales (sus sabores, métodos de elaboración y vínculo cultural) al mismo tiempo que se incorporan mejoras relacionadas con seguridad, salud y practicidad. Este equilibrio resulta un factor crítico para la aceptación del consumidor, quien valora tanto la preservación de la autenticidad como la adaptación de los productos a nuevas exigencias y estilos de vida.

Los alimentos tradicionales cumplen una función social y cultural insustituible, al formar parte del patrimonio intangible reconocido incluso por organismos internacionales como la UNESCO. Su papel en la identidad cultural es vital, sirviendo como símbolo de herencia y de cohesión social, y brindando a los consumidores experiencias sensoriales y emocionales únicas que refuerzan el sentido de pertenencia y el vínculo con su historia (Almansouri et al., 2021; Shahrin y Hussin, 2023).

Por ello, el mercado de alimentos tradicionales se beneficia del interés creciente de consumidores que valoran la autenticidad, la conexión con la tierra y la calidad, manifestado en la preferencia por productos con historias y sabores genuinos,

aún cuando su precio pudiera ser superior al de los alimentos convencionales (Bryła, 2015).

La preservación de los alimentos tradicionales requiere un esfuerzo integrado que combine la aplicación de métodos analíticos avanzados para garantizar su autenticidad, el desarrollo de regulaciones que protejan su identidad y el fomento de prácticas comerciales que respeten su valor cultural, equilibrando tradición e innovación. Solo así se podrá asegurar la sostenibilidad de estos productos en el mercado global, proteger la diversidad cultural y biológica de las comunidades productoras, y mantener vivas las tradiciones que enriquecen nuestra herencia alimentaria y cultural.

2.1.2. Figuras de protección jurídico económicas

Los alimentos tradicionales se reconocen como parte fundamental del patrimonio cultural y económico de las comunidades, por lo que existen figuras de protección jurídico-económica orientadas a salvaguardar su identidad, reputación y calidad. Entre ellas destacan las Denominaciones de Origen (DO) y las Indicaciones Geográficas (IG), ampliamente utilizadas a nivel internacional (FAO, 2021; Galli, 2018).

Una Denominación de Origen (DO) es un signo distintivo aplicado a productos cuya calidad o características están vinculadas esencialmente a un territorio determinado, considerando factores naturales y humanos. Para que un producto obtenga una DO debe demostrar: un vínculo directo con su área geográfica, que todas las fases de producción se desarrollan dentro de esa área, y que posee una reputación consolidada atribuible a dicho origen (FAO, 2021; Galli, 2018). Estos requisitos son verificados por autoridades nacionales competentes (en la Unión Europea, por ejemplo, por la Comisión Europea) y regulados en el marco de acuerdos internacionales como el Acuerdo sobre los ADPIC (TRIPS) de la OMC (FAO, 2021; Wander et al., 2020).

Por su parte, la Indicación Geográfica (IG) identifica productos cuya calidad, reputación u otras características están asociadas a un lugar de origen, pero ofrece mayor flexibilidad: basta con que una etapa esencial de la producción se

lleve a cabo en la zona protegida, aunque otras fases puedan realizarse fuera de ella (Galli, 2018; Wander et al., 2020). Tanto las DO como las IG se aplican a alimentos, bebidas, vinos, espirituosos e incluso artesanías o productos industriales, siempre que exista una relación demostrable con el territorio (FAO, 2021).

Estas figuras tienen como propósito central conceptualizar y normar la protección de los productos tradicionales, garantizando a los consumidores información fiable sobre su autenticidad y origen, al tiempo que previenen el uso indebido de nombres geográficos. En ese sentido, constituyen un instrumento jurídico que va más allá de los beneficios económicos: permiten conservar la biodiversidad agrícola, los saberes locales y el patrimonio cultural que sustenta la producción de alimentos tradicionales (Fibri et al., 2022; Soleri et al., 2023)..

2.1.3. Agave pulquero y pulque

El agave es un género de plantas suculentas adaptadas a ambientes áridos y semiáridos. En México, varias de sus especies son conocidas popularmente como maguey, aunque no todas las variedades del género reciben este nombre. Constituye un recurso natural renovable de gran importancia cultural, ecológica y económica para México (Pérez-Zavala et al., 2020). El género *Agave* comprende alrededor de 200 especies, de las cuales más de 160 se encuentran en México, siendo cerca de 119 endémicas. Estas plantas poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas, como el metabolismo ácido crasuláceo (CAM), que les permite almacenar agua y resistir condiciones extremas de sequía (Alducin-Martínez et al., 2023).

Desde tiempos prehispánicos, el agave ha sido fundamental para diversas culturas mesoamericanas, no solo para la elaboración de bebidas fermentadas y destiladas, sino también para la obtención de fibras, alimento, materiales para construcción y medicina (Alducin-Martínez et al., 2023; Colunga-Garciamarin et al., 2017). Entre sus usos, destaca la extracción de la savia o aguamiel, usada para la producción del pulque, y la utilización de sus fibras en textiles y artesanías (Álvarez-Ríos et al., 2020).

Las especies de agave utilizadas para la producción de pulque son principalmente *Agave salmiana* y sus variantes, *A. mapisaga*, *A. americana* y *A. atrovirens* (Álvarez-Ríos et al., 2020; Escalante et al., 2016). Estas especies han sido seleccionadas por sus características agronómicas, como el volumen y calidad de aguamiel producido, y son manejadas tradicionalmente a través de un proceso continuo de domesticación que incluye la selección de variedades con mayor rendimiento y mejor adaptabilidad (Álvarez-Ríos et al., 2020; Colunga-Garciamarin et al., 2017).

El manejo tradicional promueve la diversidad genética y fenotípica, con variedades que muestran características favorables para la producción (Álvarez-Ríos et al., 2020). Sin embargo, algunas especies enfrentan riesgos por sobreexplotación y pérdida de diversidad genética, lo que pone en relieve la necesidad de prácticas sustentables para su conservación (Alducin-Martínez et al., 2023).

A partir de las especies de agave mencionadas se realiza la extracción de aguamiel, la cual al ser fermentada se obtiene el pulque, una bebida alcohólica no destilada. Su historia se remonta a épocas prehispánicas, las evidencias arqueológicas sugieren el uso de maguey desde hace más de 10,000 años, y la producción y consumo de pulque desde aproximadamente 2000 a.C., especialmente en el centro de México, donde civilizaciones como la otomí y los aztecas consideraban al pulque un elemento sagrado y ritual (Escalante et al., 2016; Valdivieso Solís et al., 2021).

Durante la época colonial, la producción y consumo de pulque se expandieron gracias a las haciendas pulqueras, grandes plantaciones dedicadas al cultivo de agave y fermentación del pulque. Este auge continuó hasta principios del siglo XX, cuando factores sociales, económicos y tecnológicos provocaron un declive en su producción. Actualmente existe un renovado interés por recuperar esta bebida tradicional, modernizando sus procesos de producción, mejorando la calidad y extendiendo su mercado, tanto a nivel nacional como internacional (Valdivieso Solís et al., 2021). Además, se están explorando y desarrollando nuevos productos derivados del aguamiel y del pulque, entre los cuales destaca

el destilado de pulque, que amplía las posibilidades comerciales y de valor agregado de esta bebida, contribuyendo a su preservación y diversificación en el mercado.

2.1.4. Espectroscopía de infrarrojo cercano y compuestos volátiles en bebidas alcohólicas

Las bebidas alcohólicas, particularmente los destilados de agave como el mezcal, tequila, entre otros, contienen una matriz compleja de compuestos volátiles que determinan sus propiedades sensoriales. Para garantizar la autenticidad y seguridad, se utilizan técnicas analíticas avanzadas, siendo la cromatografía de gases (GC) la más común para la identificación y cuantificación de estos compuestos, complementada con técnicas como la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) para detectar adulteraciones y clasificar las bebidas según su origen y calidad (Esteki et al., 2018; Wang et al., 2017; Wiśniewska et al., 2015). La cromatografía de gases (GC) es considerada el método estándar para el análisis de compuestos volátiles en bebidas alcohólicas debido a su alta resolución y sensibilidad, respaldada por normas mexicanas (NMX-V-005-NORMEX-2018) y métodos de referencia internacionales para bebidas espirituosas (Lachenmeier et al., 2006).

En el proceso analítico se emplean distintas técnicas de preparación de muestra:

- Extracción líquido-líquido (LLE): consiste en transferir los analitos desde una fase acuosa hacia un disolvente orgánico inmiscible, alcanzando un equilibrio de partición. Se caracteriza por su simplicidad y bajo costo, aunque requiere grandes volúmenes de disolventes (Wiśniewska et al., 2015).
- Extracción en fase sólida (SPE): se basa en la retención selectiva de compuestos sobre un sorbente sólido, con posterior elución mediante solventes adecuados. Permite mayor selectividad, menor consumo de disolventes y preconcentración de compuestos, aunque demanda más tiempo y preparación (Wiśniewska et al., 2015).

- Microextracción en fase sólida (SPME): utiliza una fibra recubierta con una fase estacionaria que adsorbe los analitos, los cuales son posteriormente desorbidos térmicamente en el inyector del cromatógrafo. Sus ventajas incluyen rapidez, automatización y la eliminación de solventes, aunque la fibra puede degradarse con el uso (Wiśniewska et al., 2015).

En cuanto a detección, los sistemas más empleados en GC son:

- El detector de ionización por flama (FID), útil para la cuantificación general de compuestos orgánicos al medir iones generados por combustión.
- La espectrometría de masas (MS), que permite la identificación estructural de compuestos por comparación de espectros de fragmentación (Wiśniewska et al., 2015).

Su aplicación en bebidas alcohólicas ha sido fundamental. Por ejemplo, en la caracterización de mezcales se han identificado hasta 84 compuestos volátiles (alcoholes, ésteres, ácidos grasos y cetonas) mediante GC-MS, lo que demuestra su poder para describir perfiles químicos complejos y autenticar bebidas con denominación de origen (Vera-Guzmán et al., 2018).

Durante la elaboración de destilado de agave, como el mezcal y tequila, la generación de compuestos volátiles ocurre principalmente en tres etapas: cocción, fermentación y destilación. La cocción de agave implica la descomposición térmica de pectinas, lo que libera metanol. Según Solís et al. (2017), la producción de metanol sigue cinéticas específicas durante la cocción, donde el 92 % de la pectina se desmetoxila liberando metanol, que debe controlarse por su toxicidad; este afecta principalmente el sistema nervioso central, su ingesta en niveles elevados puede causar síntomas que van desde dolores de cabeza, náuseas y vómitos hasta ceguera y muerte (Pontes et al., 2006). Las regulaciones mexicanas establecen límites máximos para el metanol en bebidas alcohólicas, usualmente alrededor de 300 mg por 100 mL de alcohol anhidro, esto con la finalidad de proteger al consumidor (Lachenmeier et al., 2006).

En la fermentación, las levaduras producen alcoholes superiores, ésteres y ácidos orgánicos que contribuyen al perfil aromático. Las condiciones de

fermentación, la especie de agave y la cepa de levadura influyen significativamente en el perfil final (Vera-Guzmán et al., 2018). La destilación concentra estos compuestos y puede modificar su proporción. La combinación de estos procesos determina la calidad y tipicidad del producto.

Por otro parte, la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) es una técnica rápida, no destructiva y que no utiliza reactivos para analizar bebidas alcohólicas, permite clasificar muestras, detectar adulteraciones y predecir parámetros de calidad como contenido alcohólico y densidad (Oliveira et al., 2023; Wang et al., 2017). Esta técnica combinada con modelos quimiométricos como Análisis de Compuestos Principales (PCA) y Mínimos Cuadrados Parciales (PLS) facilitan el procesamiento de datos espectrales para identificar diferencias sutiles entre muestras legítimas y adulteradas (Pontes et al., 2006; Power et al., 2021).

Por ejemplo, Pontes et al. (2006) lograron detectar adulteraciones con 5-10 % de agua, etanol o metanol en bebidas como whisky, brandy y vodka con una tasa de predicción correcta del 100 % usando NIR con SIMCA (Soft Independent Modeling of Classes); Oliveira et al. (2023) clasificaron cachazas por su origen geográfico y predijeron contenido alcohólico y densidad con alta precisión usando NIR y métodos como DD-SIMCA (Data-Driven SIMCA) y iSPA-PLS (Interval-Selection Stability Powered Adaptive PLS); mientras que Power et al. (2021) confirmaron que NIR es efectiva para la detección rápida y portátil de adulterantes en whiskey irlandés, apoyando su uso para control en aduanas y agencias regulatorias.

La combinación de métodos cromatográficos para el análisis detallado de compuestos volátiles y técnicas espectroscópicas NIR para clasificación y detección de adulteraciones constituye un enfoque integral para asegurar la calidad y seguridad de las bebidas alcohólicas

2.1.5. Métodos sensoriales para la caracterización de alimentos

Los alimentos tradicionales se distinguen por poseer una identidad sensorial y cultural única, relacionada con la materia prima y el saber hacer así como la particularidad del proceso y sus operaciones unitarias, adicionalmente todos

estos atributos contribuyen a su tipicidad y como en vinos al terroir. Estas características sensoriales como textura, aroma, sabor y apariencia son las que confirman la autenticidad y singularidad de estos productos, conectándolos con su contexto histórico y social. La textura y el aroma, en particular, se reconocen como atributos clave que influyen decisivamente en la aceptación global de los alimentos tradicionales, siendo factores fundamentales para su valoración. Además, estos productos suelen ser percibidos como naturales y saludables debido a su elaboración con ingredientes locales y mínimas intervenciones tecnológicas (Rahman, 2019). Por ello, para preservar y promover estos alimentos, resulta imprescindible una caracterización sensorial y una comprensión profunda de cómo los consumidores los perciben y aceptan.

En este contexto, el análisis sensorial es una disciplina científica esencial para medir, analizar e interpretar las respuestas humanas a las propiedades sensoriales de los alimentos mediante los sentidos. Este análisis permite identificar y cuantificar atributos sensoriales específicos que distinguen variantes dentro de un mismo producto tradicional, facilitando la diferenciación (Yang y Lee, 2019). Sin embargo, la aplicación práctica del análisis sensorial enfrenta retos importantes, especialmente cuando se requiere evaluar un gran número de muestras o se dispone de recursos limitados. En estos casos, los métodos tradicionales como el análisis descriptivo convencional, realizado por paneles entrenados mediante metodologías como el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA), si bien es detallado y preciso, demanda un tiempo considerable para entrenamiento y ejecución, además de ser costoso, lo que limita su aplicación práctica en ciertos casos (Ruiz-Capillas et al., 2021), esto ha motivado la búsqueda de alternativas más eficientes.

Para superar estas limitaciones, se han desarrollado técnicas rápidas de perfil sensorial que permiten obtener información relevante en menor tiempo y con menos recursos. Entre estas técnicas se encuentran el Free-Choice Profiling (FCP, por sus siglas en inglés) y Flash Profile (FP, por sus siglas en inglés), que permiten a los evaluadores usar un vocabulario libre para describir productos y realizar valoraciones sin un entrenamiento exhaustivo, así como las

metodologías basadas en consumidores no entrenados, como Check-All-That-Apply (CATA, por sus siglas en inglés), en la que los participantes seleccionan todos los atributos que consideran aplicables a un producto, y su variante Rate-All-That-Apply (RATA, por sus siglas en inglés), que además permite calificar la intensidad o aplicabilidad de cada atributo en una escala (Ares et al., 2014; Liu et al., 2018).

Esta última técnica representa un avance significativo al combinar la simplicidad y rapidez de CATA con la capacidad de cuantificar la intensidad sensorial, lo que mejora la discriminación entre productos con perfiles similares y genera configuraciones sensoriales más estables y detalladas (Kim et al., 2023).

La técnica RATA ha demostrado ser especialmente eficaz para la caracterización sensorial de alimentos tradicionales y productos complejos, reflejando de manera más precisa la percepción del consumidor final. Estudios comparativos han evidenciado una alta correlación entre los resultados obtenidos con RATA y los análisis descriptivos convencionales, con la ventaja adicional de reducir el tiempo y la fatiga del participante (Danner et al., 2018).

Además, RATA promueve un mayor procesamiento cognitivo por parte del consumidor, al requerir no solo la identificación sino también la valoración de la intensidad de los atributos, lo que aporta información valiosa para el desarrollo, innovación y posicionamiento comercial de productos tradicionales (Ares et al., 2014).

Es importante destacar que la aceptación y percepción de los alimentos tradicionales están influenciadas por múltiples factores, entre ellos el método de manufactura, procesamiento y preparación, que afectan directamente las propiedades sensoriales y la calidad percibida (Yang y Lee, 2019). Además, las características del consumidor, como la familiaridad con el producto, la cultura, la experiencia previa, y aspectos psicológicos como la apertura a probar alimentos nuevos o la tendencia a evitar productos desconocidos, modulan la disposición a probar y preferir estos productos (Rahman, 2019). La motivación para consumir alimentos tradicionales puede estar asociada no solo al placer sensorial sino

también a la conexión con la identidad cultural, la búsqueda de experiencias auténticas o el prestigio social (García-Barrón et al., 2021).

Por tanto, la investigación del consumidor se vuelve fundamental para complementar la caracterización sensorial, permitiendo identificar los atributos que realmente impactan en la preferencia, aceptación y comportamiento de compra (Yang y Lee, 2019). La combinación de análisis sensorial descriptivo con estudios de consumidores posibilita un entendimiento integral que guía la modificación, preservación y promoción adecuada de los alimentos tradicionales, asegurando su relevancia cultural y comercial en un mercado globalizado.

Así, los avances metodológicos en análisis sensorial, y en particular la adopción de técnicas rápidas como RATA, representan una herramienta clave para estudiar y valorar los alimentos tradicionales desde la perspectiva del consumidor, facilitando su integración en mercados modernos sin perder su esencia. Estas metodologías destacan por su rapidez, bajo costo y la posibilidad de aplicarse tanto con consumidores generales como con evaluadores sin entrenamiento especializado, lo que amplía el espectro de participantes reclutados y aporta información más representativa de la percepción del mercado objetivo (Meyners et al., 2016; Valentin et al., 2012).

En este sentido, la inclusión de consumidores como participantes principales en pruebas de RATA o CATA se ha consolidado como práctica común, dado que no requieren entrenamiento previo y permiten obtener descripciones válidas y discriminantes de los productos, complementando así los enfoques tradicionales basados en paneles entrenados (Meiselman et al., 2022). Esta sinergia entre tradición, disciplina sensorial e investigación de mercado contribuye a la conservación del patrimonio alimentario y al éxito comercial sostenible de estos productos únicos (Ares et al., 2014; Kim et al., 2023; Liu et al., 2018).

2.1.6. Valoración económica y disposición a pagar en productos tradicionales

Los alimentos tradicionales constituyen un componente esencial del patrimonio cultural y gastronómico de muchas regiones, representando no solo una fuente

de identidad sino también un motor para la economía local y rural. Su relevancia va más allá de lo nutricional, pues estos productos están vinculados a prácticas ancestrales, biodiversidad y procesos artesanales que los diferencian de los alimentos industrializados convencionales. Según Balogh et al. (2016), un alimento tradicional puede definirse como aquel elaborado "de manera específica conforme a un saber hacer gastronómico asociado a una región o país, conocido por sus propiedades sensoriales particulares". La preferencia por estos alimentos está influenciada por factores como la nostalgia, la calidad percibida, el origen local y la autenticidad, que pueden justificar que los consumidores estén dispuestos a pagar un sobreprecio por ellos.

La disposición a pagar (DAP) se refiere al monto máximo que un consumidor está dispuesto a ofrecer por un bien o servicio, reflejando la valoración económica que asigna a sus atributos. Su fundamento radica en la teoría del valor y la utilidad, donde el precio expresado por el consumidor representa tanto los beneficios percibidos como las motivaciones ligadas a la calidad, la autenticidad o la sostenibilidad de los alimentos (Balogh et al., 2016; Alsubhi et al., 2023).

Estudios recientes revelan que los consumidores valoran atributos relacionados con la certificación de calidad, la protección de origen, el proceso artesanal y la sostenibilidad ambiental, mostrando una mayor predisposición a pagar más por estos elementos diferenciadores. Por ejemplo, Pablo-Cano et al. (2024) mostraron que los consumidores mexicanos están dispuestos a pagar un precio superior por bebidas tradicionales de agave como la raicilla del occidente del estado de Jalisco al incluir en su etiqueta indicaciones de origen, procesos ancestrales y certificaciones ambientales, resaltando la importancia de estos atributos para la decisión de compra. Asimismo, Konuk (2019) evidenció que factores como la conciencia social, la preocupación ambiental y la confianza en etiquetas de comercio justo influyen positivamente en la disposición a pagar por alimentos con certificaciones éticas y ambientales.

Para evaluar la disposición a pagar y las preferencias del consumidor hacia alimentos tradicionales, se han desarrollado y aplicado diversas metodologías. Entre estas, las técnicas basadas en preferencias declaradas, como los

experimentos de elección discreta (EED), han ganado relevancia debido a su capacidad para simular escenarios de elección realistas, permitiendo captar las compensaciones que los consumidores hacen entre diferentes atributos del producto. Melo Guerrero et al. (2020) destacan que los EED son especialmente útiles para descomponer el valor total de un bien o servicio en el valor marginal de sus atributos, ofreciendo una visión más detallada y precisa para la valoración económica y la toma de decisiones en política ambiental y comercial.

Los EED consisten en presentar a los participantes un conjunto de opciones que contienen alternativas hipotéticas, las cuales varían en niveles de atributos predefinidos, entre ellos el precio. Los consumidores seleccionan su opción preferida en cada conjunto, lo que permite inferir sus preferencias y calcular la disposición a pagar marginal por cada atributo. Lizin et al. (2022) explican que este método reproduce la situación de compra real, en la cual los consumidores deben escoger entre productos con diferentes características, y ofrece resultados que pueden predecir comportamientos futuros y segmentar el mercado en función de las preferencias individuales. A diferencia de métodos no comparativos, los EED reflejan mejor las decisiones de compra complejas, ya que capturan la interacción entre atributos.

La aplicación de los EED en el estudio de alimentos tradicionales ha permitido identificar no solo la importancia de atributos sensoriales y de calidad, sino también aspectos relacionados con la sostenibilidad, el origen geográfico y las certificaciones legales (Pablo-Cano et al., 2024). Este tipo de análisis es fundamental para diseñar estrategias comerciales y políticas públicas que favorezcan la conservación y promoción de los alimentos tradicionales.

Por ello, los alimentos tradicionales desempeñan un papel multifacético que abarca lo cultural, económico y ambiental. Su valorización económica, especialmente a través de la disposición a pagar por atributos diferenciadores, es esencial para su conservación y competitividad. Los experimentos de elección discreta constituyen una metodología robusta y cada vez más utilizada para evaluar estas preferencias, permitiendo a investigadores y productores comprender mejor las motivaciones de los consumidores y diseñar estrategias

adecuadas para promover alimentos tradicionales en mercados contemporáneos.

2.2. Marco de referencia

2.2.1. Destilado de pulque

El destilado de pulque es un producto derivado dentro de la tradición pulquera, en los últimos años se ha retomado su producción, resultado de un proceso de revalorización de esta bebida en el mercado contemporáneo. Este destilado se obtiene a partir del pulque fermentado, concentrando sus componentes volátiles y aromáticos mediante la destilación, lo que genera una bebida espirituosa con características sensoriales distintivas y mayor estabilidad frente a la bebida original (Valdivieso Solís et al., 2021). En términos técnicos, el proceso consiste en calentar el pulque para separar sus compuestos volátiles, con la finalidad de obtener un líquido de mayor graduación alcohólica. Dependiendo del equipo (desde alambiques tradicionales hasta sistemas industriales) se logra una variación en los perfiles sensoriales del producto (Prado-Jaramillo et al., 2015). Históricamente, se ha documentado que además de la fermentación del aguamiel para producir pulque, también podía destilarse esta savia fermentada, aunque la destilación se consolidó principalmente durante la Colonia (Colunga-GarcíaMarín et al., 2017). En la actualidad, el resurgimiento del destilado de pulque refleja la combinación de saberes tradicionales y avances tecnológicos, integrando prácticas artesanales con innovaciones que buscan mejorar la calidad y competitividad de la bebida en mercados emergentes.

Este producto representa una oportunidad estratégica para diversificar la agroindustria del agave en el Altiplano Mexicano, ofreciendo una alternativa que amplía la cadena de valor local. Su comercialización ha comenzado a posicionarlo en segmentos gourmet y de bebidas artesanales, en un contexto de creciente interés por bebidas de origen tradicional que aporten diferenciación y autenticidad (Astudillo y Escalante, 2022). El desarrollo de esta categoría no solo fortalece el patrimonio cultural asociado al agave y al pulque, sino que también contribuye al impulso económico de comunidades rurales vinculadas con su

producción, siempre bajo el reto de establecer normas de calidad y marcos regulatorios específicos que garanticen su sustentabilidad y seguridad sanitaria (Valdivieso Solís et al., 2021).

2.2.2. Región de estudio

La producción de pulque se ha concentrado históricamente en el Altiplano Central de México, especialmente en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México, donde se establecieron grandes haciendas dedicadas al cultivo de maguey y a la fermentación de aguamiel (Valdivieso Solís et al., 2021). El pulque es una bebida fermentada no destilada cuya antigüedad se remonta a épocas prehispánicas; en Teotihuacan se han identificado biomarcadores de fermentación en vasijas que datan del 200–550 d.C., lo que confirma su papel central en la vida ritual y social de las civilizaciones del centro de México (Escalante et al., 2016). Durante la Colonia, la producción y consumo del pulque adquirieron gran relevancia económica y social, impulsando un sistema agroindustrial que mantuvo su auge hasta principios del siglo XX, cuando diversos factores sociales y económicos provocaron un declive en su producción (Valdivieso Solís et al., 2021).

En paralelo, el procesamiento del maguey dio origen a otras bebidas, particularmente los destilados, cuyo desarrollo se consolidó tras la introducción de la técnica de destilación en el periodo colonial. No obstante, evidencias arqueológicas muestran que en épocas anteriores ya existían hornos y prácticas de cocción del maguey que antecedieron estos procesos (Goguitchaichvili et al., 2018; Colunga-GarcíaMarín et al., 2017).

Actualmente se observa un resurgimiento del destilado de pulque, producto con antecedentes históricos en la destilación de la savia fermentada del maguey. La literatura etnobotánica registra que, además del mosto de cabezas horneadas, también podía destilarse el pulque, práctica vinculada al aprovechamiento ritual y tradicional de los agaves en Mesoamérica (Colunga-GarcíaMarín et al., 2017). Aunque la técnica de destilación se consolidó durante la Colonia, en el presente la revalorización del destilado de pulque representa una estrategia de

diversificación económica que fortalece el patrimonio cultural y contribuye a la conservación de variedades locales de agave (Valdivieso Solís et al., 2021; Alducin-Martínez et al., 2022).

2.3. Literatura citada

- Alducin-Martínez, C., Ruiz Mondragón, K. Y., Jiménez-Barrón, O., Aguirre-Planter, E., Gasca-Pineda, J., Eguiarte, L. E., y Medellín, R. A. (2023). Uses, Knowledge and Extinction Risk Faced by Agave Species in Mexico. *Plants*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/plants12010124>
- Almansouri, M., Verkerk, R., Fogliano, V., y Luning, P. A. (2021). Exploration of heritage food concept. En *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 111, pp. 790–797). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.013>
- Alsubhi, M., Blake, M., Nguyen, T., Majmudar, I., Moodie, M., & Ananthapavan, J. (2023). Consumer willingness to pay for healthier food products: A systematic review. In *Obesity Reviews* (Vol. 24, Issue 1). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/obr.13525>
- Álvarez-Ríos, G. D., Pacheco-Torres, F., Figueredo-Urbina, C. J., y Casas, A. (2020). Management, morphological and genetic diversity of domesticated agaves in Michoacán, México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s13002-020-0353-9>
- Ares, G., Bruzzone, F., Vidal, L., Cadena, R. S., Giménez, A., Pineau, B., Hunter, D. C., Paisley, A. G., y Jaeger, S. R. (2014). Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). *Food Quality and Preference*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.03.006>
- Astudillo, F., y Escalante, A. (2022). Los beneficios de una bebida prehispánica en nuestros días: pulque para todos. <https://acmor.org/publicaciones/los-beneficios-de-una-bebida-prehisp-nica-en-nuestros-d-as-pulque-para-todos-segunda-y-ltima-parte>

- Balogh, P., Békési, D., Gorton, M., Popp, J., y Lengyel, P. (2016). Consumer willingness to pay for traditional food products. *Food Policy*, 61, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.03.005>
- Bryła, P. (2015). The role of appeals to tradition in origin food marketing. A survey among Polish consumers. *Appetite*, 91, 302–310. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.04.056>
- Colunga-Garciamarin, P., Torres-García, I., Casas, A., y Figueredo-Urbina, C. J. (2017). *Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación* 1. <https://www.researchgate.net/publication/316883938>
- Consonni, R., y Cagliani, L. R. (2022). Quality assessment of traditional food by NMR analysis. *Food Control*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109226>
- Danner, L., Crump, A. M., Croker, A., Gambetta, J. M., Johnson, T. E., y Bastian, S. E. P. (2018). Comparison of rate-all-that-apply and descriptive analysis for the sensory profiling of wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 69(1), 12–21. <https://doi.org/10.5344/ajev.2017.17052>
- 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. En *Frontiers in Microbiology* (Vol. 7, Número JUN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>
- Esteki, M., Simal-Gandara, J., Shahsavari, Z., Zandbaaf, S., Dashtaki, E., y Vander Heyden, Y. (2018). A review on the application of chromatographic methods, coupled to chemometrics, for food authentication. En *Food Control* (Vol. 93, pp. 165–182). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.06.015>
- FAO. (2021). *The nutrition and health potential of geographical indication foods*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb3913en>
- Fibri, D. L. N., Ayouaz, S., Utami, R. F., y Muhammad, D. R. A. (2022). Current situation and future direction of traditional foods: A perspective review. En

- Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal* (Vol. 5, Número 1, pp. 112–126). Hasanuddin University Department of Food Science and Technology. <https://doi.org/10.20956/canrea.v5i1.633>
- Fiorino, G. M., Garino, C., Arlorio, M., Logrieco, A. F., Losito, I., y Monaci, L. (2018). Overview on Untargeted Methods to Combat Food Frauds: A Focus on Fishery Products. En *Journal of Food Quality* (Vol. 2018). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2018/1581746>
- Galli, F. (2018). Traditional Food: Definitions and Nuances. En *Case Studies in the Traditional Food Sector: A volume in the Consumer Science and Strategic Marketing series* (pp. 3–24). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101007-5.00002-6>
- García-Barrón, S. E., Guerrero, L., Vázquez-Elorza, A., y Lazo, O. (2021). What turns a product into a traditional one? *Foods*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061284>
- Goguitchaichvili, A., Cervantes Solano, M., Lazcano Arce, J. C., Serra Puche, M. C., Morales, J., Soler, A. M., & Urrutia-Fucugauchi, J. (2018). Archaeomagnetic evidence of pre-Hispanic origin of Mezcal. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21, 504–511. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.022>
- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Xicola, J., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Zakowska-Biemans, S., Sajdakowska, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Contel, M., Scalvedi, M. L., Granli, B. S., y Hersleth, M. (2009). Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite*, 52(2), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.008>
- Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Barroca, M. J., y Anjos, O. (2021). The duality of innovation and food development versus purely traditional foods. En *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 109, pp. 16–24). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.010>

- Jasso-Arriaga, X. (2018). Principio de conservación: coexistencia entre diversidad de especies comestibles y conocimiento tradicional. *Polibotánica*, 0(46). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.13>
- Kim, D. E., Kwak, H. S., Lim, M., y Lee, Y. (2023). Comparison of Check-All-That-Apply (CATA), Rate-All-That-Apply (RATA), Flash Profile, Free Listing, and Conventional Descriptive Analysis for the Sensory Profiling of Sweet Pumpkin Porridge. *Foods*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/foods12193556>
- Konuk, F. A. (2019). Consumers' willingness to buy and willingness to pay for fair trade food: The influence of consciousness for fair consumption, environmental concern, trust and innovativeness. *Food Research International*, 120, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.018>
- Lachenmeier, D. W., Sohnius, E. M., Attig, R., y López, M. G. (2006). Quantification of selected volatile constituents and anions in Mexican Agave spirits (Tequila, Mezcal, Sotol, Bacanora). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 3911–3915. <https://doi.org/10.1021/jf060094h>
- Liu, J., Bredie, W. L. P., Sherman, E., Harbertson, J. F., y Heymann, H. (2018). Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile. *Food Research International*, 106, 892–900. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.062>
- Lizin, S., Rousseau, S., Kessels, R., Meulders, M., Pepermans, G., Speelman, S., Vandebroek, M., Van Den Broeck, G., Van Loo, E. J., y Verbeke, W. (2022). The state of the art of discrete choice experiments in food research. En *Food Quality and Preference* (Vol. 102). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104678>
- Meiselman, H. L., Jaeger, S. R., Carr, B. T., & Churchill, A. (2022). Approaching 100 years of sensory and consumer science: Developments and ongoing issues. *Food Quality and Preference*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104614>
- Melo Guerrero, E., Rodríguez Laguna, R., Martínez Damián, M. Á., Hernández Ortiz, J., y Razo Zárate, R. (2020). Consideraciones básicas para la aplicación de experimentos de elección discreta: una revisión. *Revista*

Mexicana de Ciencias Forestales, 11(59).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.676>

- Meyners, M., Jaeger, S. R., and Ares, G. (2016). On the analysis of Rate-All-That-Apply (RATA) data. *Food Quality and Preference*, 49, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.11.003>
- Oliveira, S., Duarte, E., Gomes, M., Nagata, N., Fernandes, D. D. De S., y Veras, G. (2023). A green method for the authentication of sugarcane spirit and prediction of density and alcohol content based on near infrared spectroscopy and chemometric tools. *Food Research International*, 170.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112830>
- Pablo-Cano, M., Espejel-García, A., Hernández-Montes, A., y Hernández-Rodríguez, L. (2024). Consumers' Willingness to Pay for Attributes of Sustainability, Origin and Production Process in Raicilla. *Sustainability (Switzerland)*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/su16198633>
- Pérez-Zavala, M. De L., Hernández-Arzaba, J. C., Bideshi, D. K., y Barboza-Corona, J. E. (2020). Agave: a natural renewable resource with multiple applications. En *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 100, Número 15, pp. 5324–5333). John Wiley and Sons Ltd.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.10586>
- Pontes, M. J. C., Santos, S. R. B., Araújo, M. C. U., Almeida, L. F., Lima, R. A. C., Gaião, E. N., y Souto, U. T. C. P. (2006). Classification of distilled alcoholic beverages and verification of adulteration by near infrared spectrometry. *Food Research International*, 39(2), 182–189.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.005>
- Power, A. C., Jones, J., nineil, C., Geoghegan, S., Warren, S., Currivan, S., y Cozzolino, D. (2021). What's in this drink? Classification and adulterant detection in Irish Whiskey samples using near infrared spectroscopy combined with chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 5256–5263. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11174>
- Prado-Jaramillo, N., Estarrón-Espinosa, M., Escalona-Buendía, H., Cosío-Ramírez, R., & Martín-del-Campo, S. T. (2015). Volatile compounds

- generation during different stages of the tequila production process: A preliminary study. *LWT*, 61(2), 471–483. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.042>
- Rahman, M. S. (2019). *Traditional Foods, Sensory Excitements and Pleasure* (pp. 273–292). https://doi.org/10.1007/978-3-030-24620-4_10
- Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Pintado, T., y Delgado-Pando, G. (2021). Sensory analysis and consumer research in new meat products development. En *Foods* (Vol. 10, Número 2, pp. 1–15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10020429>
- Shahrin, N., y Hussin, H. (2023). NEGOTIATING FOOD HERITAGE AUTHENTICITY IN CONSUMER CULTURE. *Tourism and Hospitality Management*, 29(2), 183–193. <https://doi.org/10.20867/thm.29.2.3>
- Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, S.C. (NORMEX). (2018). NMX-V-005-NORMEX-2018. Bebidas alcohólicas - Determinación de aldehídos, ésteres, metanol y alcoholes superiores - Métodos de ensayo (Prueba).
- Soleri, D., Cleveland, D. A., Aragón Cuevas, F., Jimenez, V., y Wang, M. C. (2023). Traditional Foods, Globalization, Migration, and Public and Planetary Health: The Case of Tejate, a Maize and Cacao Beverage in Oaxacalifornia. *Challenges*, 14(1), 9. <https://doi.org/10.3390/challe14010009>
- Solís, A., Rivas, P., Escamilla-Alvarado, C., Rico-Martínez, R., Whitaker, S., Solís-García, A., Rivas-García, P., Escamilla-Alvarado, C., Rico-Martínez, R., Bravo-Sánchez, M. G., y Botello-´ Alvarez, J. E. (2017). *Methanol production kinetics during agave cooking for mezcal industry* (Vol. 16, Número 3). <https://www.researchgate.net/publication/320191821>
- Valdivieso Solís, D. G., Vargas Escamilla, C. A., Mondragón Contreras, N., Galván Valle, G. A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F., y Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. En *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 5). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>

- Valentin, D., Chollet, S., Lelièvre, M., & Abdi, H. (2012). Quick and dirty but still pretty good: A review of new descriptive methods in food science. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 47, Issue 8, pp. 1563–1578). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03022.x>
- Vera-Guzmán, A. M., Guzmán-Gerónimo, R. I., López, M. G., y Chávez-Servia, J. L. (2018). Volatile compound profiles in mezcal spirits as influenced by agave species and production processes. *Beverages*, 4(1–9). <https://doi.org/10.3390/beverages4010009>
- Wander, A. E., Godoi, C. N., Filho, B. A. Da C., y Ladvoat, M. (2020). Geographic indications (GI): linking history and tradition with competitive business. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 24601–24618. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-059>
- Wang, L., Sun, D. W., Pu, H., y Cheng, J. H. (2017). Quality analysis, classification, and authentication of liquid foods by near-infrared spectroscopy: A review of recent research developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(7), 1524–1538. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1115954>
- Wiśniewska, P., Śliwińska, M., Dymerski, T., Wardencki, W., y Namieśnik, J. (2015). Application of Gas Chromatography to Analysis of Spirit-Based Alcoholic Beverages. En *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 45, Número 3, pp. 201–225). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.904732>
- Yang, J., y Lee, J. (2019). Application of sensory descriptive analysis and consumer studies to investigate traditional and authentic foods: A review. En *Foods* (Vol. 8, Número 2). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/foods8020054>

3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO DEL DESTILADO DE PULQUE EN EL ALTIPLANO MEXICANO

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar el proceso de producción del destilado de pulque en el Altiplano Mexicano debido a la creciente importancia cultural, social y económica de esta bebida tradicional, así como a la ausencia de una regulación específica que garantice su calidad y autenticidad. La investigación se realizó en unidades productivas ubicadas en los estados de Hidalgo, México, Tlaxcala y Puebla, mediante la aplicación de encuestas estructuradas, entrevistas y observación directa. Se analizó la materia prima utilizada, destacando la preferencia por *Agave salmiana* y prácticas tradicionales agrícolas como la reproducción por hijuelos, fertilización orgánica y control manual de malezas. El proceso productivo se divide en tres etapas: obtención del aguamiel, fermentación para obtener pulque y destilación del mismo. Cada etapa refleja técnicas artesanales arraigadas en las comunidades productoras, con uso limitado de infraestructura especializada. Los resultados mostraron que los productores elaboran el destilado de manera artesanal y venden directamente al consumidor final. El 87.5 % de los productores no cuenta con infraestructura específica para cada etapa del proceso, dificultando así el control y registro eficiente de la producción. La figura del tlachiquero es crucial para mantener prácticas culturales heredadas y asegurar la calidad del aguamiel. Asimismo, se constató que las prácticas agrícolas y productivas responden principalmente a un esquema tradicional y familiar, lo que fortalece la preservación del conocimiento local, pero al mismo tiempo limita la estandarización de parámetros de calidad y la proyección hacia mercados más amplios.

Palabras clave: proceso artesanal, *Agave salmiana*, aguamiel, fermentación, valorización

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Walter Donaldto Méndez Ordoñez

Director de Tesis: Anastacio Espejel García, Dr.

CHARACTERIZATION OF THE PRODUCTION SYSTEM OF DISTILLED PULQUE IN THE MEXICAN ALTIPLANO

Abstract

The present study aimed to characterize the production process of distilled pulque in the Mexican Altiplano, given the increasing cultural, social, and economic importance of this traditional beverage, as well as the absence of specific regulations to ensure its quality and authenticity. The research was conducted in production units located Hidalgo, Mexico, Tlaxcala, and Puebla states, through the application of structured surveys, interviews, and direct observation. The raw material was analyzed, highlighting the preference for using *Agave salmiana* and traditional agricultural practices such as propagation by offshoots, organic fertilization, and manual weed control. The production process is divided into three stages: “aguamiel” extraction, fermentation to produce pulque, and its subsequent distillation. Each stage reflects artisanal techniques deeply rooted in the producing communities, with limited use of specialized infrastructure. The results showed that producers craft the distilled beverage through artisanal methods and sell it directly to the final consumer. A total of 87.5% of producers lack specific infrastructure for each stage of the process, which limits effective control and record-keeping of production. The tlachiquero’s role is essential to preserving inherited cultural practices and ensuring the quality of “aguamiel”. Furthermore, it was found that agricultural and productive practices are primarily embedded in traditional and family-based systems, which contributes to the preservation of local knowledge but, at the same time, limits the standardization of quality parameters and the potential expansion into broader markets.

Keywords: artisanal process, *Agave salmiana*, “aguamiel”, fermentation, valorization

3.1. Introducción

El pulque es una bebida alcohólica fermentada ancestral mexicana elaborada a partir del aguamiel, el jugo dulce extraído de ciertas especies de agave como *Agave salmiana* y *Agave americana*. Su fermentación natural, mediada por un microbiota específico le confiere un bajo contenido alcohólico, textura viscosa y un sabor característico ligeramente ácido (Escalante et al., 2016; Valdivieso Solís et al., 2021). Actualmente no existe una norma oficial mexicana que regule de forma exclusiva la producción del pulque, siendo la NOM-199-SCFI-2017 donde se hace mención del pulque como una bebida alcohólica fermentada, definiéndolo de la siguiente manera: “Es la bebida alcohólica obtenida del maguey o agave, el cual al ser castrado y raspado emana los azúcares contenidos en el *corazón* del mismo (conocidos como aguamiel), y que por procesos microbiológicos y fisicoquímicos de forma natural fermentan, teniendo lugar durante su permanencia en recipientes sanitariamente adecuados”, clasificándolo como pulque natural y pulque curado.

Aclaración: El uso del término corazón en la NOM-199-SCFI-2017 no es en sentido anatómico, ya que las plantas carecen de esta estructura, este vocablo se emplea de manera coloquial para designar la parte central del maguey o agave (específicamente la porción basal de las hojas y el tallo engrosado) de donde se obtiene el aguamiel. En términos botánicos, esta región corresponde al tejido parenquimático rico en azúcares solubles, que, al ser extraído mediante el raspado, constituye la materia prima para la fermentación del pulque.

Los principales estados productores de pulque en México son Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México y Puebla (SIAP, 2024), donde las condiciones son favorables para el cultivo de agaves pulqueros y se preservan prácticas tradicionales en la extracción y fermentación del aguamiel. La diversidad de especies de agave y la variabilidad regional contribuyen a la riqueza y variedad sensorial del pulque producido (Álvarez-Duarte et al., 2018).

Por su parte, el destilado de pulque no cuenta con una normativa específica ni con una definición reconocida en las regulaciones vigentes del país. En este sentido, en el presente trabajo se propone la siguiente definición: “Bebida

alcohólica destilada de origen mexicano, elaborada a partir de aguamiel obtenido en un 100 % de maguey o agave pulquero, extraído mediante prácticas tradicionales en plantas maduras, fermentado por microorganismos espontáneos o inoculados, y posteriormente concentrado mediante procesos de destilación”.

La agroindustria del destilado de pulque se constituye a partir de una cadena productiva que integra actividades agrícolas, de transformación y comercialización, vinculando tanto a productores primarios, transformadores (destiladores), comercializadores y consumidores de este destilado.

La producción de destilado de pulque está en crecimiento, lo cual se ve reflejado en el incremento del número de unidades productivas dedicadas a la elaboración de esta bebida. Si bien la producción aún se mantiene en gran medida dentro de un esquema artesanal y familiar, algunos productores han ampliado sus volúmenes de producción y comercialización, lo que les ha permitido explorar nichos comerciales más amplios y específicos. Este proceso de expansión plantea retos relacionados con la estandarización de los procesos y la consolidación de estrategias de certificación y reconocimiento que fortalezcan su identidad en el mercado. Ante este panorama, el objetivo principal del presente estudio fue caracterizar el proceso de producción de destilado de pulque en la región del Altiplano Mexicano.

3.2. Materiales y métodos

Se seleccionaron diez unidades productoras de destilado de pulque en el Altiplano Mexicano, en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México, que concentran la mayor actividad productiva de esta bebida. El objeto de estudio fue el proceso productivo del destilado de pulque, abarcando desde la obtención del aguamiel hasta la destilación y comercialización.

Se elaboró y aplicó una encuesta estructurada y entrevista a productores locales (pulqueros y destiladores), con preguntas diseñadas para obtener información sobre: Características de la unidad productiva (tamaño, mano de obra, organización), materia prima (especies de agave utilizadas, ciclos de producción, manejo agronómico), descripción detallada de las etapas del proceso productivo

(extracción de aguamiel, fermentación, destilación), equipos y materiales utilizados, volúmenes de producción y comercialización, prácticas tradicionales y variantes regionales.

Se realizaron visitas a las instalaciones de producción, y mediante observación directa de las técnicas usadas en cada etapa, se complementó y validó la información declarada en las encuestas y entrevistas. Esta información fue organizada y sistematizada en bases de datos para su análisis cualitativo y cuantitativo. Se utilizó estadística descriptiva para identificar características comunes, diferencias y particularidades en el proceso productivo.

Con base en los datos obtenidos, se construyó un diagrama de bloques que representa las etapas principales del proceso de producción del destilado de pulque, desde la materia prima hasta el producto final, reflejando las particularidades observadas.

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Caracterización de las unidades de producción

Las unidades productivas de destilado de pulque están conformadas por productores con edades que oscilan entre 33 y 65 años, con un promedio cercano a los 45 años. Estos productores tienen una experiencia de alrededor de 14 años en la producción de pulque y aproximadamente 10 años en la destilación, aunque existe variabilidad, con algunos dedicándose a esta actividad desde hace apenas 3 años y otros hasta 34 años. La mayoría de las unidades productivas se encuentran localizadas en el estado de Hidalgo, seguido por el Estado de México, Tlaxcala y Puebla.

En promedio, los productores manejan cerca de 13.8 hectáreas dedicadas al cultivo de agave pulquero, la reproducción se realiza principalmente por hijuelos y con riego por temporal. La especie más cultivada es *Agave salmiana*, siendo esta igual más preferida para la renovación de las plantaciones.

Los manejos agrícolas incluyen prácticas tradicionales como abonado, control manual de malezas y control de enfermedades mediante productos orgánicos o no tóxicos. Algunas prácticas menos frecuentes, como el picado del mixiote el

cual consiste en dañar la cutícula de la penca con la finalidad de reducir los robos de este material debido a su valor en el área gastronómica; o el afloje del meyolote, este consiste en raspar periódicamente el meristemo apical o “*corazón*” de la planta una vez extraído el quiote (inflorescencia del maguey), evitando que el tejido vegetal cicatrice y así estimular la secreción continua del aguamiel, y posterior limpieza de los residuos vegetales para prevenir la pudrición, son técnicas aplicadas por un grupo reducido de unidades productoras.

Además de las diferencias en técnicas y prácticas productivas, también existe uniformidad en ciertos aspectos comerciales, especialmente en la forma de comercialización directa y los precios promedio de venta. El precio promedio de venta es de \$ 404.00 pesos por botella de destilado (750 mL), \$ 19.17 por litro de pulque y \$ 18.33 por litro de aguamiel.

En cuanto a la infraestructura, solo el 12.5 % de las unidades cuenta con áreas separadas y delimitadas para recepción, inoculación, fermentación y maduración, mismas que mantienen registros de entradas y salidas de aguamiel y pulque, y cuentan con manuales propios de producción. El 87.5 % restante utiliza espacios multipropósito, lo que dificulta el control y registro eficiente de materias primas y procesos.

3.3.2. Proceso productivo

El proceso productivo del destilado de pulque (Figura 1) está dividido en tres etapas principales: la obtención del aguamiel, la fermentación para la elaboración del pulque, la destilación del pulque fermentado. Cada etapa involucra técnicas, prácticas y conocimientos específicos que se combinan para dar lugar a una bebida con características sensoriales y culturales únicas.

Primera etapa: Obtención del aguamiel

La primera etapa del proceso productivo del destilado de pulque comienza con la obtención del aguamiel, que es la materia prima esencial. Esta etapa está estrechamente vinculada al cultivo y manejo del maguey, que requiere una planificación agrícola a largo plazo debido al ciclo de vida prolongado de la planta.

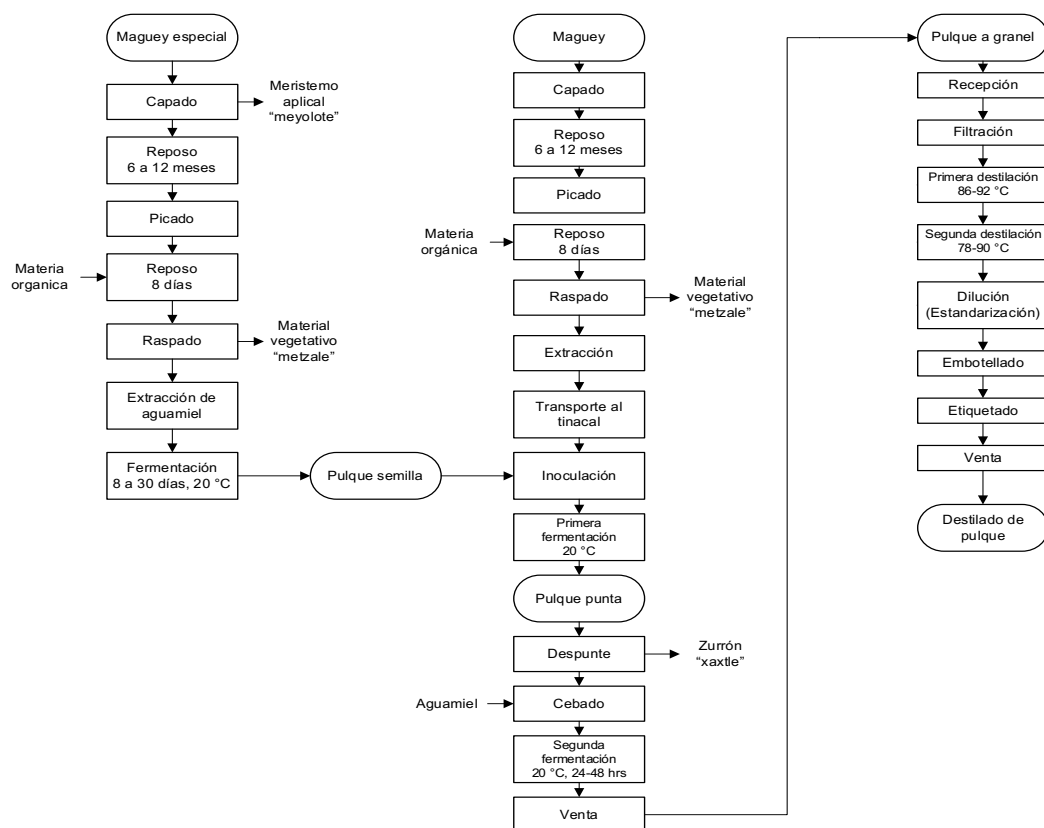


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso productivo del destilado de pulque.

Cultivo y manejo agronómico del maguey

El maguey se cultiva preferentemente en suelos volcánicos y templados, los cuales favorecen su desarrollo óptimo. El ciclo productivo del maguey varía entre 7 y 15 años, dependiendo de la especie y las condiciones ambientales. Durante este periodo, se implementan prácticas tradicionales de manejo como la eliminación de malezas, el control de plagas y enfermedades y la fertilización orgánica. Estos cuidados son fundamentales para asegurar la salud de la planta y la calidad del aguamiel que producirá. Así mismo, los productores también planifican la rotación y renovación de magueyes para asegurar un suministro continuo de aguamiel, ya que la vida productiva de cada planta termina después de varios meses de extracción.

Castración o capado del maguey

Cuando el maguey alcanza su madurez, se procede a la castración, también conocida como capado. Esta operación consiste en eliminar el meristemo apical,

que es el brote que dará lugar al pedúnculo floral o “quiote”. Al cortar esta parte, se evita la floración y se promueve la acumulación de jugo dulce en el interior de la planta, en una cavidad llamada “cajete”. La precisión y oportunidad en esta operación son vitales para maximizar la producción de aguamiel y prolongar la vida productiva del maguey.

Raspado y mantenimiento de la cavidad

Tras el capado, se realiza un raspado del cajete para estimular la producción continua de aguamiel. Esta operación, que se realiza periódicamente, consiste en eliminar capas superficiales del tejido de la cavidad con herramientas tradicionales (raspador), con el objetivo de mantener los conductos abiertos y saludables. El raspado debe hacerse con cuidado para no dañar la planta y prolongar su capacidad productiva.

Extracción del aguamiel

La extracción del aguamiel es realizada tradicionalmente dos veces al día utilizando un instrumento conocido como “acocote”, un tubo hueco fabricado generalmente con calabaza, aunque en la actualidad se suelen fabricar de fibra de vidrio, este permite succionar el líquido dulce acumulado en el cajete. La cantidad extraída varía según la especie, edad y salud de la planta, pero generalmente oscila entre 2.5 y 10 litros por día por planta. El aguamiel se recoge en recipientes de plástico o metal, los cuales deben estar limpios, esto con la finalidad de preservar la calidad durante el transporte a las instalaciones de fermentación.

Segunda etapa: Fermentación del aguamiel para obtener pulque

La fermentación es un proceso biológico fundamental que transforma el aguamiel dulce en pulque, un líquido con características sensoriales y funcionales únicas. Este proceso es natural, espontáneo y mediado por una comunidad microbiana compleja.

Microbiota y fermentación natural

El aguamiel contiene una comunidad autóctona de microorganismos, que incluye bacterias lácticas como *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* y otras bacterias fermentativas como *Zymomonas mobilis* (Chacón-Vargas et al., 2020). Esta comunidad microbiana transforma los azúcares del aguamiel en alcohol, ácidos y polisacáridos que confieren las características sensoriales del pulque, incluyendo su acidez, viscosidad y contenido alcohólico de entre 4 y 7 % v/v. El microbiota puede variar según la región, la planta y las condiciones ambientales, lo que explica la diversidad en los perfiles sensoriales de los pulques (Escalante et al., 2016).

Preparación y uso de la semilla

Para controlar y acelerar el proceso fermentativo, se prepara la llamada “semilla”, que es un cultivo de pulque fermentado de alta calidad. Esta semilla se adiciona al aguamiel fresco para iniciar la fermentación en nuevos lotes, asegurando una microbiota adecuada y reproducible. Esta práctica permite mantener la calidad y características tradicionales del pulque, además de reducir el tiempo total de fermentación (Valdivieso Solís et al., 2021).

Condiciones y duración de la fermentación

La fermentación se realiza en establecimientos denominados tinacales; las tinas donde se efectúa la fermentación son recipientes generalmente de cuero, madera, plástico o acero inoxidable, diseñados para este propósito. El proceso dura entre 8 y 30 días, afectado por las condiciones ambientales como temperatura y humedad, y la calidad de la semilla utilizada. Durante la fermentación, el pH, la acidez y el grado alcohólico cambian progresivamente, influyendo en el perfil final del pulque (Escalante et al., 2016).

Control artesanal y tradicional

La fermentación del pulque es un proceso artesanal supervisado por el responsable o “mayordomo” del tinacal, quien controla que no haya contaminación, mezcla adecuadamente el producto y mantiene las condiciones

óptimas para una fermentación exitosa. Este control es clave en la calidad, sabor y textura del pulque.

Tercera etapa: Proceso de destilación

La destilación concentra el alcohol y los compuestos volátiles, que aportan aroma y sabor al destilado de pulque, marcando la diferencia con el pulque tradicional.

Preparación del pulque para destilación

Previo a la destilación, el pulque fermentado se filtra para remover sólidos, impurezas y sedimentos que puedan entorpecer el proceso o afectar la calidad final. Esta filtración se realiza utilizando mallas o filtros de tela adaptados a las condiciones artesanales.

Primera destilación

El pulque filtrado se coloca en un alambique o destilador simple de acero inoxidable, o en algunas regiones se utilizan alambiques de cobre. La destilación se realiza a temperaturas entre 86 y 92 °C, donde el etanol y otros compuestos volátiles se evaporan y luego se condensan, produciendo un destilado con un contenido alcohólico aproximado del 35 % de volumen alcohólico.

Segunda destilación

El destilado obtenido pasa a una segunda destilación que permite una concentración alcohólica más alta, alcanzando entre 72 y 78 % de volumen alcohólico.

Ajuste final y embotellado

Después de la destilación, el producto obtenido se diluye con agua (desionizada o destilada) para ajustar la graduación alcohólica a niveles comerciales aceptables, típicamente alrededor de 32-45 % de volumen alcohólico, esto para dar cumplimiento con lo establecido en la NOM-142-SSA1/SCFI-2014, donde las bebidas alcohólicas destiladas se especifican en un rango de 32-55 % volumen

alcohólico, finalmente, el producto se embotella en presentaciones que varían desde 250 mL hasta 1 L.

En términos generales, el sistema productivo del destilado de pulque en el Altiplano Mexicano conserva un marcado carácter artesanal, con predominio de *Agave salmiana* y prácticas tradicionales como la reproducción por hijuelos, abonado orgánico y control manual de malezas. Estas prácticas coinciden con lo descrito para la producción tradicional de pulque (Valdivieso Solís et al., 2021) y de mezcal ancestral (López, 2021), donde la identidad cultural y la transmisión generacional del conocimiento son esenciales. No obstante, el sistema enfrenta retos vinculados al relevo generacional, ya que la disminución en la participación de jóvenes limita la continuidad y sostenibilidad de estas prácticas artesanales.

En general, el proceso productivo utiliza principalmente equipos artesanales y materiales tradicionales, como alambiques de acero inoxidable, recipientes de madera o plástico para fermentación y herramientas manuales para la extracción y mantenimiento del maguey. La infraestructura suele ser sencilla y con limitaciones en la automatización y el control de calidad, aunque algunas unidades incorporan tecnología básica para medir parámetros fisicoquímicos. Los volúmenes de producción varían considerablemente, desde pequeños lotes artesanales de pocos litros diarios hasta operaciones medianas que procesan decenas de litros por lote.

Las prácticas tradicionales, como el uso de la semilla para fermentación y el manejo manual del maguey, se mantienen en todas las regiones, aunque existen variantes locales en técnicas de raspado, fermentación y destilación. Estas variantes regionales enriquecen la diversidad del destilado de pulque, generando perfiles sensoriales únicos que reflejan el patrimonio cultural de cada zona productora. El papel del productor experto (tlachiquero, maestro mezcalero o enólogo, según el producto) es determinante, pues su conocimiento define la calidad final, como también se observa en la producción de vino (Montes, 2024) y de mezcal ancestral (López, 2021).

La fermentación, sea controlada o espontánea, resulta clave para el perfil sensorial del destilado, con un papel central de levaduras y bacterias lácticas, en

concordancia con lo descrito por Astudillo-Melgar et al. (2023) para el pulque. Sin embargo, la dependencia de procesos no estandarizados, sumada a la ausencia de una norma oficial específica para el destilado de pulque, limita su potencial de expansión y dificulta su protección frente a imitaciones.

En cuanto a la comercialización, predomina la venta directa y a pequeña escala, un patrón similar al encontrado en el pulque, el vino y el mezcal, que restringe el acceso a mercados amplios y a certificaciones de calidad. El mantenimiento y desarrollo sostenible de esta cadena productiva requiere conservar el conocimiento tradicional, gestionar adecuadamente los recursos naturales e incorporar de forma gradual tecnologías que aseguren la calidad y la viabilidad económica del destilado de pulque.

3.4. Conclusiones

El presente estudio logró caracterizar el proceso de producción del destilado de pulque en la región del Altiplano Mexicano, abordando las etapas desde la obtención del aguamiel hasta la destilación y comercialización. Este enfoque permitió comprender las prácticas, técnicas y actores involucrados en la cadena productiva, así como la importancia cultural, social y económica de esta bebida tradicional. La caracterización realizada sirve como base para identificar necesidades y oportunidades en el sector, destacando la relevancia de establecer normativas específicas que garanticen la calidad, autenticidad y sostenibilidad del destilado de pulque, fortaleciendo así su desarrollo y conservación en el contexto regional.

3.5. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) y de la Dirección General de Investigación y Posgrado mediante el financiamiento del Proyecto 24013-El: Caracterización química, sensorial y autenticidad en bebidas tradicionales mexicanas vinculadas a su origen geográfico como herramienta de valorización, sostenibilidad y mejora de las condiciones de vida de los productores para mejorar la autosuficiencia alimentaria.

3.6. Literatura citada

- Álvarez-Duarte, M. del C., García-Moya, E., Suárez-Espinosa, J., Luna-Cavazos, M., and Rodríguez-Acosta, M. (2018). Conocimiento tradicional, cultivo y aprovechamiento del maguey pulquero en municipios de Puebla y Tlaxcala. Traditional knowledge, cultivation and use of maguey pulquero in municipalities of Puebla and Tlaxcala. *Polibotánica*, 0(45). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.15>
- Astudillo-Melgar, F., Hernández-Chávez, G., Rodríguez-Alegría, M. E., Bolívar, F., & Escalante, A. (2023). Analysis of the Microbial Diversity and Population Dynamics during the Pulque Fermentation Process. *Fermentation*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/fermentation9040342>
- Chacón-Vargas, K., Torres, J., Giles-Gómez, M., Escalante, A., and Gibbons, J. G. (2020). Genomic profiling of bacterial and fungal communities and their predictive functionality during pulque fermentation by whole-genome shotgun sequencing. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71864-4>
- Escalante, A., López Soto, D. R., Velázquez Gutiérrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F., and López-Munguía, A. (2016). Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 7, Issue JUN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>
- Lopez G., S. Y. (2021). Innovación, identidad en mezcal ancestral de Santa María Ixcatlán Oaxaca, como elementos de indicación geográfica. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, México). Consultada en: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/1628>
- Montes A., B. (2024). Atributos de diferenciación y autenticidad en vino de Valle de Parras, Coahuila. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, México). Consultada en: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/3833>

- Secretaría de Economía. (2015). NOM-142-SSA1/SCFI-2014, Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial. Diario Oficial de la Federación, 23 de marzo de 2015.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5386313&fecha=23/03/2015#gsc.tab=0
- Secretaría de Economía. (2017). NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación, 30 de octubre de 2017.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017
- Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta (SIAP). (2024). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultada en:
https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Valdivieso Solís, D. G., Vargas Escamilla, C. A., Mondragón Contreras, N., Galván Valle, G. A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F., and Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 5). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>

4. ANÁLISIS DE AUTENTICIDAD DEL DESTILADO DE PULQUE MEDIANTE ESPECTROSCOPIA NIR Y MODELOS QUIMIOMÉTRICOS

Resumen

El presente estudio se centra en el destilado de pulque, una bebida espirituosa mexicana cuya producción carece de regulación oficial, lo que plantea riesgos de adulteración y pérdida de autenticidad. La investigación justifica su importancia en la necesidad de establecer parámetros analíticos que garanticen la calidad, seguridad y autenticidad del producto, favoreciendo así su valorización cultural y económica. El objetivo principal fue determinar dichos parámetros mediante el uso de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR), análisis quimiométrico y cromatografía de gases (GC), técnicas rápidas y no destructivas que permiten caracterizar la huella espectral y cuantificar compuestos volátiles. Se analizaron 12 muestras de destilado de pulque provenientes del Altiplano Mexicano (Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Estado de México). Los resultados mostraron que 11 de las 12 muestras cumplieron con los rangos establecidos para bebidas alcohólicas destiladas en la normativa mexicana, mientras que una excedió el límite de contenido alcohólico. Los análisis de NIR y Análisis de Compuestos Principales (PCA) evidenciaron alta homogeneidad en las muestras, con la detección de un outlier que fue excluido para mejorar el modelo quimiométrico. Por su parte, la GC confirmó que las concentraciones de metanol, acetaldehído, propanol y acetato de etilo se encontraron dentro de parámetros seguros, incluso inferiores a lo esperado en comparación con otras bebidas derivadas del agave. En conclusión, se desarrolló un modelo multivariado confiable para la autenticación del destilado de pulque, aportando una base espectral y química que respalda su estandarización, control de calidad y potencial inclusión en esquemas regulatorios, contribuyendo a la protección del consumidor y al fortalecimiento de las agroindustrias productoras.

Palabras clave: *Agave salmiana*, cromatografía de gases (GC), autenticidad, bebida tradicional, valorización

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Walter Donald Méndez Ordoñez

Director de Tesis: Anastacio Espejel García, Dr.

AUTHENTICITY ANALYSIS OF DISTILLED PULQUE USING NIR SPECTROSCOPY AND CHEMOMETRIC MODELS

Abstract

This study focuses on distilled pulque, a Mexican spirit whose production lacks official regulation, posing risks of adulteration and loss of authenticity. The relevance of the research lies in the need to establish analytical parameters that ensure the quality, safety, and authenticity of the product, thereby promoting its cultural and economic valorization. The main objective was to determine such parameters through the application of near-infrared spectroscopy (NIR), chemometric analysis, and gas chromatography (GC), rapid and non-destructive techniques that enable the characterization of the spectral fingerprint and the quantification of volatile compounds. Twelve pulque distillate samples from the Mexican Highlands (Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, and Estado de México) were analyzed. Results showed that 11 out of the 12 samples complied with the ranges established for distilled alcoholic beverages under Mexican regulations, while one sample exceeded the upper alcohol content limit. NIR and Principal Component Analysis (PCA) revealed high homogeneity across samples, with the detection of an outlier that was excluded to improve the chemometric model. Meanwhile, GC confirmed that the concentrations of methanol, acetaldehyde, propanol, and ethyl acetate were within safe parameters, in some cases even lower than those typically observed in other agave-derived beverages. In conclusion, a reliable multivariate model for pulque distillate authentication was developed, providing a robust spectral and chemical basis that supports its standardization, quality control, and potential inclusion in regulatory frameworks, thus contributing to consumer protection and the strengthening of producer agro-industries

Keywords: *Agave salmiana*, gas chromatography (GC), authenticity, traditional beverage, valorization

4.1. Introducción

El pulque es una bebida alcohólica fermentada, tradicional de México, se obtiene a partir del aguamiel, jugo extraído de varias especies de agave, especialmente *Agave salmiana* (Escalante et al., 2016; Valdivieso Solís et al., 2021), a partir del pulque es posible la producción de una bebida alcohólica destilada utilizando alambiques rudimentarios o modernos.

La destilación en Mesoamérica, tradicionalmente atribuida a la llegada europea, cuenta con evidencia arqueológica que confirma su práctica desde al menos el primer milenio a.C. Sitios como Xochitécatl-Cacaxtla, Tlaxcala, han proporcionado pruebas concretas de hornos prehispánicos empleados en la elaboración de bebidas destiladas de maguey, como el mezcal, entre los siglos IX y V a.C., demostrando así un conocimiento temprano y autónomo de esta técnica en la región (Goguitchaichvili et al., 2018). Existe evidencia anecdótica y reportes etnográficos que sugieren que comunidades en el Altiplano Central Mexicano han producido destilados a partir de pulque, especialmente en zonas donde esta bebida tenía un papel central en la economía local y en el uso del agave (Valdivieso Solís et al., 2021). Este destilado, aunque no tiene denominación de origen ni una regulación oficial como el tequila o el mezcal, ha sido producido artesanalmente y a menudo se le conoce con nombres locales como "aguardiente de pulque" o simplemente "destilado de pulque".

La calidad y autenticidad de las bebidas destiladas elaboradas a partir de agave, como el tequila, mezcal y otros destilados, depende fundamentalmente del perfil de compuestos aromáticos que poseen, provenientes directamente del agave y del proceso de elaboración que incluye fermentación, destilación, almacenamiento y añejamiento (Nevárez et al., 2011). Estos compuestos volátiles son cruciales para definir las características sensoriales y la identidad de la bebida. Entre los parámetros clave para evaluar la calidad se encuentran la concentración de metanol, alcoholes superiores como propanol, aldehídos como el acetaldehído, compuestos ésteres (acetato de etilo y lactato de etilo), así como ácidos orgánicos (acético, láctico y fórmico) (Pineda-Amaya et al., 2021; Lachenmeier et al., 2006). La presencia y concentración de estos compuestos se

ven influenciadas significativamente por variables como el tipo específico de agave, el microbiota involucrado en la fermentación, la temperatura y tiempo del proceso fermentativo, el método de destilación utilizado, y las prácticas de almacenamiento posteriores (Pineda-Amaya et al., 2021; Szambelan et al., 2020). Debido a esta complejidad y variabilidad; la estandarización y control de estos parámetros resulta indispensable para asegurar una calidad consistente y autenticar las bebidas derivadas del agave.

La autenticidad en las bebidas destiladas constituye una prioridad tanto para los productores como para las autoridades correspondientes, ya que es fundamental proteger al consumidor contra posibles fraudes alimentarios. Se considera que un producto es auténtico cuando respeta fielmente su identidad genética, su composición natural, su lugar de origen, los ingredientes declarados, el método de elaboración y las características de calidad establecidas (Jiménez-Carvelo et al., 2019).

En este sentido, la falta de una normativa específica para el destilado de pulque plantea tanto desafíos como oportunidades, esta situación abre la puerta a la innovación y al desarrollo de un producto con identidad propia, pero lo deja expuesto a manipulaciones, adulteraciones y procesos sin un control estandarizado, lo que puede afectar tanto su calidad, su inocuidad y la seguridad para el consumo humano. Esta vulnerabilidad se acentúa considerando que su materia prima, el pulque, es una bebida fermentada de manera espontánea y sujeta a variabilidad, por lo tanto, resulta necesario establecer parámetros analíticos que permitan asegurar la autenticidad del destilado de pulque.

Para ello, el uso de la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR), combinada con herramientas quimiométricas ofrece una alternativa eficiente, rápida y no destructiva para identificar adulteraciones y evaluar la calidad química de bebidas destiladas (Esteki et al., 2018; Oliveira et al., 2023; Pontes et al., 2006). Asimismo, técnicas como la cromatografía de gases (GC) han demostrado ser altamente efectivas para cuantificar componentes volátiles específicos, fundamentales en la autenticación de bebidas alcohólicas destiladas (Wiśniewska et al., 2015).

La integración de estas metodologías analíticas facilita la creación de una base de datos confiable sobre la composición del destilado de pulque, lo que constituye un paso esencial hacia su estandarización, protección legal y eventual inclusión en esquemas de regulación oficiales. Es por esto que el objetivo principal de este estudio fue determinar y establecer los parámetros analíticos mediante técnicas de espectroscopía NIR, quimiometría y GC para obtener la huella espectroscópica y la cuantificación de compuestos volátiles con la finalidad de asegurar la autenticidad del destilado de pulque de muestras provenientes de pequeñas agroindustrias destiladoras ubicadas en el Altiplano Mexicano, de los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala.

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Muestreo

Para el estudio de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) y la medición de grados Brix (°Bx) se recolectaron y analizaron 12 muestras provenientes del Altiplano Mexicano, estas elaboradas a partir de la fermentación de aguamiel extraída de la especie *Agave salmiana* y su posterior destilación en alambique de acero inoxidable 304; mientras que para la cuantificación de compuestos volátiles mediante cromatografía de gases (GC) se analizaron seis muestras, dichas muestras se encuentran resaltadas en el Cuadro 1. El muestreo fue dirigido, debido a que la selección de las muestras se basó en el objetivo de la investigación y en la disposición de colaboración de las destiladoras.

Las muestras se obtuvieron directamente en las destiladoras de los productores con quienes se colaboró para el desarrollo del presente estudio. La recolección se llevó a cabo utilizando botellas de vidrio transparente, sin coloración, asegurando que los recipientes estuvieran previamente limpios para evitar la contaminación de las muestras. Posteriormente, las botellas fueron almacenadas a temperatura ambiente, en condiciones que evitaron la exposición directa a la luz solar, hasta el momento de su análisis.

Cuadro 1. Codificación y origen de las muestras analizadas.

Código	Municipio	Estado	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
P1	Cholula	Puebla	19° 03' 7.2" N	98° 18' 7.2" O	2,160
P2	Zacatlán	Puebla	19° 59' 00" N	98° 15' 00" O	2,420
P3	Cholula	Puebla	19° 03' 7.2" N	98° 18' 7.2" O	2,160
T1	Españita	Tlaxcala	19° 25' 8" N	98° 9' 36" O	2,240
T2	Nanacamilpa	Tlaxcala	19° 29' 00" N	98° 14' 00" O	2,500
M1	Axapusco	México	19° 50' 50" N	98° 46' 54" O	2,310
M2	Axapusco	México	19° 50' 50" N	98° 46' 54" O	2,310
M3	Ixtapaluca	México	19° 18' 46.1" N	98° 52' 19.6" O	2,260
H1	Singuilucan	Hidalgo	20° 22' 48" N	98° 50' 24" O	2,100
H2	Cuautepec	Hidalgo	20° 14' 00" N	98° 43' 00" O	2,200
H3	Singuilucan	Hidalgo	20° 22' 48" N	98° 50' 24" O	2,100
H4	Cardonal	Hidalgo	20° 26' 11" N	98° 40' 29" O	2,280

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Espectroscopía de infrarrojo cercano

El análisis de las muestras fue realizado con un espectrómetro de infrarrojo cercano FT-NIR de la marca Bruker modelo MPA (Multi Purpose Analyzer). El procedimiento experimental se llevó a cabo en el área de espectroscopía del Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF) de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo las siguientes condiciones: temperatura de 19.0-23.5 °C y humedad relativa de 40-52 %.

Las muestras fueron preparadas utilizando una micropipeta (Eppendorf), se transfirieron 1 000 µL de cada muestra a viales de 8 mm de diámetro (Bruker IN430-001). Posteriormente, los viales fueron sellados con tapones de plástico para evitar la evaporación de las muestras. Se prepararon doce muestras en total. La calibración del espectrómetro de infrarrojo cercano se realizó conforme al paquete de calibración B-Food-Alcoholic_Beverages de Bruker Optics GmbH, esta calibración permitió realizar mediciones de muestras líquidas con una predicción de contenido alcohólico hasta un límite superior del 50 % v/v.

La toma de lecturas espectrales se efectuó por quintuplicado en un intervalo de número de onda (wavenumber) de 4000 a 12500 cm⁻¹ utilizando el módulo de

esfera integradora rotatoria para el registro del espectro de FT-NIR en modo absorbancia, con 64 barridos, resolución de 16 Hz y resolución de fase de 64 scans. La obtención y procesamiento de espectros se realizó con el software Opus 7.8. A partir de dichos espectros se estimó el contenido alcohólico usando el paquete de calibración mencionado anteriormente, los resultados de etanol se reportaron en porcentaje de volumen alcohólico (% Alc. Vol.).

4.2.3. Análisis quimiométrico

Los datos espectrales obtenidos fueron procesados en el software MestReNova (Versión 15.1.0-37919), empleando el módulo ELViS (Electronic and Vibrational Spectroscopies). El tratamiento incluyó la corrección de línea base y el cálculo de la segunda derivada mediante el método de Savitzky–Golay, utilizando un polinomio de grado 3 y un ancho de ventana de 15 puntos. Posteriormente, se recortó la región espectral en el intervalo de 4000 a 9500 cm^{-1} , esto con la finalidad de eliminar las regiones no informativas y que pueden causar ruido a las regiones químicamente relevantes.

Los datos preprocesados se analizaron en la plataforma MetaboAnalyst (Versión 6.0), aplicando análisis estadístico de un solo factor y Análisis de Componentes Principales (PCA) como primer criterio exploratorio para identificar tendencias de agrupamiento entre los destilados de pulque. Aunque las agrupaciones no fueron completamente definidas, se observaron tendencias que motivaron la construcción de un modelo quimiométrico robusto. Para ello, se desarrolló un modelo de PCA validado aleatoriamente, con muestreo de calibración del 70 % de las muestras y validación con el 30 % restante. Este procedimiento permitió caracterizar la huella espectroscópica de los destilados, generando un modelo multivariado confiable y aplicable a distintos perfiles de destilado de pulque.

4.2.4. Grados Brix

Para la determinación de grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) se utilizó un Refractómetro SperScientific 3000. El procedimiento experimental se llevó a cabo en el área de espectroscopía del Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio

Agroalimentario y Forestal (LANISAF) de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo las siguientes condiciones: temperatura de 19.3-21.0 °C y humedad relativa de 52 %.

Las muestras fueron preparadas utilizando una micropipeta, con la cual se transfirieron 400 µL al prisma del refractómetro. Las lecturas se realizaron por triplicado y se reportaron en °Bx.

4.2.5. Cromatografía de gases

Para la cuantificación de compuestos volátiles, las muestras fueron analizadas para determinar el contenido de metanol, acetaldehído, n-propanol y acetato de etilo mediante cromatografía de gases. Este análisis cromatográfico se realizó utilizando un cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer, modelo Autosystem XL, se usó una columna empacada Porapak Q, con una longitud de 6 pies y un diámetro de 1/8 de pulgada. La temperatura del inyector se mantuvo en 220 °C, al igual que la temperatura del detector de ionización de llama (FID). El gas de arrastre utilizado fue helio, con un flujo de 25 mL/min.

El programa de temperatura del horno consistió en mantener una temperatura constante de 180 °C durante 13 minutos. Para la calibración del equipo y la cuantificación se usaron estándares de referencia de metanol de 99.8 % (Sigma Aldrich), acetaldehído de 99.0 % (Fluka), 1-Propanol de 99.9 % (JT Baker) y acetato de etilo de 99.8 % (Sigma Aldrich) de pureza respectivamente. Los resultados de metanol, acetaldehído, propanol y acetato de etilo se reportaron en mg/100 mL de alcohol anhidro.

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Espectroscopía de infrarrojo cercano

La Figura 2 presenta los espectros obtenidos mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) para diversas muestras de destilados de pulque. Estos espectros incluyen los resultados tanto en estado bruto (sin procesar) como después de haber sido sometidos al tratamiento matemático mediante segunda derivada, con el objetivo de resaltar características espectrales particulares y

facilitar su análisis. Utilizando la información obtenida a partir de estos espectros, se determinó cuantitativamente el contenido alcohólico presente en cada una de las muestras analizadas, cuyos resultados específicos se encuentran resumidos en el Cuadro 2.

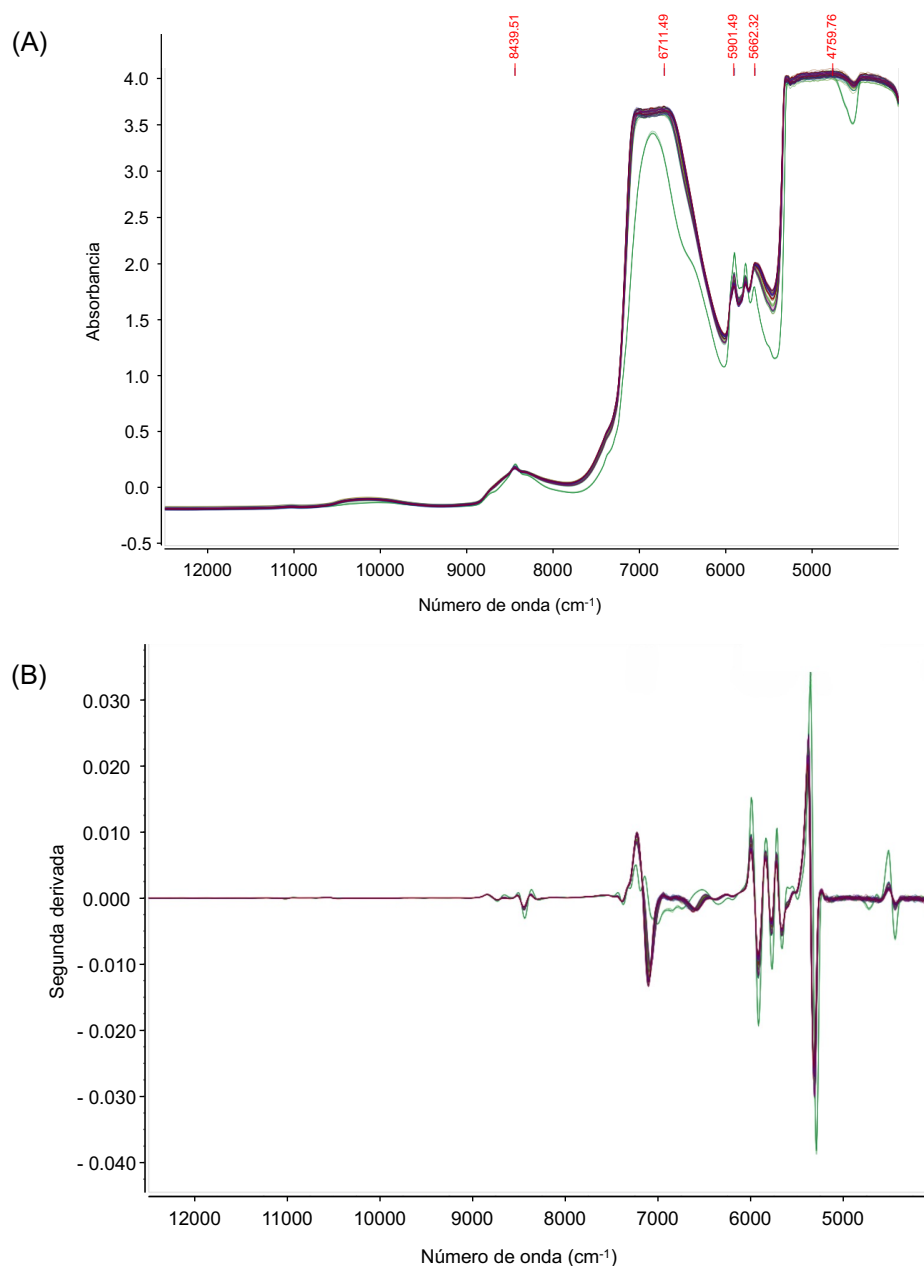


Figura 2. Espectros de infrarrojo cercano de muestras analizadas de destilado de pulque.

(A) Espectros crudos de FT-NIR de 12 muestras (por quintuplicado) de destilado de pulque del Altiplano Mexicano. (B) Procesamiento de los espectros mediante segunda derivada con el método de Savitzky-Golay, un polinomio de grado 3 y un ancho de ventana de 15 puntos.

Fuente: Elaboración propia

En el espectro original (Figura 2A), las regiones alrededor de $4800\text{--}5200\text{ cm}^{-1}$ y $6500\text{--}7000\text{ cm}^{-1}$ están fuertemente relacionadas con combinaciones y sobretonos de los enlaces O–H presentes principalmente en etanol y agua, componentes mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas (Mendes et al., 2003; Pontes et al., 2006). Asimismo, las bandas ubicadas en la región de $5500\text{--}6000\text{ cm}^{-1}$ son características de vibraciones del enlace C–H de grupos alifáticos, asociadas comúnmente a alcoholes superiores, que aportan notas sensoriales específicas a estas bebidas (Wang et al., 2017).

La aplicación de la segunda derivada (Figura 2B) al espectro original permitió mejorar significativamente la resolución espectral, revelando picos específicos que no eran distinguibles en los espectros originales (Power et al., 2021). Destaca la región de $5300\text{--}5400\text{ cm}^{-1}$, donde se identifican combinaciones y sobretonos relacionados con grupos funcionales O–H y C–H, típicos de alcoholes y agua. Este tratamiento permite identificar pequeñas diferencias composicionales y facilita la detección de adulteraciones, autenticidad y calidad en bebidas destiladas (Pontes et al., 2006; Power et al., 2021). También, la segunda derivada muestra bandas más estrechas en las regiones $5600\text{--}6000\text{ cm}^{-1}$ y $7000\text{--}7200\text{ cm}^{-1}$, permitiendo identificar con mayor precisión alcoholes superiores y variaciones en el contenido de agua libre y enlazada (Mendes et al., 2003; Wang et al., 2017).

La alta homogeneidad entre los espectros derivados sugiere consistencia composicional entre las muestras analizadas, aunque las pequeñas variaciones detectadas justifican la aplicación de técnicas estadísticas multivariadas avanzadas, como el análisis de componentes principales (PCA) o métodos de regresión como mínimos cuadrados parciales (PLS), para estudios de autenticidad y control de calidad en destilados de pulque (Pontes et al., 2006; Power et al., 2021).

4.3.2. Grados Brix y contenido alcohólico

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 2), valores consistentes en torno a $12\text{--}16\text{ }^{\circ}\text{Bx}$ en las muestras analizadas sugieren una línea base para la

calidad estándar del destilado de pulque; este puede ser un parámetro útil para el control de calidad rutinario, ayudando a detectar adulteraciones. También se mostraron variaciones en la composición de las muestras, en cuanto al grado alcohólico, 11 de las 12 muestras se encontraron dentro del rango permitido por la NOM-199-SCFI-2017, el cual establece en su Apartado 5. Clasificación, que para bebidas alcohólicas destiladas el contenido alcohólico se debe encontrar en un rango de 32-55 % Alc. Vol. (Secretaría de Economía, 2017), mientras que una muestra tuvo un contenido superior al máximo establecido (T2: 68.731 ± 0.087 % Alc. Vol).

Cuadro 2. Contenido alcohólico y grados Brix de las muestras analizadas.

Código	% Alc. Vol. declarado en etiqueta	% Alc. Vol. determinado experimentalmente	°Bx
P1	38.00	37.561 ± 0.005 f ^z	14.07 ± 0.15 e
P2	35.00	34.052 ± 0.032 j	13.03 ± 0.12 g
P3	45.00	44.547 ± 0.075 b	16.00 ± 0.10 b
T1	40.00	40.394 ± 0.016 e	14.93 ± 0.06 d
T2	70.00	68.731 ± 0.087 a	20.00 ± 0.10 a
M1	35.00	35.504 ± 0.025 g	13.47 ± 0.12 f
M2	45.00	44.223 ± 0.064 c	15.97 ± 0.06 b
M3	32.00	32.504 ± 0.064 k	12.60 ± 0.10 h
H1	35.00	34.336 ± 0.056 i	13.03 ± 0.06 g
H2	35.00	35.038 ± 0.060 h	13.20 ± 0.10 fg
H3	45.00	43.216 ± 0.054 d	15.40 ± 0.10 c
H4	32.00	32.288 ± 0.031 l	12.30 ± 0.10 i

^z Medias con diferentes letras dentro de cada columna, difieren estadísticamente ($p \leq 0.05$)
Fuente: Elaboración propia

La variabilidad observada puede reflejar diferencias en la materia prima (diferentes tipos o calidades de agave), en el proceso de fermentación (tiempo, temperatura, consorcio microbiano involucrado), en la técnica de destilación (una o más destilaciones, tipo de alambique) y en el contenido alcohólico final.

4.3.3. Análisis quimiométrico

En la Figura 3 se muestran gráficos de puntuaciones del modelo PCA con dos componentes principales. En la Fig. 3A y 3B se muestra un agrupamiento según las distintas muestras y regiones, sin embargo, destaca una muestra atípica (outlier) que se encuentra separada del resto de las muestras. Esta muestra está identificada como T2-Tlaxcala, desplazada significativamente del agrupamiento principal, lo que sugiere que no comparte las características espectroscópicas comunes a las demás muestras. La presencia de este outlier puede afectar la interpretación de los resultados del PCA, ya que puede dificultar la correcta identificación de patrones dentro de los grupos. Por lo tanto, se eliminó este punto para obtener un análisis más representativo.

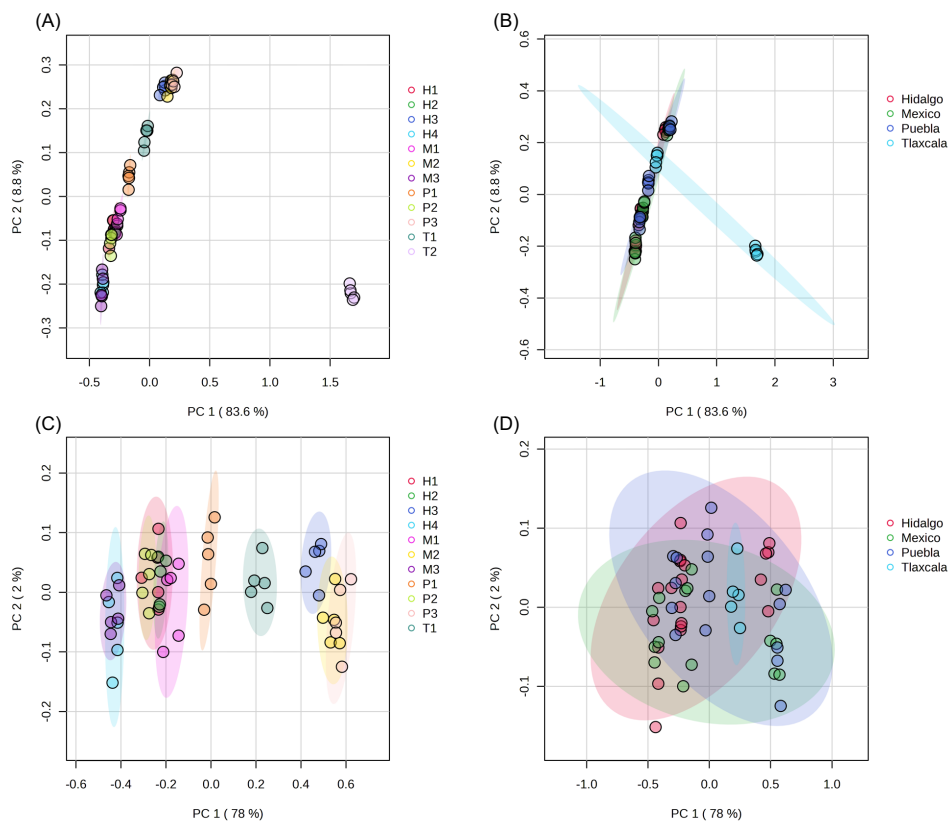


Figura 3. Gráficos de puntuaciones del modelo PCA de muestras de destilado de pulque.

(A) Muestras analizadas organizadas por codificación. (B) Muestras analizadas organizadas por región de procedencia. (C) Muestras analizadas organizadas por codificación eliminando el outlier (T2). (D) Muestras analizadas organizadas por región de procedencia eliminando el outlier.

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 3C y 3D, el outlier ha sido eliminado, lo que permite observar un agrupamiento más claro de las muestras y de las diferentes regiones. La Fig. 3C muestra como las agrupaciones más cercanas entre sí parecen corresponder a muestras con contenidos alcohólicos similares, mientras que la Fig. 3D ahora muestra una mayor homogeneidad dentro de cada grupo, lo que facilita la interpretación y mejora la precisión del análisis. Las muestras de las distintas regiones están más concentradas dentro de sus respectivos grupos, lo que indica que las variaciones espectroscópicas entre las muestras de una misma región son menores que las variaciones entre diferentes regiones.

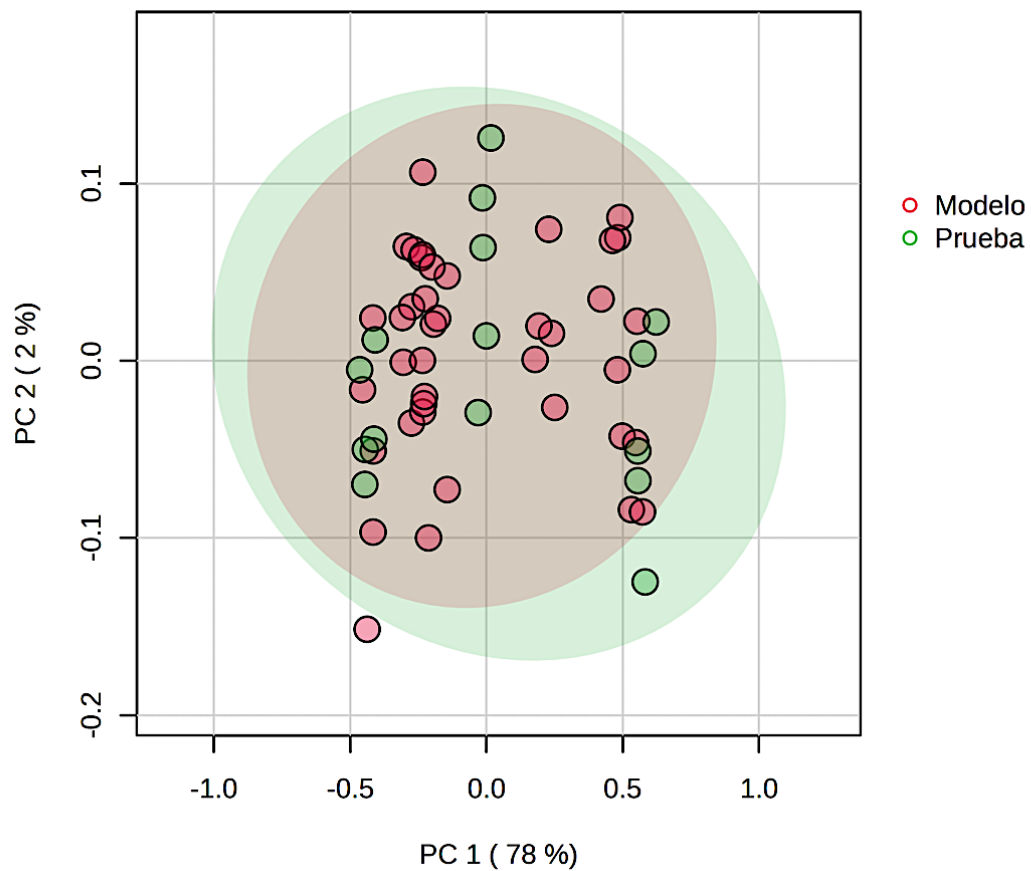


Figura 4. Gráfico de puntuaciones del modelo PCA con el Modelo-Prueba.
Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 4 se observa que la mayoría de las muestras aleatorizadas como Modelo y Prueba se agrupan de manera similar, lo que sugiere que ambas tienen características espectrales comparables, sin embargo, algunas muestras del clúster Prueba se encuentran más alejadas del clúster Modelo, lo que podría

indicar pequeñas diferencias entre los dos conjuntos, pero no pueden ser consideradas outliers debido a su proximidad al clúster central.

Mediante este análisis se demuestra que el desarrollo de este modelo será de gran utilidad, debido a que ahora se dispondrá de una herramienta para verificar la autenticidad del destilado de pulque, a medida que se obtengan nuevos espectros de diferentes muestras, se podrá determinar si el destilado analizado realmente fue obtenido a partir de pulque, proporcionando así un método confiable para su autenticación pero con la limitante de que el rango de trabajo de este modelo se establece en 32-45 % Alc. Vol.

4.3.4. Cromatografía de gases

En el Cuadro 3 se reportan los resultados obtenidos para los compuestos analizados: metanol, acetaldehído, propanol y acetato de etilo, dichos compuestos se reportaron en mg/100 mL de alcohol anhidro.

Cuadro 3. Compuestos volátiles de destilado de pulque provenientes de *Agave salmiana*.

Compuesto	P1	T1	T2	M2	H1	H4	Norma ^y
mg/100 mL alcohol anhidro							
Metanol	1.16±0.03 d ^z	4.25±0.09 b	5.16±0.02 a	1.07±0.20 d	3.37±0.21 c	4.05±0.04 bc	300
Acetaldehído	11.63±0.65 cd	9.65±0.29 d	13.61±0.55 c	30.30±0.55 a	3.11±0.12 e	16.78±0.62 b	40
n-propanol	4.70±0.05 c	9.68±0.80 b	16.48±0.10 a	4.70±0.10 c	4.30±0.10 c	9.40±0.40 b	500
Etil acetato	113.8±0.20 a	85.95±0.45 b	28.57±0.22 d	12.52±0.30 e	6.09±0.10 f	39.94±0.55 c	200

Fuente: Elaboración propia

^z Medias con diferentes letras dentro de cada fila, difieren estadísticamente ($p \leq 0.05$)

^y NOM-006-SCFI-2012, Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones.

Debido a la ausencia de una regulación específica, se recurrió a la normativa de bebidas alcohólicas con materia prima de origen similar como el tequila (NOM-006-SCFI-2012), en esta se establece que la cantidad de metanol debe estar entre 30 y 300 mg por cada 100 mL de alcohol anhidro, con el propósito de garantizar la autenticidad del producto. En el caso de las muestras de destilado de pulque analizadas, la concentración de metanol se encontró dentro de los límites estipulados en esta normativa, incluso llegando a tener concentraciones

inferiores al límite mínimo establecido, lo que se debe a la naturaleza de la materia prima utilizada, la cual se obtiene mediante un proceso de raspado y fermentación.

Al respecto, durante este proceso, la desmetoxilación de pectinas durante la cocción del agave actúan como precursores del metanol; sin embargo, dado que no se someten a una etapa de cocción, la generación de este compuesto es menor. La concentración de metanol en los destilados de agave puede variar debido a múltiples factores, entre ellos, la especie de agave utilizada, el grado de madurez de la planta, la región de cultivo, el método de procesamiento, el tipo de alambique y su material de fabricación, así como la técnica utilizada para separar las fracciones durante la destilación (Solís et al., 2017).

Los resultados obtenidos mediante el análisis de componentes principales (PCA) mostraron patrones de agrupamiento vinculados al contenido alcohólico, mientras que la GC permitió cuantificar compuestos volátiles como metanol, acetaldehído, propanol y acetato de etilo, todos dentro de los márgenes permitidos por la normativa vigente. Esta aproximación metodológica encuentra respaldo en trabajos como el de Power et al. (2021), quienes demostraron la capacidad del NIR, combinado con regresión PLS, para identificar adulterantes en whiskey irlandés en concentraciones mínimas, destacando su potencial como técnica rápida, no destructiva y apta para aplicaciones portátiles. De igual forma, Wang et al. (2017) señalan que la NIR ha mostrado alta precisión en la predicción de parámetros como contenido alcohólico, acidez, compuestos fenólicos y origen geográfico en diversas bebidas, con una reducción significativa en tiempos y costos frente a métodos convencionales. Por su parte, la relevancia de la GC como técnica de validación se observa en el estudio de Lachenmeier et al. (2006), quienes la usaron para detectar adulteraciones y cuantificar contaminantes en bebidas alcohólicas comerciales, subrayando la importancia de su complementariedad con técnicas espectroscópicas. Experiencias similares en la autenticación de otras bebidas tradicionales, como la cachaça, que de acuerdo con la NOM-199-SCFI-2017 es la denominación típica y exclusiva del aguardiente de caña producida en Brasil (SE, 2017), muestran que la NIR

combinada con algoritmos de clasificación logra diferenciar orígenes geográficos con alta sensibilidad y especificidad, además de estimar propiedades fisicoquímicas relevantes (Oliveira et al., 2023), lo que sugiere que la estrategia aplicada al destilado de pulque es extrapolable a otros productos con denominación de origen. Estos antecedentes permiten contextualizar los resultados del presente estudio dentro de un marco metodológico, reforzando la pertinencia de utilizar técnicas rápidas y no destructivas como la NIR para la clasificación preliminar y la GC como método confirmatorio, favoreciendo así la trazabilidad, autenticidad y control de calidad de bebidas fermentadas y destiladas.

4.4. Conclusiones

El análisis realizado en este estudio, que utilizó la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) y técnicas quimiométricas, permitió obtener una huella espectral sólida para autenticar los destilados de pulque. Al aplicar estas metodologías en muestras provenientes de distintas regiones del Altiplano Mexicano, se establecieron patrones de similitud y diferenciación que consolidan un modelo multiproducto confiable para discriminar entre muestras. Este modelo facilita la clasificación de los destilados según sus características espectrales y garantiza su autenticidad y consistencia. Asimismo, la base de datos generada ofrece un recurso útil para futuras aplicaciones de verificación, brindando a la industria una herramienta no destructiva y eficaz.

4.5. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) y de la Dirección General de Investigación y Posgrado mediante el financiamiento del Proyecto 24013-El: Caracterización química, sensorial y autenticidad en bebidas tradicionales mexicanas vinculadas a su origen geográfico como herramienta de valorización, sostenibilidad y mejora de las condiciones de vida de los productores para mejorar la autosuficiencia alimentaria.

4.6. Literatura citada

- Escalante, A., López Soto, D. R., Velázquez Gutiérrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F., and López-Munguía, A. (2016). Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 7, Issue JUN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>
- Esteki, M., Simal-Gandara, J., Shahsavari, Z., Zandbaaf, S., Dashtaki, E., and Vander Heyden, Y. (2018). A review on the application of chromatographic methods, coupled to chemometrics, for food authentication. In *Food Control* (Vol. 93, pp. 165–182). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.06.015>
- Goguitchaichvili, A., Cervantes Solano, M., Lazcano Arce, J. C., Serra Puche, M. C., Morales, J., Soler, A. M., & Urrutia-Fucugauchi, J. (2018). Archaeomagnetic evidence of pre-Hispanic origin of Mezcal. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21, 504–511. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.022>
- Jiménez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., Bagur-González, M. G., and Cuadros-Rodríguez, L. (2019). Alternative data mining/machine learning methods for the analytical evaluation of food quality and authenticity – A review. In *Food Research International* (Vol. 122, pp. 25–39). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.063>
- Lachenmeier, D. W., Sohnius, E. M., Attig, R., and López, M. G. (2006). Quantification of selected volatile constituents and anions in Mexican Agave spirits (Tequila, Mezcal, Sotol, Bacanora). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 3911–3915. <https://doi.org/10.1021/jf060094h>
- Mendes, L. S., Oliveira, F. C. C., Suarez, P. A. Z., and Rubim, J. C. (2003). Determination of ethanol in fuel ethanol and beverages by Fourier transform (FT)-near infrared and FT-Raman spectrometries. *Analytica Chimica Acta*, 493(2), 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(03\)00870-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(03)00870-5)

- Nevárez, M., Angélica, M., Gurrola, C., Esthela, E., Miranda, L., Cruz, S., Oscar, N., Perez, L. A., Guadalupe, M., Quiñones, R., and Miriam, O. (2011). Effect of fermentation temperature on chemical composition of mescals made from *Agave duranguensis* juice with different native yeast genera. *African Journal of Microbiology Research*, 5, 3669–3676. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86724347>
- Oliveira, S., Duarte, E., Gomes, M., Nagata, N., Fernandes, D. D. de S., and Veras, G. (2023). A green method for the authentication of sugarcane spirit and prediction of density and alcohol content based on near infrared spectroscopy and chemometric tools. *Food Research International*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112830>
- Pineda-Amaya, A. del C., Ocaña-Rios, I., García-Aguilera, M. E., Nolasco-Cancino, H., Quiroz-García, B., Esturau-Escofet, N., and Ruiz-Terán, F. (2021). ¹H-NMR profile of mezcal and its distillation fractions using two sample preparation methods: direct analysis and solid-phase extraction. *Chemical Papers*, 75(8), 4249–4259. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01660-5>
- Pontes, M. J. C., Santos, S. R. B., Araújo, M. C. U., Almeida, L. F., Lima, R. A. C., Gaião, E. N., and Souto, U. T. C. P. (2006). Classification of distilled alcoholic beverages and verification of adulteration by near infrared spectrometry. *Food Research International*, 39(2), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.005>
- Power, A. C., Jones, J., NiNeil, C., Geoghegan, S., Warren, S., Currivan, S., and Cozzolino, D. (2021). What's in this drink? Classification and adulterant detection in Irish Whiskey samples using near infrared spectroscopy combined with chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 5256–5263. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11174>
- Secretaría de Economía. (2017). NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de octubre de 2017.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017

Secretaría de Economía. (2012). NOM-006-SCFI-2012, Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones. Diario Oficial de la Federación, 5 de diciembre de 2012.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5321292&fecha=05/12/2012

Solís, A., Rivas, P., Escamilla-Alvarado, C., Rico-Martínez, R., Bravo Sanchez, M. G., and Botello-Alvarez, E. (2017). Methanol production kinetics during agave cooking for mezcal industry. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16, 827–834.

Szambelan, K., Nowak, J., Szwengiel, A., and Jeleń, H. (2020). Comparison of sorghum and maize raw distillates: Factors affecting ethanol efficiency and volatile by-product profile. *Journal of Cereal Science*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102863>

Valdivieso Solís, D. G., Vargas Escamilla, C. A., Mondragón Contreras, N., Galván Valle, G. A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F., and Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 5). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>

Wang, L., Sun, D. W., Pu, H., and Cheng, J. H. (2017). Quality analysis, classification, and authentication of liquid foods by near-infrared spectroscopy: A review of recent research developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(7), 1524–1538. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1115954>

Wiśniewska, P., Śliwińska, M., Dymerski, T., Wardencki, W., and Namieśnik, J. (2015). Application of Gas Chromatography to Analysis of Spirit-Based Alcoholic Beverages. In *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 45, Issue 3, pp. 201–225). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.904732>

5. CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DEL DESTILADO DE PULQUE MEDIANTE LA METODOLOGÍA RATE-ALL-THAT-APPLY (RATA): PERFIL Y ACEPTACIÓN DE CONSUMIDORES

Resumen

El presente estudio abordó la caracterización sensorial del destilado de pulque, bebida alcohólica tradicional del Altiplano Mexicano elaborada mediante fermentación y posterior destilación de aguamiel de *Agave salmiana*. Dado que el perfil sensorial constituye un criterio clave en la aceptación del consumidor, se aplicó la metodología Rate-All-That-Applied (RATA), técnica rápida y robusta que permite identificar presencia e intensidad de atributos a través de consumidores no entrenados. Se analizaron seis muestras provenientes de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala, evaluadas por un panel de 100 consumidores habituales de bebidas espirituosas derivadas de agave. Los participantes registraron atributos percibidos, calificaron su intensidad y expresaron el grado de agrado en escala ordinal. La información se procesó mediante análisis descriptivo, ANOVA univariado y Análisis de Componentes Principales (PCA), con el fin de detectar diferencias significativas y representar gráficamente la estructura de los perfiles. Los resultados evidenciaron diferenciación entre las muestras. Aromas y sabores dulces, junto con el olor característico a pulque, se asociaron con mayor aceptación; en contraste, notas herbales, olor a acetona y sensación picante se vincularon a menor agrado. El PCA agrupó las muestras en función de estos atributos, resaltando aquellas con perfil dulce y agradable. La metodología RATA demostró ser adecuada en contextos artesanales, aportando criterios objetivos para la valorización, autenticidad y competitividad del destilado de pulque.

Palabras clave: destilado de pulque, análisis sensorial, rate-all-that-apply, perfil sensorial, bebidas tradicionales, agave

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología
Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Walter Donald Méndez Ordoñez
Director de Tesis: Anastacio Espejel García, Dr.

SENSORY CHARACTERIZATION OF DISTILLED PULQUE USING THE RATE-ALL-THAT-APPLY (RATA) METHODOLOGY: CONSUMER PROFILING AND ACCEPTANCE

Abstract

This study focused on the sensory characterization of distilled pulque, a traditional alcoholic beverage from the Mexican Highlands produced through fermentation and subsequent distillation of *Agave salmiana* sap (aguamiel). Considering that the sensory profile is a key criterion for consumer acceptance, the Rate-All-That-Apply (RATA) methodology was employed, a rapid and robust technique that enables the identification of attribute presence and intensity by untrained consumers. Six samples from Hidalgo, Mexico State, Puebla, and Tlaxcala were evaluated by a panel of 100 regular consumers of agave-based spirits. Participants recorded the perceived attributes, rated their intensity, and expressed their degree of liking on an ordinal scale. Data were processed using descriptive statistics, univariate ANOVA, and Principal Component Analysis (PCA) to detect significant differences and visualize the overall structure of sensory profiles. The results revealed clear differentiation among samples. Sweet aromas and flavors, along with the characteristic pulque odor, were associated with higher acceptance, whereas herbal notes, acetone-like odor, and pungent sensations were linked to lower liking. PCA grouped the samples according to these sensory attributes, highlighting those with sweet and pleasant profiles. Overall, the RATA methodology proved suitable in artisanal contexts, providing objective criteria for the valorization, authenticity, and competitiveness of distilled pulque.

Keywords: distilled pulque, sensory analysis, rate-all-that-apply, sensory profile, traditional beverages, agave

5.1. Introducción

El destilado de pulque es una bebida alcohólica tradicional mexicana que se obtiene mediante la fermentación y posterior destilación del aguamiel, el jugo dulce extraído principalmente de diversas especies de agave cultivadas en el Altiplano Mexicano. Las especies más utilizadas son *Agave salmiana*, *A. americana*, *A. atrovirens* y *A. mapisaga* con un ciclo de maduración que puede variar entre 7 y 15 años para alcanzar una concentración adecuada de azúcares fermentables (Valdivieso Solís et al., 2021; Escalante et al., 2016). A diferencia del pulque, que es una bebida fermentada no destilada, este destilado implica un proceso adicional de destilación.

El proceso productivo del destilado de pulque inicia con el corte de la inflorescencia de la planta para favorecer la acumulación de aguamiel en una cavidad conocida como cajete. El aguamiel se extrae dos veces al día mediante succión tradicional y se almacena para la fermentación en establecimientos denominados tinacales. La fermentación es un proceso espontáneo mediado por una microbiota compleja que incluye bacterias lácticas y levaduras, que transforma el aguamiel en pulque (Escalante et al., 2016; Valdivieso Solís et al., 2021). Finalmente, el pulque fermentado se destila para obtener el destilado de pulque, incrementando su grado alcohólico y concentrando compuestos volátiles que definen su aroma y sabor característicos.

La aceptación del consumidor de bebidas alcohólicas destiladas está estrechamente vinculada a las características sensoriales percibidas, principalmente el aroma, sabor y cuerpo del producto, estos atributos sensoriales dependen directamente de las condiciones de elaboración (Chávez-Parga et al., 2016), es decir de la compleja interacción de múltiples factores que abarcan desde la materia prima hasta los procesos de producción y almacenamiento. En bebidas de agave como el destilado de pulque, los factores principales incluyen la especie de agave utilizada, el origen geográfico, las condiciones ambientales, el microbiota autóctono durante la fermentación, y el sistema de destilación utilizado. Estos factores afectan la composición química, especialmente el perfil de compuestos volátiles y no volátiles que determinan características clave como

aroma, sabor y textura, los cuales son fundamentales para la percepción sensorial y la calidad final del producto (Vera-Guzmán et al., 2018).

Para describir y cuantificar estos perfiles sensoriales, se han desarrollado diversas metodologías descriptivas, tanto convencionales como rápidas. La descripción sensorial convencional (QDA por sus siglas en inglés, Análisis descriptivo cuantitativo) es considerada el estándar por su precisión y capacidad para evaluar intensidades de atributos mediante panelistas entrenados, pero requiere un entrenamiento extenso y tiempo considerable (Liu et al., 2018).

En contraste, metodologías rápidas como Free-Choice Profiling (FCP, por sus siglas en inglés), Flash Profile (FP, por sus siglas en inglés), Check-All-That-Apply (CATA, por sus siglas en inglés) y Rate-All-That-Apply (RATA, por sus siglas en inglés) han ganado popularidad debido a su menor demanda de tiempo y capacidad para incluir evaluadores no expertos, como consumidores (Kim et al., 2023). A diferencia de los métodos convencionales que requieren paneles entrenados y procesos extensos de calibración, estas metodologías amplían la representatividad de la evaluación sensorial hacia la perspectiva real del consumidor y permiten obtener resultados consistentes con menor inversión de recursos (Valentin et al., 2012).

La elección del tipo de juez depende del objetivo de investigación: si se busca caracterizar con precisión atributos técnicos de un producto, los paneles entrenados siguen siendo la referencia; mientras que cuando el interés radica en captar la percepción espontánea o los descriptores más relevantes para el consumidor, resulta ventajoso recurrir a participantes no expertos, ya que su aporte refleja de manera más directa la aceptación y el lenguaje de mercado (Meyners et al., 2016). En este sentido, las técnicas rápidas ofrecen flexibilidad para adaptarse a distintos contextos, desde la optimización de productos hasta estudios de autenticidad en alimentos tradicionales.

El método Rate-All-That-Apply (RATA) es una variante de la técnica Check-All-That-Apply (CATA) que ha sido desarrollada para superar algunas limitaciones del formato CATA tradicional, en particular la incapacidad para medir la intensidad de los atributos sensoriales percibidos (Ares et al., 2014). En la metodología

RATA, los participantes seleccionan los atributos sensoriales que consideran aplicables a un producto y, posteriormente, califican la intensidad de cada uno usando una escala estructurada, usualmente de 3 a 5 puntos con anclas que van de "baja" a "alta" intensidad o aplicabilidad (Jaeger et al., 2018; Meyners et al., 2016).

Este diseño permite un mayor nivel de detalle en la caracterización sensorial, incrementando la capacidad para discriminar entre muestras con perfiles sensoriales similares, algo que el método CATA puede dificultar debido a su naturaleza binaria (presencia/ausencia). Además, el análisis estadístico de los datos RATA puede realizarse mediante métodos paramétricos como el ANOVA (por sus siglas en inglés) y pruebas t, considerando que las respuestas no marcadas se codifican con intensidad cero, lo que facilita su análisis y aplicación práctica (Meyners et al., 2016).

En cuanto a su implementación en bebidas alcohólicas tradicionales como el destilado de pulque, RATA ofrece ventajas significativas, debido a la heterogeneidad de las materias primas y procesos involucrados en la producción de destilados, es fundamental contar con una metodología que permita evaluar tanto la presencia como la intensidad de atributos sensoriales clave que definen su calidad y tipicidad. Este método facilita la caracterización rápida y precisa de estos perfiles sensoriales, incluso por parte de consumidores sin entrenamiento previo, lo cual es esencial para el posicionamiento comercial y la mejora continua del producto (Jaeger et al., 2018).

Además, estudios comparativos entre RATA y otras técnicas sensoriales, como el Análisis Descriptivo, han mostrado que RATA puede alcanzar un nivel similar de discriminación y configuración sensorial, pero con menores requerimientos de entrenamiento y tiempo, lo que la hace ideal para evaluaciones en contextos de producción artesanal o mercados emergentes (Danner et al., 2018).

Por lo tanto, la metodología RATA se presenta como una herramienta prometedora para la evaluación sensorial del destilado de pulque, permitiendo obtener perfiles sensoriales completos y cuantitativos que pueden ser analizados con métodos estadísticos robustos, facilitando así la valorización de esta bebida

tradicional mexicana. Dado lo anterior, el objetivo de este estudio fue identificar y valorar sensorialmente los atributos presentes en destilados de pulque mediante la metodología Rate-All-That-Apply (RATA) para caracterizar el perfil sensorial de muestras provenientes de empresas destiladoras ubicadas en el Altiplano Mexicano, de los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala.

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Muestreo

Se realizó un muestreo no probabilístico de tipo dirigido, ya que el estudio requería seleccionar muestras con características específicas, las cuales no podrían obtenerse mediante un muestreo aleatorio; se seleccionaron seis muestras de destilado de pulque provenientes del Altiplano Mexicano, elaboradas a partir de la fermentación de aguamiel extraída de la especie *Agave salmiana* y su posterior destilación. La obtención y selección de estas muestras se basó en las muestras utilizadas para cuantificación de compuestos volátiles mediante GC-FID (Cuadro 4), expuestas en el Capítulo 4 “Análisis de autenticidad del destilado de pulque mediante espectroscopía NIR y modelos quimiométricos”

Cuadro 4. Codificación y origen de las muestras utilizadas en la caracterización sensorial.

Código	Municipio	Estado	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
P1	Cholula	Puebla	19° 03' 7.2" N	98° 18' 7.2" O	2,160
T1	Españita	Tlaxcala	19° 25' 8" N	98° 9' 36" O	2,240
T2	Nanacamilpa	Tlaxcala	19° 29' 00" N	98° 14' 00" O	2,500
M2	Axapusco	México	19° 50' 50" N	98° 46' 54" O	2,310
H1	Singuilucan	Hidalgo	20° 22' 48" N	98° 50' 24" O	2,100
H4	Cardonal	Hidalgo	20° 26' 11" N	98° 40' 29" O	2,280

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Grupo focal

Se conformó un panel compuesto por doce consumidores no entrenados, que fueran mayores de edad y consumidores frecuentes de bebidas espirituosas elaboradas a partir de agave (mezcal, tequila). A los participantes se les presentaron las seis muestras de destilado y se les solicitó que registraran en una hoja los descriptores o atributos sensoriales presentes en cada muestra, enfocándose en aquellos que mejor permitieran diferenciar las muestras entre sí. Posteriormente, se hizo un consenso y una breve familiarización con los términos sensoriales para asegurar que todos comprendieran el significado de cada atributo y de esta manera obtener los atributos a utilizar en este estudio. Después, una lista de atributos relevantes para el destilado de pulque se elaboró e incluyó características de aroma (colocar atributos), sabor (colocar atributos) y sensación en boca (colocar atributos). Estos atributos fueron presentados a destiladores de pulque con el fin de determinar si eran adecuados y representativos para describir las muestras analizadas, siendo confirmados y validados por los mismos destiladores como los mejores descriptores sensoriales.

5.2.3. Método RATA (Rate-All-That-Apply)

Se diseñó un cuestionario que incluyó los nueve atributos previamente definidos en forma de lista (Anexo 8.2), con el objetivo de facilitar la recopilación de datos. Posteriormente, se analizaron estadísticamente para identificar diferencias significativas entre las muestras y determinar el perfil sensorial específico del destilado de pulque. Cada consumidor recibió las seis muestras servidas en vasos codificados con números aleatorios de tres dígitos para evitar sesgos, se dispuso de agua y galletas entre muestras para minimizar los sabores residuales. Las muestras se presentaron en orden aleatorio individualizado para cada participante. Los consumidores participantes, reclutados entre consumidores de bebidas espirituosas de agave (mezcal, tequila) con una frecuencia de consumo al menos una vez cada 15 días, fueron instruidos para probar cada muestra en el orden establecido (de izquierda a derecha). Posteriormente, seleccionaron los atributos sensoriales que identificaran en cada muestra y evaluar tanto la

intensidad percibida de dichos atributos como el grado de agrado general, para ambas evaluaciones se utilizó una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 correspondía a la menor intensidad o menor agrado y 9 a la mayor intensidad o mayor agrado. En total se reclutaron 100 consumidores, quienes completaron la evaluación y el cuestionario para cada muestra sin un límite de tiempo estricto, manteniendo un ritmo constante para minimizar la fatiga sensorial.

5.2.4. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de la prueba RATA fueron sometidos a un análisis estadístico para evaluar las diferencias sensoriales entre las seis muestras de destilado de pulque. Primero, se realizó un análisis descriptivo para obtener las medias de las intensidades asignadas a cada atributo. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) univariado para cada atributo evaluado con el fin de identificar diferencias significativas en la intensidad percibida entre las muestras.

Para explorar la estructura global de los perfiles sensoriales, se realizó un Análisis de Componentes Principales sobre las medias de intensidad de los atributos seleccionados. El análisis se llevó a cabo utilizando el software RStudio Versión 2025.05.0+496 (Boston, Massachusetts, Estados Unidos de América).

5.3. Resultados y discusión

5.3.1. Análisis de varianza

En el Cuadro 5 se muestra el perfil descriptivo del destilado de pulque, comparando las medias de intensidad de diversos atributos sensoriales entre seis muestras analizadas de destilado de pulque, junto con la agrupación estadística que indica diferencias estadísticas significativas según la prueba HSD ($p \leq 0.05$).

En la Figura 5 se observa un gráfico tipo radar donde se muestra la comparación visual de diferentes características sensoriales evaluadas en seis muestras distintas de destilado de pulque. Las características evaluadas incluyen:

“Agrado”, “Aroma herbal”, “Aroma alcohol”, “Aroma dulce”, “Olor acetona”, “Olor pulque”, “Permanencia”, “Sabor alcohol”, “Sabor dulce” y “Sensacion picante”.

Cuadro 5. Perfil descriptivo de destilado de pulque, comparación de media de las intensidades de sus atributos.

Atributo	H1	H4	M2	P1	T1	T2
Agrado	5.59 ± 1.35 b ^z	4.01 ± 1.33 c	7.03 ± 0.85 a	2.4 ± 1.11 d	5.51 ± 1.77 b	3.88 ± 1.39 c
Aroma herbal	1.52 ± 1.09 c	5.45 ± 1.15 a	1.52 ± 1.09 c	5.33 ± 1.05 a	1.52 ± 1.09 c	2.06 ± 1.5 b
Aroma alcohol	5.57 ± 1.11 b	5.35 ± 1.07 b	7.5 ± 1.17 a	3.34 ± 1.16 d	4.64 ± 1.11 c	7.07 ± 0.78 a
Aroma dulce	2.74 ± 1.57 c	3.81 ± 1.41 b	2.74 ± 1.57 c	2.47 ± 1.07 c	5.03 ± 1.37 a	3.68 ± 1.12 b
Olor acetona	3.55 ± 1.11 e	4.95 ± 0.81 c	4.04 ± 1.4 d	8.05 ± 0.88 a	1.88 ± 1.32 f	5.68 ± 1.12 b
Olor pulque	5.41 ± 1.1 a	2.23 ± 1.46 b	1.93 ± 1.39 b	2.35 ± 1.65 b	1.93 ± 1.39 b	2.09 ± 1.52 b
Permanencia	3.63 ± 2.15 b	6.03 ± 0.83 a	5.53 ± 1.16 a	3.27 ± 2.74 b	3.54 ± 2.12 b	3.71 ± 2.29 b
Sabor alcohol	2.97 ± 1.42 d	6.47 ± 1.14 a	4.03 ± 0.78 c	4.89 ± 1.59 b	4.65 ± 2.02 b	6.05 ± 0.81 a
Sabor dulce	3.66 ± 1.14 a	1.97 ± 1.38 bc	3.66 ± 1.14 a	1.85 ± 1.45 c	3.66 ± 1.14 a	2.44 ± 1.77 b
Sensación picante	3.1 ± 2.35 d	5.95 ± 0.83 ab	2.14 ± 1.41 e	5.56 ± 1.15 b	4.33 ± 1.16 c	6.45 ± 1.03 a

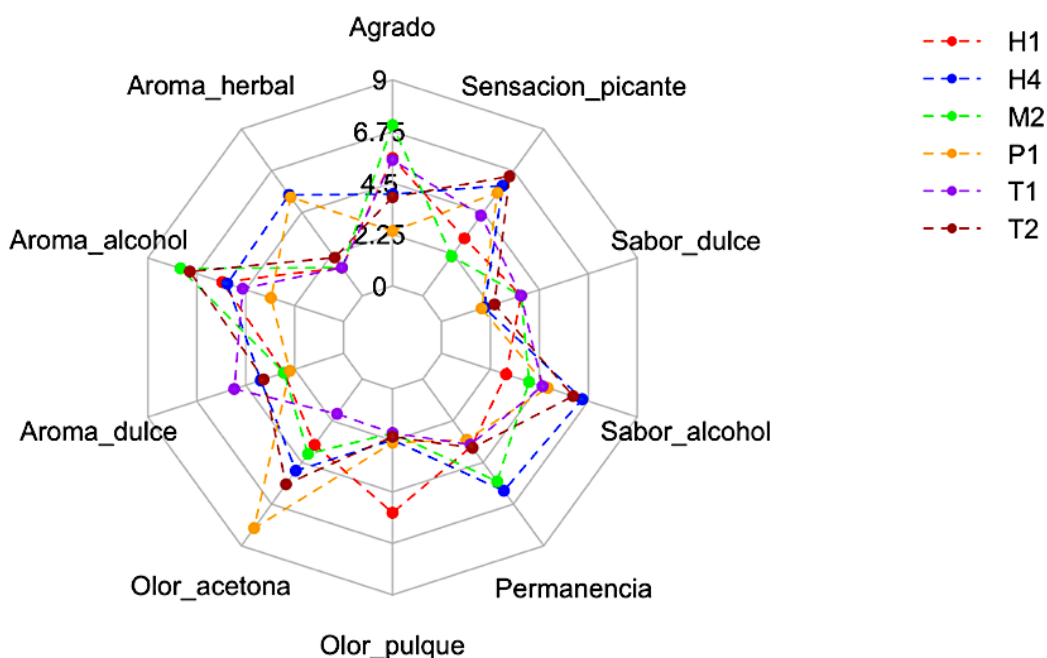


Figura 5. Perfil sensorial comparativo de seis muestras evaluadas de destilado de pulque.

Analizadas mediante la prueba RATA, mostrando las medias de intensidad percibida en atributos clave

Fuente: Elaboración propia

El análisis descriptivo realizado mediante la prueba RATA permitió observar diferencias sensoriales entre las muestras evaluadas. La muestra M2 destacó con un alto nivel de agrado (7.03), presentando además la intensidad más elevada en aroma alcohólico (7.5), poca presencia de aroma herbal (1.52) y la menor sensación picante (2.14). Por otro lado, la muestra P1 se percibió como menos agradable (2.4), resaltando negativamente por su intensa nota de acetona (8.05) y baja percepción de dulzura tanto en aroma (2.47) como en sabor (1.85). Mientras que la muestra H4 mostró perfiles altos en características específicas como aroma herbal (5.45), permanencia en boca (6.03), sabor alcohólico (6.47) y sensación picante (5.95), indicando un producto fuerte y complejo. Finalmente, las muestras H1 y T1 presentaron perfiles más equilibrados, destacando particularmente H1 por un olor característico a pulque (5.41) y una baja percepción alcohólica en sabor (2.97), mientras que T1 resaltó por un aroma dulce significativo (5.03).

5.3.2. Matriz de correlaciones

El Cuadro 6 muestra las correlaciones entre diferentes atributos sensoriales evaluados mediante la prueba RATA en seis muestras de destilado de pulque. La escala de correlación varía de -1 a 1, donde valores cercanos a 1 indican una relación positiva fuerte (ambos atributos tienden a aumentar o disminuir juntos), valores cercanos a -1 indican una relación negativa fuerte (cuando uno aumenta, el otro disminuye), y valores próximos a 0 indican poca o ninguna relación lineal entre los atributos.

Además, en el Cuadro 6 se resaltan en negritas aquellas correlaciones que resultaron estadísticamente significativas, considerando un valor de $p < 0.05$, lo que indica que la relación observada entre esos atributos sensoriales es poco probable que se deba al azar y, por tanto, es confiable para su interpretación.

Esta matriz sugiere que ciertas características sensoriales como el aroma herbal y olor a acetona podrían estar asociadas a un menor agrado del destilado de pulque por parte del consumidor. La sensación picante parece afectar

negativamente el agrado y podría representar un atributo crítico para la aceptación.

Cuadro 6. Matriz de correlaciones entre los atributos analizados de las muestras de destilado de pulque.

	Agrado	Aroma herbal	Aroma alcohol	Aroma dulce	Olor acetona	Olor pulque	Permanencia	Sabor alcohol	Sabor dulce	Sensación picante
Agrado	1.000	-0.493	0.368	0.017	-0.488	0.100	0.129	-0.230	0.338	-0.462
Aroma herbal		1.000	-0.386	-0.089	0.536	-0.116	0.093	0.347	-0.385	0.374
Aroma alcohol			1.000	-0.028	-0.198	-0.010	0.212	-0.043	0.175	-0.173
Aroma dulce				1.000	-0.323	-0.146	-0.041	0.108	0.045	0.111
Olor acetona					1.000	-0.081	-0.049	0.204	-0.401	0.327
Olor pulque						1.000	-0.123	-0.255	0.098	-0.145
Permanencia							1.000	0.056	-0.040	-0.045
Sabor alcohol								1.000	-0.241	0.430
Sabor dulce									1.000	-0.309
Sensación picante										1.000

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Análisis de componentes principales (PCA)

La Figura 6 muestra un gráfico del PCA tipo mapa externo con dos componentes principales, Comp1 y Comp2, que explican el 30.9 y 14.3 % de la variabilidad total, respectivamente, sumando un total del 45.2 %. En este gráfico se representan tanto las muestras (con distintos símbolos y colores) como los vectores de los atributos sensoriales. Comp1 (30.9 %) parece reflejar un gradiente que separa atributos como "Aroma herbal" y "Olor acetona" (con vectores apuntando hacia la derecha), de atributos como "Olor pulque", "Agrado" y "Sabor dulce" que se ubican hacia la izquierda.

Esto indica que las muestras que se posicionan a la derecha tienen mayor intensidad en aromas herbales y olor a acetona, mientras que las que están a la izquierda están más relacionadas con olor característico de pulque y sabor dulce, además de mayor agrado.

El componente dos (14.3 %) separa atributos como "Aroma dulce" y "Permanencia" (puntuales hacia arriba) de atributos como "Sabor alcohol" y

"Sensación picante" (más hacia la parte media-derecha del gráfico). Esto sugiere que algunas muestras tienen perfiles más dulces y con mayor permanencia, mientras que otras presentan sensaciones más alcohólicas y picantes.

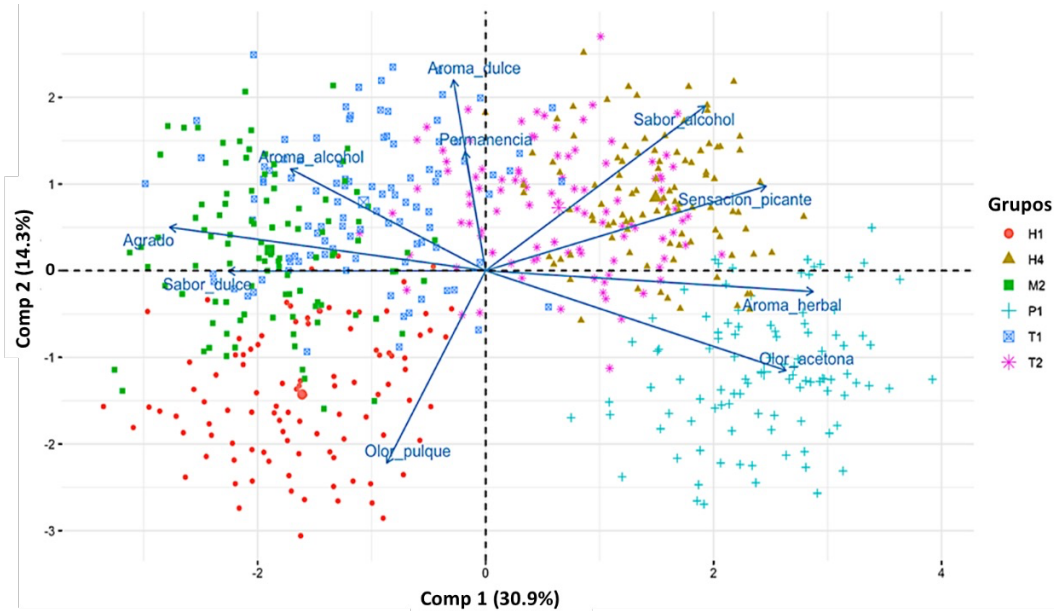


Figura 6. Biplot de PCA tipo mapa externo de las evaluaciones de seis muestras de destilado de pulque.

Muestra la distribución de los consumidores agrupados por muestra (H1, H4, M2, P1, T1 y T2) en relación con los atributos sensoriales proyectados en los ejes Comp1 y Comp2.

Fuente: Elaboración propia

La muestra H1 (círculos rojos) se agrupa principalmente en la parte inferior izquierda, asociado con atributos como "Olor pulque", "Agrado" y "Sabor dulce". Esto indica que esta muestra es percibida con olor característico de pulque, sabores dulces y con mayor aceptación por parte de los consumidores. Mientras que, la muestra P1 (cruces celestes) se posiciona en la parte derecha del gráfico, cercano al vector "Olor acetona", lo que indica que esta muestra tiene un perfil con olor a acetona, atributo que pueden relacionarse con un menor agrado. Por otro lado, las muestras T1 (cuadros azules) y T2 (asteriscos rosas) se distribuyen hacia la zona central y superior, asociados a atributos como "Aroma alcohol", "Aroma dulce" y "Permanencia", mostrando perfiles más equilibrados entre aromas dulces y alcohólicos y mayor persistencia en boca. En tanto que, la muestra H4 (triángulos marrones) se ubica en la parte superior derecha, cercano a "Sabor alcohol" y "Sensación picante", indicando que estas muestras se

perciben con sabores alcohólicos más intensos y sensación picante, atributos que podrían afectar la preferencia dependiendo del consumidor.

La muestra M2 (cuadrados verdes) aparece más disperso en la zona izquierda-media, relativamente cercano a atributos positivos como "Agrado" y "Sabor dulce", sugiriendo aceptación favorable.

Los grupos mejor valorados (como H1 y M2) se asocian con atributos dulces y olor característico de pulque, mientras que los grupos con mayor aroma herbal, olor a acetona o sensación picante tienden a estar más separados y podrían tener menor aceptación.

La Figura 7 representa un gráfico de dos componentes tipo mapa combinado que explican conjuntamente el 71.8% de la variabilidad total, lo cual indica que estos dos componentes capturan la mayoría de la información sensorial.

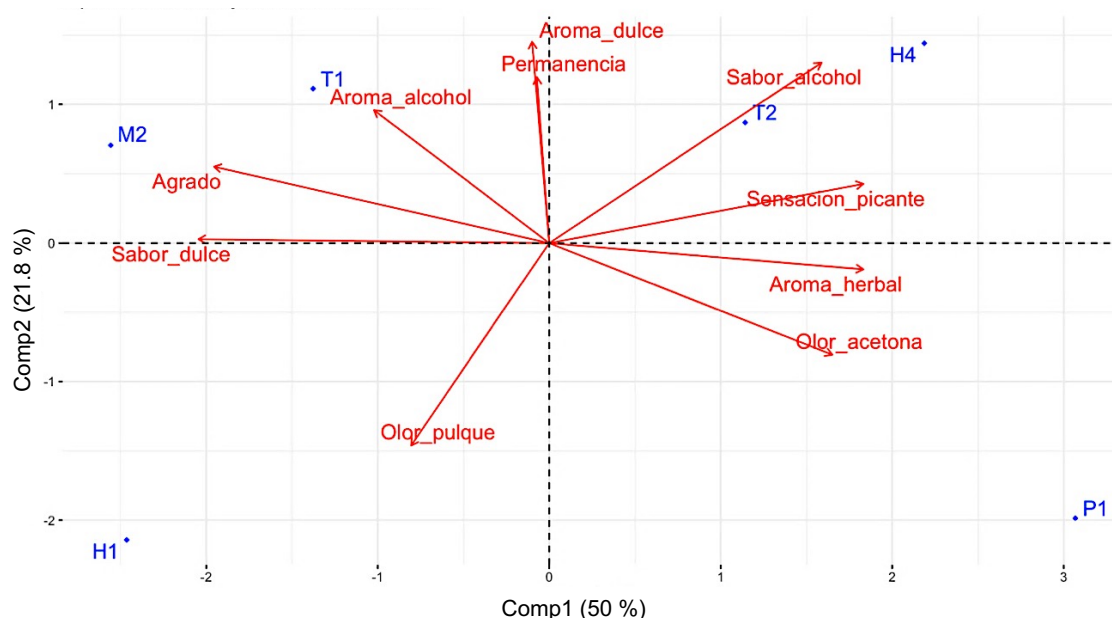


Figura 7. Biplot de PCA tipo mapa combinado (interno-externo) de seis muestras analizadas de destilado de pulque.

Muestra la posición de las muestras (H1, H4, M2, P1, T1 y T2) en relación con los atributos sensoriales (vectores rojos).

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran que los atributos de aroma y sabor dulce y el olor característico a pulque se asociaron con una mayor aceptación por parte de los consumidores, mientras que descriptores como aroma herbal, olor a acetona

y sensación picante se relacionaron con menor agrado. Este patrón es consistente con lo reportado por Ares et al. (2014), quienes observaron que la metodología RATA permite discriminar de manera más fina entre productos con perfiles sensoriales similares, ya que no solo identifica la presencia de atributos, sino que también considera su intensidad, lo que aporta un valor adicional para correlacionar dichos atributos con la preferencia del consumidor.

En este sentido, el análisis de componentes principales aplicado en el presente estudio facilitó la visualización de agrupamientos de muestras en función de combinaciones de atributos, lo que concuerda con la utilidad de RATA para generar configuraciones sensoriales estables y relevantes para el análisis de aceptación. Asimismo, el vínculo entre ciertos descriptores sensoriales y la aceptación está en línea con lo señalado por Danner et al. (2018), quienes encontraron que el uso de RATA con consumidores sin experiencia previa produce resultados comparables a los obtenidos con análisis descriptivo convencional, incluso en matrices complejas como el vino, permitiendo identificar atributos clave que impulsan la preferencia.

En el caso del destilado de pulque, este enfoque resulta particularmente ventajoso dado el carácter artesanal y la variabilidad inherente a la materia prima y los procesos, donde metodologías rápidas y sensibles pueden captar mejor las diferencias percibidas.

Por otra parte, los atributos asociados positivamente con la aceptación (como notas dulces y aromas característicos) refuerzan lo expuesto por Rahman (2019) sobre la importancia de la identidad sensorial en alimentos tradicionales, donde las características sensoriales distintivas son percibidas como indicadores de autenticidad y calidad por los consumidores. De igual forma, la menor aceptación de atributos como el aroma a acetona coincide con la literatura que destaca el rechazo hacia notas sensoriales asociadas a defectos o procesos inadecuados, lo cual puede guiar mejoras tecnológicas en la producción.

En conjunto, la comparación con estudios previos confirma que la metodología RATA no solo es efectiva para caracterizar perfiles sensoriales en bebidas alcohólicas complejas, sino que también permite vincular directamente esos

perfiles con la aceptación del consumidor. Este marco respalda que los resultados obtenidos en el destilado de pulque representan una herramienta robusta para orientar tanto la preservación de atributos valorados como la corrección de características menos aceptadas, contribuyendo a la valorización y posicionamiento de esta bebida tradicional.

5.4. Conclusiones

El análisis sensorial realizado mediante la técnica Rate-All-That-Apply (RATA) permitió caracterizar de forma detallada el perfil sensorial de seis muestras de destilado de pulque provenientes del Altiplano Mexicano. Los resultados mostraron una diferenciación clara entre las muestras, evidenciada tanto en la matriz de correlaciones como en los análisis multivariados. Se identificaron atributos sensoriales positivos, como el aroma y sabor dulce y el característico olor a pulque, que se relacionaron con mayor agrado y aceptación por parte de los evaluadores.

Estos hallazgos aportan información valiosa para el mejoramiento y posicionamiento comercial del destilado de pulque, evidenciando la importancia de potenciar los atributos sensoriales que favorecen la aceptación del consumidor y minimizar aquellos que la disminuyen. Finalmente, el presente estudio contribuye a la tipicidad de una bebida tradicional mexicana, facilitando la conservación de su identidad sensorial y apoyando estrategias para mejorar su competitividad y sustentabilidad en el mercado.

5.5. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) y de la Dirección General de Investigación y Posgrado mediante el financiamiento del Proyecto 24013-El: Caracterización química, sensorial y autenticidad en bebidas tradicionales mexicanas vinculadas a su origen geográfico como herramienta de valorización, sostenibilidad y mejora de las condiciones de vida de los productores para mejorar la autosuficiencia alimentaria.

5.6. Literatura citada

- Ares, G., Bruzzone, F., Vidal, L., Cadena, R. S., Giménez, A., Pineau, B., Hunter, D. C., Paisley, A. G., and Jaeger, S. R. (2014). Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). *Food Quality and Preference*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.03.006>
- Chávez-Parga, M. D. C., Pérez Hernández, E., and González Hernández, J. C. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>
- Danner, L., Crump, A. M., Croker, A., Gambetta, J. M., Johnson, T. E., and Bastian, S. E. P. (2018). Comparison of rate-all-that-apply and descriptive analysis for the sensory profiling of wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 69(1), 12–21. <https://doi.org/10.5344/ajev.2017.17052>
- Escalante, A., López Soto, D. R., Velázquez Gutiérrez, J. E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F., and López-Munguía, A. (2016). Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological, and technical aspects. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 7, Issue JUN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>
- Jaeger, S. R., Lee, S. M., Kim, K. O., Chheang, S. L., Roigard, C. M., and Ares, G. (2018). CATA and RATA questions for product-focused emotion research: Five case studies using emoji questionnaires. *Food Quality and Preference*, 68, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.04.001>
- Kim, D. E., Kwak, H. S., Lim, M., and Lee, Y. (2023). Comparison of Check-All-That-Apply (CATA), Rate-All-That-Apply (RATA), Flash Profile, Free Listing, and Conventional Descriptive Analysis for the Sensory Profiling of Sweet Pumpkin Porridge. *Foods*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/foods12193556>
- Liu, J., Bredie, W. L. P., Sherman, E., Harbertson, J. F., and Heymann, H. (2018). Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: Free-Choice

- Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile. *Food Research International*, 106, 892–900. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.062>
- Meyners, M., Jaeger, S. R., and Ares, G. (2016). On the analysis of Rate-All-That-Apply (RATA) data. *Food Quality and Preference*, 49, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.11.003>
- Rahman, M. S. (2019). Traditional Foods, Sensory Excitements and Pleasure (pp. 273–292). https://doi.org/10.1007/978-3-030-24620-4_10
- Valdivieso Solís, D. G., Vargas Escamilla, C. A., Mondragón Contreras, N., Galván Valle, G. A., Gilés-Gómez, M., Bolívar, F., and Escalante, A. (2021). Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 5). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>
- Valentin, D., Chollet, S., Lelièvre, M., & Abdi, H. (2012). Quick and dirty but still pretty good: A review of new descriptive methods in food science. In *International Journal of Food Science and Technology* (Vol. 47, Issue 8, pp. 1563–1578). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03022.x>
- Vera-Guzmán, A. M., Guzmán-Gerónimo, R. I., López, M. G., and Chávez-Servia, J. L. (2018). Volatile compound profiles in mezcal spirits as influenced by agave species and production processes. *Beverages*, 4(1–9). <https://doi.org/10.3390/beverages4010009>

6. ATRIBUTOS DE VALORACIÓN Y DIFERENCIACIÓN EN DESTILADO DE PULQUE MEDIANTE EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN DISCRETA

Resumen

El objetivo del estudio fue identificar las preferencias y la disposición a pagar (DAP) de los consumidores hacia una bebida tradicional obtenida del aguamiel fermentado (pulque), considerando atributos específicos del destilado como origen, proceso de producción, certificación, premios internacionales (Concours Mondial de Bruxelles - CMB) y precio. Para ello, se aplicó la metodología de Experimentos de Elección Discreta (EED), con el fin de estimar la DAP a partir de la información contenida en la etiqueta del producto, mediante encuestas a consumidores. Se utilizó un diseño factorial mixto al azar para equilibrar las variables en cada tarjeta, seleccionando ocho pares de tarjetas que fueron incluidas en la encuesta. Posteriormente, los datos se analizaron con un modelo de regresión logística polinomial en el software XLSTAT 2023, empleando un intervalo de confianza del 95 %. Los resultados indican que los atributos más valorados fueron el precio accesible (\$400 MXN), el proceso artesanal y la certificación. Sin embargo, se observó una disposición a pagar marginal negativa para el origen (Tlaxcala), la certificación y el proceso artesanal, lo que refleja que algunos consumidores no reconocen un beneficio claro en estos atributos. Entre las limitaciones, destaca la difusión limitada del destilado de pulque, ya que la mayoría de los participantes provienen del centro del país. Aun así, los hallazgos sugieren que el precio constituye el principal factor de decisión, mientras que la certificación, el carácter artesanal y los premios internacionales reciben menor valoración. En este sentido, se recomienda implementar estrategias de segmentación y comunicación que resalten el valor cultural y de identidad del destilado de pulque, fortaleciendo su posicionamiento como un producto tradicional con potencial de diferenciación en el mercado.

Palabras clave: Atributos, producto tradicional, valoración económica, bebida espirituosa

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología
Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Walter Donald Méndez Ordoñez
Director de Tesis: Anastacio Espejel García, Dr.

VALUATION AND DIFFERENTIATION ATTRIBUTES IN DISTILLED PULQUE USING DISCRETE CHOICE EXPERIMENTS

Abstract

The objective of this study was to identify consumer preferences and willingness to pay (WTP) for a traditional beverage derived from fermented “aguamiel” (pulque), considering specific attributes of the distillate such as origin, production process, certification, international awards (Concours Mondial de Bruxelles – CMB), and price. To this end, the Discrete Choice Experiment (DCE) methodology was applied to estimate WTP based on the information provided on the product label, through consumer surveys. A randomized mixed factorial design was employed to balance the variables across the choice cards, selecting eight pairs of cards that were included in the survey. Subsequently, the dataset was analyzed using a multinomial logistic regression model in XLSTAT 2023, with a 95% confidence interval. The results indicate that the most highly valued attributes were an affordable price (400 MXN), artisanal production, and certification. However, a marginal negative willingness to pay was observed for attributes such as origin (Tlaxcala), certification, and artisanal process, suggesting that some consumers do not perceive a clear benefit from these elements. Among the limitations, the restricted diffusion of pulque distillate stands out, given that most respondents were concentrated in central Mexico. Nevertheless, the findings suggest that price remains the primary decision-making factor, while certification, artisanal production, and international awards receive comparatively lower valuation. In this context, it is recommended to design segmentation and communication strategies that emphasize the cultural and identity value of pulque distillate, thereby reinforcing its positioning as a traditional product with significant potential for differentiation in the market.

Keywords: Attributes, traditional product, economic valuation, spirituous beverage

6.1. Introducción

El consumo de alcohol en México ha mostrado variaciones significativas en los últimos años, con patrones diferenciados por edad, género y contexto socioeconómico. Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Continua 2022 (Ensanut), el consumo de alcohol en adultos (20 años o más) alcanzó el 55.5 %. Los hombres reportaron una mayor prevalencia que las mujeres, aunque la brecha de género se ha reducido progresivamente. Entre los adolescentes, el consumo aumenta con la edad, destacando un 52.1 % de consumo actual en jóvenes de 18 a 19 años, principalmente en aquellos con mayores niveles socioeconómicos y que residen en áreas urbanas y metropolitanas. En adultos, el consumo es mayor en jóvenes (64.9 % entre 20 y 34 años) y disminuye con la edad (Ramírez-Toscano et al., 2023). La bebida alcohólica más producida y consumida en México es la cerveza, debido a que representa un acceso más económico y culturalmente aceptado, seguida de las bebidas destiladas, dentro de las cuales se incluye el tequila, mezcal, whisky, brandy, ron, entre otros (Seales & Associates, 2021).

En las bebidas destiladas, aspectos como la clase de bebida destilada, proceso de producción hace que estas sean un producto difícil y confuso para que los consumidores elijan (Kallas et al., 2012). Por ello resulta importante entender la relación de las propiedades y atributos del destilado de pulque y su relación con la percepción del consumidor.

Las señales intrínsecas como el sabor, el año de destilación, la variedad de agave (o variedades) y el contenido de alcohol; así como el lugar de procedencia, la marca, el precio, los premios obtenidos, su envase y sus etiquetas son relevantes en el mercado agroindustrial (Cervantes, 2021). Como consecuencia, la variedad de bebidas alcohólicas destiladas disponibles en el mercado hace que las elecciones del consumidor sean más complejas que las de otros productos alimenticios.

Existen herramientas diseñadas para evaluar las preferencias de los consumidores; uno de los métodos de valoración multi-atributo es el de Experimentos de Elección (EE). Esta metodología facilita una evaluación más

certera del aprecio hacia un producto, mejorando la precisión con la que se determina el valor económico que los consumidores están dispuestos a pagar por un artículo que se caracteriza por su amplio rango de cualidades, tanto tangibles como intangibles (Barrera-Rodríguez et al., 2019).

El Experimento de Elección se basa en la teoría de la utilidad aleatoria (McFadden, 1974; Thurstone, 1927) y la teoría de Lancaster (Lancaster, 1966). La teoría de la utilidad aleatoria sugiere que los individuos asocian una utilidad a cada alternativa de elección, por lo que los consumidores eligen la alternativa que les ofrece la mayor utilidad (McFadden, 1994). En cambio, Lancaster (1966) propone que la utilidad de un bien se puede descomponer en las utilidades generadas por los diferentes atributos de los productos.

Los elementos clave para implementar los Experimentos de Elección Discreta (EED) incluyen la preparación de cuestionarios, la aplicación de encuestas y el análisis económico (Chèze et al., 2021), esta metodología permite estudiar cómo las personas eligen entre diferentes alternativas de un producto, particularmente cuando se consideran atributos relacionados con la credibilidad o autenticidad (Lizin et al., 2022). El proceso consiste en presentar a los participantes diversas opciones y pedirles que seleccionen la que prefieren (Weber, 2021). Esto proporciona información valiosa sobre las evaluaciones económicas y las decisiones, siendo especialmente relevante en contextos ambientales, económicos y alimentarios.

Los experimentos de elección han sido utilizados para evaluar las preferencias de los consumidores y la disposición a pagar en alimentos genéticamente modificados (Burton et al., 2001; Hu et al., 2005; James y Burton, 2003), alimentos orgánicos (Rousseau y Vranken, 2013), carne (Fox et al., 2005; Loureiro y Umberger, 2007; Wu et al., 2015), frutas frescas (Sepúlveda et al., 2017; Wongprawmas y Canavari, 2017), vino (Corsi et al., 2022; Gonçalves et al., 2019; Pabst et al., 2021; Tait et al., 2019), tequila (Zapata-Morán et al., 2024), raicilla (Pablo-Cano et al., 2024), entre otros.

La Disposición a Pagar (DAP) representa la relación entre la utilidad marginal de un atributo y la utilidad marginal del ingreso, donde esta última corresponde al

valor negativo de la utilidad marginal del costo (McFadden, 1974). Su estimación se realiza mediante la inclusión de un atributo de costo entre las características de las alternativas evaluadas en las encuestas, lo que la convierte en una herramienta útil para el análisis de costo-beneficio (Cantillo et al., 2020).

El pulque es la bebida mexicana por excelencia debido a que cuenta con una larga tradición desde tiempos prehispánicos (Erlwein et al., 2013); se elabora a partir de la fermentación del mucílago, popularmente conocido como “aguamiel”, esta se obtiene mediante el raspado de la pared del “corazón” de la planta (*Agave salmiana*) después de la extracción del meristemo apical y reposo de 6 a 12 meses. El proceso de fermentación se lleva a cabo en establecimientos denominados “tinacales”; donde se vierte el aguamiel en recipientes de materiales que van desde el plástico hasta aquellos diseñados de cuero de bovino y se mezcla con la semilla o pie de pulque y a partir de este momento comienza la fermentación y transformación del aguamiel en pulque (SADER, 2015). Tanto del aguamiel como del pulque se obtiene una gama de subproductos (Astudillo et al., 2022), uno de estos es el destilado de pulque.

En este contexto, ante la recuperación y crecimiento de esta bebida tradicional, surge la necesidad de identificar los atributos que permitan a los productores ser más competitivos en un mercado creciente y diversificado. De acuerdo con Antonelli y Viganò (2018), los consumidores perciben positivamente los productos tradicionales, asociándolos con atributos como salubridad, alta calidad, herencia cultural y regional, y un mayor valor nutrimental, entre otras características. Por lo tanto, el estudio del destilado de pulque en la presente investigación es una combinación de atributos que incluyen información del lugar de origen, tipo de proceso, certificación, distinciones y precio. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue identificar las preferencias y disposición a pagar por parte de los consumidores mediante la valoración de los atributos diferenciadores del destilado de pulque.

6.2. Materiales y métodos

Se aplicó una encuesta a 207 participantes, generada a través de Microsoft Forms (Anexo 8.3), la cual fue difundida mediante redes sociales. Los criterios que se consideraron fueron: edad mayor de 18 años, conocedores y/o consumidores de destilado de pulque y disposición en participar en el estudio. Para una población infinita, se asumió la máxima varianza, con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 7 % (Martinez y Caro, 2008).

La encuesta estuvo compuesta de tres secciones: 1) en la primera parte se preguntaba si eran conocedores de la bebida, 2) se evaluó la disposición a pagar por una botella de 750 mL de destilado de pulque mediante experimentos de elección discreta donde se propuso la selección de la alternativa de preferencia y 3) se preguntaron datos sociodemográficos del consumidor (lugar de procedencia, edad, sexo, escolaridad, ocupación e ingreso).

La selección de atributos y niveles se realizó mediante una revisión bibliográfica, así como el acercamiento a productores de destilado de pulque para determinar aquellos atributos que consideraran importantes. Se seleccionaron los atributos de origen, proceso de producción, certificación, premios y precio (Cuadro 7) como los más relevantes para el presente estudio.

Cuadro 7. Atributos y niveles del experimento de elección discreta.

Variable	Niveles
Origen	Estado de México
	Hidalgo
	Puebla
	Tlaxcala
Proceso de producción	Artesanal
	Industrial
Certificación	Con certificación
	Sin certificación
Premios	Con medalla
	Sin medalla
Precio	\$ 400
	\$ 700
	\$ 1000

Fuente: Elaboración propia

Considerando las variables y niveles del Cuadro 7 se obtuvo un total de 96 combinaciones ($4^1 \times 3^1 \times 2^3$), sin embargo, esto se consideraba de difícil manejo debido a la cantidad elevada de combinaciones, por dicha situación se optó por usar un Diseño Factorial Fraccionado utilizando el software IBM SPSS Statistics Versión 29.0.2.0, a través del cual se obtuvieron las combinaciones.

El experimento incluyó 16 tarjetas de simulación (Cuadro 8). Estas tarjetas fueron agrupadas en parejas con la finalidad de obtener ocho conjuntos que fueron presentados a cada participante, donde podía elegir entre la opción A, la opción B y se incluyó la opción de No compraría ninguna (Figura 8).

Cuadro 8. Tarjetas obtenidas mediante SPSS.

ID de tarjeta	Origen	Proceso	Certificación	Medalla	Precio
1	Tlaxcala	Artesanal	SC	CM	\$ 1000
2	Edo de México	Industrial	SC	SM	\$ 400
3	Tlaxcala	Industrial	CC	SM	\$ 400
4	Tlaxcala	Industrial	SC	CM	\$ 700
5	Edo de México	Artesanal	CC	CM	\$ 700
6	Hidalgo	Artesanal	SC	SM	\$ 700
7	Tlaxcala	Artesanal	CC	SM	\$ 400
8	Hidalgo	Industrial	SC	SM	\$ 1000
9	Puebla	Artesanal	SC	CM	\$ 400
10	Edo de México	Artesanal	SC	SM	\$ 400
11	Puebla	Industrial	CC	SM	\$ 700
12	Hidalgo	Industrial	CC	CM	\$ 400
13	Edo de México	Industrial	CC	CM	\$ 1000
14	Hidalgo	Artesanal	CC	CM	\$ 400
15	Puebla	Artesanal	CC	SM	\$ 1000
16	Puebla	Industrial	SC	CM	\$ 400

Fuente: Elaboración propia

SC: Sin certificación, CC: Con certificación, SM: Sin medalla, CM: Con medalla



Figura 8. Ejemplo de tarjeta de elección de destilado de pulque.

Fuente: Elaboración propia

Los datos de elección se analizaron utilizando el Modelo Logit Multinomial (MNL), el cual se basa en la teoría de la utilidad aleatoria (McFadden, 1974), es un modelo probabilístico que busca la relación existente entre la probabilidad de seleccionar cada una de las alternativas generadas con los atributos de esas alternativas y con las características de los individuos. El análisis estadístico se realizó mediante el software XLSTAT Versión 2023.2.1414.

6.3. Resultados y discusión

Las características sociodemográficas de los participantes en el estudio se presentan en el Cuadro 9. Se aprecia mayor disposición de participación por parte del género masculino, con 58.94 %, en comparación con el 41.06 % del género femenino. El rango de edad predominante es de 18 a 29 años, representando el 39.61 %, seguido del grupo de 30 – 39 años (32.37 %); estos dos grupos fueron los más representativos de los encuestados con un 71.97 %.

El 63.28 % de la población encuestada cuenta con un nivel educativo de licenciatura, mientras que un 31.40 % declararon contar con nivel medio superior.

La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo reportó que para profesionistas y técnicos el salario promedio mensual en el primer trimestre de 2025 fue de \$7,520.00 (Secretaría de Economía, 2025); respecto a los encuestados, un 56.52 % tiene un ingreso en el grupo de \$ 5,000 a \$ 10,000 MXN, mientras un 43.47 % declaró tener un ingreso superior a los \$ 10,000 MXN. Respecto a las categorías ocupacionales, el 32.37 % de los encuestados indicaron desempeñarse como obreros en diversas empresas, mientras un 22.7 % declararon ser trabajadores independientes.

Cuadro 9. Características sociodemográficas de los consumidores (n = 207).

Variable	Centro	Occidente	Sur	Total
Género (%)				
Masculino	32.37	9.66	16.91	58.94
Femenino	22.71	8.21	10.14	41.06
Grupo de edad (%)				
18 - 29 años	17.87	8.21	13.53	39.61
30 - 39 años	19.81	5.31	7.25	32.37
40 - 49 años	12.08	3.86	4.83	20.77
50 - 59 años	5.31	0.48	1.45	7.24
Nivel educativo (%)				
Media superior	14.98	6.76	9.66	31.4
Superior	37.68	11.11	14.49	63.28
Posgrado	2.42	0.00	2.90	5.32
Ocupación (%)				
Campesino / Agricultor	0.97	0.48	0.97	2.42
Empleado de gobierno	1.45	0.00	0.48	1.93
Estudiante	8.21	3.38	6.28	17.87
Obrero	19.81	3.86	8.70	32.37
Trabajador independiente	11.59	4.35	6.76	22.7
Otro	13.04	5.80	3.86	22.7
Ingreso mensual (%)				
\$ 5,000 a \$ 10,000	29.95	11.59	14.98	56.52
\$ 10,000 a \$ 15,000	19.32	4.83	9.66	33.81
\$ 15,000 a \$ 20,000	2.90	1.45	0.48	4.83
> \$ 20,000	2.90	0.00	1.93	4.83

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro 10, la bondad del ajuste proporciona varios indicadores del modelo obtenido y la variabilidad de los datos. En los experimentos de elección discreta, la estimación de modelos logit suele contrastarse entre dos escenarios: el modelo independiente o nulo, que únicamente incluye el intercepto y asume ausencia de efectos de las variables explicativas, y el modelo completo, que incorpora todos los atributos y niveles definidos en el diseño (Melo Guerrero et al., 2020). El valor más relevante es el de χ^2 y la R^2 (McFadden) asociado con la relación logarítmica (L.R.), este es el equivalente de la prueba F de Fisher del modelo lineal. En este caso, la probabilidad es inferior a 0.0001 (Cuadro 11), se puede concluir que las variables aportan una cantidad significativa de información, además de un $R^2 = 0.368$, este valor se encuentra dentro del rango de 0.10 – 0.50, el cual se considera aceptable en estudios sociales (Ozili, 2022), además de acuerdo con (Melo Guerrero et al., 2020; Valdivia et al., 2023), un valor obtenido del R^2 de McFadden entre 0.2 y 0.4 equivaldría a un R^2 de 0.70 – 0.90 en mínimos cuadrados ordinarios, lo que indica un buen ajuste.

Cuadro 10. Estadísticos de bondad del ajuste.

Estadístico	Independiente	Completo
Observaciones	4968	4968
Suma de los pesos	4968.000	4968.000
GL	4967	4957
-2 Log(Verosimilitud)	6324.405	3997.252
R^2(McFadden)	0.000	0.368
R^2 (Cox and Snell)	0.000	0.374
R^2 (Nagelkerke)	0.000	0.519
AIC	6326.405	4019.252
SBC	6332.916	4090.870
Iteraciones	0	12

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11. Prueba de hipótesis.

Estadístico	GL	Chi-cuadrado	Pr > χ^2
-2 Log(Verosimilitud)	10	2327.153	< 0.0001
Score	10	2094.052	< 0.0001
Wald	10	1296.979	< 0.0001

Fuente: Elaboración propia

El modelo logit se utilizó para estimar y calcular el coeficiente para cada variable y obtener la significancia a un valor de $Pr > \chi^2$ para aquellos atributos que ayudan a explicar el castigo o sobreprecio por parte de los consumidores. El Cuadro 12 muestra los atributos y los niveles analizados; de los cuales, el precio (\$ 400 MXN), origen (Tlaxcala), proceso artesanal, con certificación y sin medalla resultaron ser las características con diferencia estadística significativa y por las cuales los consumidores está dispuestos a pagar un excedente o recibir compensación.

Cuadro 12. Coeficientes estandarizados para la DAP.

Atributo	Coeficiente	Error estándar	χ^2	$Pr > \chi^2$	Límite inf. (95 %)	Límite sup. (95 %)
Intercepción	-2.822	0.107	698.912	< 0.0001		
Hidalgo	0.000	0.000				
Puebla	0.034	0.168	0.042	0.838	-0.294	0.363
Tlaxcala	1.237	0.171	52.297	< 0.0001	0.902	1.572
Mexico	0.419	0.153	7.497	0.006	0.119	0.719
Industrial	0.000	0.000				
Artesanal	0.910	0.097	87.534	< 0.0001	0.719	1.101
CC	2.378	0.288	68.082	< 0.0001	1.813	2.943
SC	0.368	0.290	1.606	0.205	-0.201	0.937
CM	-0.318	0.214	2.210	0.137	-0.737	0.101
SM	-1.280	0.200	41.132	< 0.0001	-1.672	-0.889
400	2.274	0.120	361.993	< 0.0001	2.040	2.509
700	0.155	0.124	1.550	0.213	-0.089	0.398
1000	0.000	0.000				

Fuente: Elaboración propia

La DAP marginal se expresa comúnmente como la razón negativa del coeficiente del atributo no relacionado con el precio y al coeficiente del precio. Esta disposición a pagar marginal se reporta en el Cuadro 13, muestra que los consumidores esperan recibir una compensación económica cuando: el destilado es originario de Tlaxcala (- \$ 0.54 MXN), es obtenido mediante un proceso artesanal (- \$ 0.40 MXN) o cuenta con certificación (- \$ 1.05 MXN); o esperan

pagar un excedente cuando no cuenta con alguna medalla como la del CMB (\$ 0.56 MXN).

Ante esta situación, algunos de los factores que afectaron la percepción del consumidor e influyeron en la DAP son el desconocimiento por parte de los participantes, debido a que no estaban familiarizados con los términos utilizados o los consideraron irrelevantes; al tratarse de un estudio donde se consideraron tanto a conocedores como consumidores, algunos de los participantes no pertenecen al segmento que valora estos atributos, los consumidores que valoraron más el precio, valoraron menos el proceso artesanal o las certificaciones.

Cuadro 13. Disposición a pagar marginal por destilado de pulque.

Atributo	Coeficiente	DAP Marginal
Hidalgo	0.000	0.00
Puebla	0.034	-0.02
Tlaxcala	1.237	-0.54
México	0.419	-0.18
Industrial	0.000	0.00
Artesanal	0.910	-0.40
CC	2.378	-1.05
SC	0.368	-0.16
CM	-0.318	0.14
SM	-1.280	0.56

Fuente: Elaboración propia

6.4. Conclusiones

El estudio demostró que los consumidores tienen diferentes niveles de disposición a pagar por los atributos del destilado de pulque, destacando que no todos los atributos son igualmente valorados. Esto resalta la importancia de entender las prioridades y percepciones del mercado y los consumidores. Los atributos que influyeron en mayor medida fueron el precio, el origen (especialmente Tlaxcala), el proceso de producción artesanal y la certificación.

Considerando estos aspectos se podría incorporar más participantes de diferentes regiones y perfiles sociodemográficos, esto con la finalidad de proporcionar una visión más representativa del mercado, así como implementar estrategias de comunicación que expliquen el valor de atributos como la certificación, el proceso artesanal y los premios, esto podría aumentar su valoración por parte del consumidor.

6.5. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) y de la Dirección General de Investigación y Posgrado mediante el financiamiento del Proyecto 24013-El: Caracterización química, sensorial y autenticidad en bebidas tradicionales mexicanas vinculadas a su origen geográfico como herramienta de valorización, sostenibilidad y mejora de las condiciones de vida de los productores para mejorar la autosuficiencia alimentaria. Así mismo, a los participantes por su disposición para completar la encuesta en esta investigación.

6.6. Literatura citada

- Antonelli, G., y Viganò, E. (2018). Global Challenges in Traditional Food Production and Consumption. En *Case Studies in the Traditional Food Sector* (pp. 25–46). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101007-5.00003-8>
- Astudillo, F., and Escalante, A. (2022). Los beneficios de una bebida prehispánica en nuestros días: pulque para todos. <https://acmor.org/publicaciones/los-beneficios-de-una-bebida-prehisp-nica-en-nuestros-d-as-pulque-para-todos-segunda-y-ltima-parte>
- Barrera-Rodríguez, A. I., Cuevas-Reyes, V., y Espejel-García, A. (2019). Factores de valoración en consumidores de mezcal en Oaxaca. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(54). <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.811>
- Burton, M., Rigby, D., Young, T., y James, S. (2001). Consumer attitudes to genetically modified organisms in food in the UK. *European Review of Agricultural Economics*, 28(4), 479–498. <https://doi.org/10.1093/erae/28.4.479>
- Cantillo, J., Martín, J. C., y Román, C. (2020). Discrete choice experiments in the analysis of consumers' preferences for finfish products: A systematic literature review. En *Food Quality and Preference* (Vol. 84). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103952>
- Cervantes, J. (2021). Valoración económica del mezcal de San Felipe, Guanajuato (Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Chapingo, México). Consultada en: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/3ca1630b-7122-4b82-a3f9-d90fea548b1a/full>
- Chèze, B., Collet, C., y Paris, A. (2021). Estimating discrete choice experiments : theoretical fundamentals. <https://ifp.hal.science/hal-03262187v1>
- Corsi, A. M., Lockshin, L., Louviere, J., Cohen, J., y Bruwer, J. (2022). Bridging the gap between trade operators and consumers to better understand the U.S. wine market: A simultaneous application of discrete choice

- experiments. *Industrial Marketing Management*, 106, 152–165.
<https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.08.010>
- Erlwein, S., Roberto, J., Tapia, M., y Pegueros, A. V. (2013). 059-104-Etnograficos-Juan.pdf. Consultado en:
www.ucm.es/info/eurotheo/diccionario/A/index.html
- Fox, J. A., Tonsor, G. T., y Schroeder, T. C. (2005). European Preferences for Beef Steak Attributes. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.31213>
- Gonçalves, T., Pinto, L. M. C., y Lourenço-Gomes, L. (2019). Exploring distinct sources of heterogeneity in discrete choice experiment: An application to wine choice across European consumers. *Economics Letters*, 178, 28–32.
<https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.02.019>
- Hu, W., Veeman, M. M., y Adamowicz, W. L. (2005). Labelling Genetically Modified Food: Heterogeneous Consumer Preferences and the Value of Information. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 53(1), 83–102.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2005.04004.x>
- James, S., y Burton, M. (2003). Consumer preferences for GM food and other attributes of the food system. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 47(4), 501–518. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2003.t01-1-00225.x>
- Kallas, Z., Escobar, C., y Gil, J. M. (2012). Assessing the impact of a Christmas advertisement campaign on Catalan wine preference using Choice Experiments. *Appetite*, 58(1), 285–298.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.09.017>
- Lancaster, K. J. (1966). A New Approach to Consumer Theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132–157. <https://doi.org/10.1086/259131>
- Lizin, S., Rousseau, S., Kessels, R., Meulders, M., Pepermans, G., Speelman, S., Vandebroek, M., Van Den Broeck, G., Van Loo, E. J., y Verbeke, W. (2022). The state of the art of discrete choice experiments in food research. *En Food Quality and Preference* (Vol. 102). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104678>

- Loureiro, M. L., y Umberger, W. J. (2007). A choice experiment model for beef: What US consumer responses tell us about relative preferences for food safety, country-of-origin labeling and traceability. *Food Policy*, 32(4), 496–514. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.11.006>
- Martinez, J. A., y Caro, L. M. (2008). Determinación de la máxima varianza para el cálculo del factor de imprecisión sobre la escala de medida y extensión a diferentes tipos de muestreo. <https://www.researchgate.net/publication/28224830>
- McFadden, D. (1974). Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In P. Zarembka (ed.) *Frontiers in Econometrics*. New York: Academic Press, 105-142.
- Melo Guerrero, E., Rodríguez Laguna, R., Martínez Damián, M. Á., Hernández Ortiz, J., y Razo Zárate, R. (2020). Consideraciones básicas para la aplicación de experimentos de elección discreta: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.676>
- Ozili, P. K. (2022). The Acceptable R-Square in Empirical Modelling for Social Science Research. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4128165>
- Pablo-Cano, M., Espejel-García, A., Hernández-Montes, A., y Hernández-Rodríguez, L. (2024). Consumers' Willingness to Pay for Attributes of Sustainability, Origin and Production Process in Raicilla. *Sustainability*, 16(19), 8633. <https://doi.org/10.3390/su16198633>
- Pabst, E., Corsi, A. M., Vecchio, R., Annunziata, A., y Loose, S. M. (2021). Consumers' reactions to nutrition and ingredient labelling for wine – A cross-country discrete choice experiment. *Appetite*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104843>
- Ramírez-Toscano, Y., Canto-Osorio, F., Carnalla, M., Colchero, M. A., Reynales-Shigematsu, L. M., Barrientos-Gutiérrez, T., y López-Olmedo, N. (2023). Alcohol consumption patterns in Mexican adolescents and adults: Ensanut

- Continua 2022. Salud Publica de Mexico, 65.
<https://doi.org/10.21149/14817>
- Rousseau, S., y Vranken, L. (2013). Green market expansion by reducing information asymmetries: Evidence for labeled organic food products. *Food Policy*, 40, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.01.006>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2015). Pulque, bebida de Dioses. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México. Consultado en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/pulque-bebida-de-dioses>.
- Secretaría de Economía. (2025.). Profesionistas y técnicos. Data México. Recuperado el 13 de agosto de 2025, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/occupation/profesionistas-y-tecnicos>
- Seales & Associates. (2021). Industria de bebidas alcohólicas en México. Consultado en:
<http://mnamexico.com/wp-content/uploads/2021/03/Alcoholic-Beverages-ESP.pdf>
- Sepúlveda, W. S., Ureta, I., Hernández, G. A., y Solorzano, G. K. (2017). Consumo de plátano en Ecuador: Hábitos de compra y disponibilidad a pagar de los consumidores. *Revista em Agronegocio e Meio Ambiente*, 10(4), 995–1014. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p995-1014>
- Tait, P., Saunders, C., Dalziel, P., Rutherford, P., Driver, T., y Guenther, M. (2019). Estimating wine consumer preferences for sustainability attributes: A discrete choice experiment of Californian Sauvignon blanc purchasers. *Journal of Cleaner Production*, 233, 412–420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.076>
- Thurstone, L. L. (1927). A law of comparative judgment. *Psychological Review*, 34(4), 273–286. <https://doi.org/10.1037/h0070288>
- Valdivia, M. S. H., Guerrero, E. M., Alcalá, R. V., Núñez, L. M. V., Ortiz, J. H., y Damián, M. Á. M. (2023). Analysis of the willingness to pay for antibiotic-

- free pork, a Choice Experiments approach. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 14(3), 658–671. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6062>
- Weber, S. (2021). A Step-by-Step Procedure to Implement Discrete Choice Experiments in Qualtrics. *Social Science Computer Review*, 39(5), 903–921. <https://doi.org/10.1177/0894439319885317>
- Wongprawmas, R., y Canavari, M. (2017). Consumers' willingness-to-pay for food safety labels in an emerging market: The case of fresh produce in Thailand. *Food Policy*, 69, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.03.004>
- Wu, L., Wang, S., Zhu, D., Hu, W., y Wang, H. (2015). Chinese consumers' preferences and willingness to pay for traceable food quality and safety attributes: The case of pork. *China Economic Review*, 35, 121–136. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2015.07.001>
- Zapata-Morán, I., López-Feldman, A., y Bejarano, H. (2024). Tequila, bats, and agave farmers: towards an understanding of the right incentives to protect genetic diversity. *Environmental Research Communications*, 6(1), 011002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad19f4>

7. CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo permitió caracterizar de manera integral el destilado de pulque del Altiplano Mexicano, abarcando sus dimensiones productivas, fisicoquímicas, sensoriales y de percepción del consumidor. A través del análisis de unidades de producción en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México, se evidenció un proceso mayoritariamente artesanal, donde el uso de *Agave salmiana*, las prácticas agrícolas tradicionales y la figura del tlachiquero constituyen pilares fundamentales en la preservación del conocimiento ancestral. Esta dimensión cultural se articula directamente con la tipicidad del producto, entendida como la expresión de un saber hacer ligado a un territorio específico. La autenticidad del destilado fue evaluada usando herramientas como espectroscopía NIR, cromatografía de gases y análisis quimiométrico, confirmando la presencia de perfiles espectrales y volátiles característicos según su origen geográfico, el tipo de agave y el método de elaboración. Asimismo, los compuestos volátiles identificados, como el metanol, acetato de etilo y n-propanol, se mantuvieron dentro de parámetros aceptables, reforzando tanto la calidad como la seguridad del producto.

Desde el punto de vista sensorial, el método RATA aplicado con consumidores no entrenados permitió identificar los atributos más valorados del destilado. Los perfiles sensoriales que mostraron mayor aceptación fueron aquellos que destacaron por su olor característico a pulque, sabor dulce, permanencia en boca y ausencia de notas desagradables como acetona o amargor. Además, los análisis multivariados como el PCA mostraron agrupamientos por atributos y por muestra, indicando una consistencia en los perfiles sensoriales que también sustentan su tipicidad. Por otro lado, los experimentos de elección discreta revelaron que los consumidores otorgan mayor valor a los atributos vinculados

con el origen geográfico (particularmente Tlaxcala), el carácter artesanal del producto y la existencia de certificaciones de calidad. Estos factores se perciben como garantías de autenticidad y refuerzan la conexión emocional y simbólica del consumidor con el producto, aspectos claves para su diferenciación en el mercado. En contraste, atributos como premios ganados no generaron un impacto significativo, lo que reafirma que el consumidor valora más el origen y el proceso que la apariencia comercial.

Es por esto que el destilado de pulque del Altiplano Mexicano posee una tipicidad definida, construida a partir de su método de elaboración tradicional, su perfil sensorial distintivo, su composición química particular y su estrecha relación con el territorio y la cultura pulquera. Esta tipicidad no solo le otorga autenticidad y valor simbólico, sino que también representa una ventaja competitiva en el mercado de bebidas espirituosas tradicionales. Por lo tanto, resulta indispensable establecer marcos regulatorios y esquemas de protección que garanticen la calidad, autenticidad y sostenibilidad de este producto, fomentando su valorización en mercados nacionales e internacionales, y contribuyendo al desarrollo económico y cultural de las comunidades productoras.

8. ANEXOS

8.1. Formato prueba RATA

Evaluación sensorial de destilado de pulque

FORMATO A Código: ____ ____ ____ Fecha: xx / xx / xxxx
Nombre: _____ Celular: _____

Instrucción: Frente a usted se encuentran 6 muestras de destilado de pulque codificadas con tres dígitos, antes de comenzar con la evaluación sensorial, escriba en la parte superior izquierda el código correspondiente a la muestra que evaluará. A continuación, se presenta una lista de descriptores referentes al olor y sabor del destilado de pulque, se recomienda leer primero cada descriptor para posteriormente, según su criterio, **marcar con "SI" o "NO"** en la columna **"aplica"** las características que percibe de la muestra evaluada. En caso de marcar con un "SI" en las columnas siguientes marque el recuadro que corresponda a la intensidad en una escala de 1 a 9, con la que percibe cada característica con **UNA X o ✓**.

Característica	Aplica (Si/No)	INTENSIDAD PERCIBIDA								
		Baja			Intermedia			Mucho		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aroma herbal		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Aroma a alcohol		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Aroma dulce		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Olor a acetona		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Olor a pulque		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Permanencia		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sabor a alcohol		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sabor dulce		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sensación picante		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Instrucción: Por favor, indique su nivel de agrado para las muestras evaluadas. Coloque el código de cada muestra en los espacios de la escala del 1 al 9 de acuerdo con el nivel de agrado que usted percibió.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---


 Me disgusta
extremadamente


 No me gusta ni
me disgusta


 Me gusta
extremadamente

8.2. Encuesta de valoración (Experimentos de elección discreta)

Destilado de pulque

La siguiente encuesta tiene como finalidad recopilar información sobre el consumo de destilado de pulque elaborado en la Región del Altiplano Mexicano, la información proporcionada será confidencial y empleada solo con fines académicos y de investigación.

Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria - Universidad Autónoma Chapingo

* Obligatoria

¿Sabías acerca de esto?

"El destilado de pulque no es un producto nuevo, es una tradición perdida en el tiempo"

Destilado de pulque artesanal:

Su elaboración considera:

1) Fermentación: tinajas o recipiente de **plástico grado alimenticio**

2) Destilación: con fuego directo en **alambique de cobre**

Destilado de pulque industrial:

Su elaboración considera:

1) Fermentación: recipientes o tanques de **acero inoxidable**

2) Destilación: **destiladores continuos o columnas de acero inoxidable**

Experimentos de Elección

De las dos alternativas de destilado que se le presentan a continuación, seleccione la opción que estaría dispuesto a comprar, considerando las **características presentadas en la etiqueta**:

1



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

2



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

3

*



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

4

*



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

5



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

6



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

7



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

8



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ Ninguna

Por último, nos podría apoyar respondiendo lo siguiente, para completar la encuesta.

9

Lugar de procedencia *

- ☐ Aguascalientes
- ☐ Baja California
- ☐ Baja California Sur
- ☐ Campeche
- ☐ Chiapas
- ☐ Chihuahua
- ☐ Ciudad de México
- ☐ Coahuila de Zaragoza
- ☐ Colima
- ☐ Durango
- ☐ Guanajuato
- ☐ Guerrero
- ☐ Hidalgo
- ☐ Jalisco
- ☐ México
- ☐ Michoacán
- ☐ Morelos
- ☐ Nayarit
- ☐ Nuevo Leon
- ☐ Oaxaca
- ☐ Puebla
- ☐ Querétaro de Arteaga
- ☐ Quintana Roo

- ☐ San Luis Potosi
- ☐ Sinaloa
- ☐ Sonora
- ☐ Tabasco
- ☐ Tamaulipas
- ☐ Tlaxcala
- ☐ Veracruz
- ☐ Yucatán
- ☐ Zacatecas
- ☐ De Procedencia Extranjera

10

Género *

- ☐ Masculino
- ☐ Femenino

11

Edad *

- ☐ 18 - 29 años
- ☐ 30 - 39 años
- ☐ 40 - 49 años
- ☐ 50 - 59 años
- ☐ 60 años y mas

12

Escolaridad *

- ☐ Básica
- ☐ Media superior
- ☐ Superior
- ☐ Posgrado
- ☐ Ninguna

13

Ocupación *

- ☐ Campesino /Agricultor
- ☐ Empleado de gobierno
- ☐ Estudiante
- ☐ Jubilado
- ☐ Labores del hogar
- ☐ Obrero
- ☐ Trabajador independiente
- ☐ Otro

14

Ingreso mensual *

- ☐ Menos de \$ 5,000
- ☐ \$ 5,000 a \$ 10,000
- ☐ \$ 10,000 a \$ 15,000
- ☐ \$ 15,000 a \$ 20,000
- ☐ más \$ 20,000

¡Muchas gracias por tomarse el tiempo para completar la encuesta!

Este contenido no está creado ni respaldado por Microsoft. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario.

 Microsoft Forms