



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

CARACTERIZACIÓN Y AUTENTICIDAD DEL DESTILADO DE AGAVE MEXIQUENSE COMO BASE DE INDICACIÓN GEOGRÁFICA

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA



APROBADA



Presenta:

ALFONSO REZA GONZÁLEZ

Bajo la supervisión de:

DR. ANASTACIO ESPEJEL GARCÍA

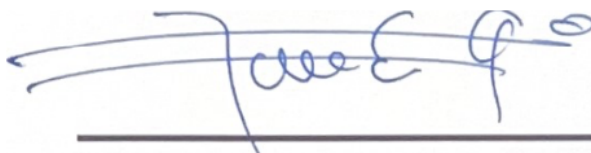


Chapingo, Estado de México, noviembre de 2024

CARACTERIZACIÓN Y AUTENTICIDAD DEL DESTILADO DE AGAVE MEXIQUENSE COMO BASE DE INDICACIÓN GEOGRÁFICA

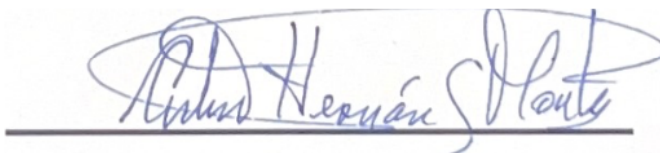
Tesis realizada por **Alfonso Reza González** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA



DIRECTOR:

DR. ANASTACIO ESPEJEL GARCÍA



ASESOR:

DR. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES



ASESOR.

DR. JOSÉ JUAN ORDAZ ORTIZ

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	v
DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.2 Marco teórico	14
2.2.1 Alimentos tradicionales y autenticidad	14
2.2.2 Figuras de protección jurídico económicas	15
2.2.3 Agave en México.....	17
2.2.4 Compuestos volátiles en destilados de agave.....	18
2.2.5 Métodos sensoriales para la caracterización de alimentos	19
2.2.6 Valoración económica y disposición a pagar en alimentos tradicionales	20
2.3 Marco de referencia	22
2.3.1 Mezcal.....	22
2.3.2 Destilado de agave mexiquense.....	23
2.4 Literatura citada	25

3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE MAGUEY CRIOLLO DEL SUR DEL ESTADO DE MÉXICO	33
3.1 Resumen	33
3.2 Introducción.....	35
3.3 Materiales y métodos	37
3.4 Resultados y discusión	41
3.5 Conclusión	49
3.6 Literatura citada	49
4. IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN DESTILADO DE AGAVE MEXIQUENSE MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES	53
4.1 Resumen	53
4.2 Introducción.....	55
4.3 Materiales y métodos	56
4.4 Resultados y discusión	58
4.5 Conclusión	64
4.6 Literatura citada	65
5. DESCRIPCIÓN SENSORIAL DE DESTILADO DE AGAVE PROVENIENTE DE CUATRO COMUNIDADES MEXIQUENSES MEDIANTE ANÁLISIS CUANTITATIVO DESCRIPTIVO	69
5.1 Resumen	69
5.2 Introducción.....	71
5.3 Materiales y métodos	73
5.4 Resultados y discusión	77
5.5 Conclusión	82
5.6 Literatura citada	83

6. HÁBITOS DE CONSUMO Y VALORIZACIÓN DE DESTILADO DE AGAVE MEXIQUENSE UTILIZANDO EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN DISCRETA ...	85
6.1 Resumen	85
6.2 Introducción.....	87
6.3 Materiales y métodos	90
6.4 Resultados y discusión	93
6.5 Conclusión	99
6.6 Literatura citada	99
7. CONCLUSIONES GENERALES.....	103

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los municipios de muestreo.....	38
Cuadro 2. Características y escalas utilizadas para la medición morfológica de los ejemplares de agaves.....	39
Cuadro 3. Autovalores entre atributos morfológicos de agaves.....	43
Cuadro 4. Muestras utilizadas para el estudio	57
Cuadro 5. Compuestos volátiles identificados en las muestras de destilado de agave mexiquense.	61
Cuadro 6. Compuestos identificados en mezcales elaborados con A. angustifolia Haw.....	63
Cuadro 7. Muestras de destilado de agave mexiquense utilizado.	73
Cuadro 8. Lista de atributos, descripción, referencia y valor generados por el panel para el QDA de destilado mexiquense.	75
Cuadro 9. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los ANOVA de los atributos evaluados en destilado de agave mexiquense, con el panel de jueces completo (n = 11).	78
Cuadro 10. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los análisis de varianza de los atributos evaluados en destilado de agave mexiquense, con eliminación de jueces.	79
Cuadro 11. Perfil descriptivo de destilado de agave mexiquense, comparación de media de las intensidades de sus atributos.	80
Cuadro 12. Cargas de correlación de las variables sensoriales evaluadas en destilados de agave mexiquense.	81
Cuadro 13. Atributos y niveles del EED.	91
Cuadro 14. Características socioeconómicas de los participantes (n=303).....	94

Cuadro 15. Hábitos de consumo por características sociodemográficas.....	95
Cuadro 16. Hábitos de consumo por características sociodemográficas.....	96
Cuadro 17. Parámetros del modelo y coeficientes estandarizados resultantes del MNL.	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de elaboración del destilado de agave mexiquense. Modificado con base en Pérez Reynosa (2018)	25
Figura 2. Localización geográfica del área de estudio	39
Figura 3. Plano bidimensional de la dispersión de los datos para CP1 y CP2. .	44
Figura 4. Dendograma de especímenes dividido en 5 grupos.	46
Figura 5. Taxones de maguey “criollo” muestreado en campo. A) Colonia Juárez; B) Palmar de Guadalupe; C) San José Chalmita y D) Santa Cruz Atempa.	47
Figura 6. Cromatogramas obtenidos de las muestras de destilado de agave mexiquense: A) MER, B) SIM, C) ELI, D) TOM.	59
Figura 7. Bi-plot del análisis de componentes principales de los atributos sensoriales significativos en destilado de agave mexiquense.	81
Figura 8. Ejemplo de tarjeta de elección para EED.	92

DEDICATORIAS

*A todos aquellos que han sido parte integral en mi camino académico,
profesional y personal.*

*A mis padres Lilia González Estrada y Alfonso Reza Zárate por su amor
incondicional y por creer en mí. Por sus sacrificios y su apoyo constante que
han sido la clave de cada etapa en mi vida.*

*A mis hermanos Luis Fernando y Alejandra por estar en todo momento y alegrar
mi vida.*

A mi sobrino Santiago, que logre todo lo que se proponga en la vida.

*A Don Victor Manuel Medina Medina, por brindarme la oportunidad de sentirme
parte de su familia y mostrarme la magnífica tradición de la destilación del
agave mexiquense.*

¡No hay que rajarse!

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) 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 la oportunidad de continuar mi formación académica y así conocer excelentes amigos y profesores.

Al Dr. Anastacio Espejel García por confiar en mi persona y en el proyecto de vida que busco fortalecer, por sus conocimientos compartidos y facilidades para desarrollar la presente investigación.

A mis asesores, Dr. Arturo Hernández Montes y Dr. José Juan Ordaz Ortiz por su paciencia, por sus conocimientos compartidos y contribución en esta investigación.

A mis padres por ser mi ejemplo y soporte.

A Don Vic, Elías, familia Medina, Don Simitrio, familia Vargas, Don Merce y familia, Tomás Escobar, Jaime Escobar y todas las personas que me ofrecen su apoyo incondicional y conocimiento tradicional en esta vida mezcalera.

A Andrés y Nat por implantar la idea del estudio y asegurarse de que no desistiera.

A Ricardo, Bibi, Mariana y Darío por su apoyo y por siempre hacer divertida esta etapa.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Alfonso Reza González

Fecha de nacimiento: 22 de agosto de 1992

Lugar de nacimiento: Toluca, Estado de México.

CURP: REGA920822HMCZNL07



Desarrollo académico

Bachillerato: Colegio de Bachilleres del Estado de México “Plantel 07 Toluca Sur”.

Licenciatura: Licenciado en Gastronomía, Universidad Autónoma del Estado de México. Cédula Profesional 11848468

Inició su formación profesional laborando como embajador de marca en Casa Cortés y Cinco Elementos Mezcal, empresas oaxaqueñas productoras, envasadoras y comercializadoras de mezcal.

Formó parte del comité técnico del Consejo Estatal de Productores de Agave y/o Maguey del Estado de México desarrollando actividades de difusión e investigación respecto al mezcal mexiquense.

Es fundador de “Resistencia Mexiquense” una curaduría que busca educar, preservar y difundir la cultura y tradición de los destilados de agave del Estado de México.

Además de ser docente de la licenciatura en gastronomía en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco.

RESUMEN GENERAL

Caracterización y autenticidad del destilado de agave mexiquense como base de indicación geográfica

El destilado de agave mexiquense se caracteriza por tener un fuerte significado social y cultural, por lo que es importante determinar los aspectos que lo caracterizan, este proyecto se desarrolló en tres municipios mexiquenses; Malinalco, Zumpahuacán y Tenancingo, teniendo como objetivos: caracterizar morfológicamente especies de agave utilizadas para elaborar bebidas destiladas del sur del estado de México; identificar compuestos volátiles presentes en el destilado de agave mexiquense mediante la técnica de cromatografía de gases; definir los atributos sensoriales de destilados mexiquenses mediante análisis cuantitativo descriptivo e identificar los hábitos de consumo y disposición a pagar por destilado de agave mexiquense. Los resultados mostraron que es posible establecer tres grupos de especímenes de agave, de los cuales uno se diferencia morfológicamente de acuerdo con las características del Agave angustifolia Haw., además de establecer el perfil descriptivo de los magueyes criollos de las cuatro comunidades objeto de este estudio, de la misma forma se identificó la presencia de 28 compuestos volátiles, clasificados entre acetales, ácidos, alcoholes, aldehidos, ésteres, furanos y terpenos que ayudan a diferenciar los destilados mexiquenses, asimismo, se determinaron cinco atributos sensoriales significativos que caracterizan a estas bebidas y finalmente el origen, tipo de mezcal y clasificación de mezcal, son los aspectos determinantes en la elección por parte del consumidor, existiendo mayor preferencia por el destilado de agave proveniente del Estado de México y que sea de clasificación joven. Estos datos son útiles para generar estrategias que ayuden a revalorizar al destilado de agave mexiquense y propiciar su protección.

Palabras clave: destilado de agave mexiquense, caracterización sensorial, maguey criollo, experimentos de elección discreta, cromatografía de gases.

Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria.

Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Alfonso Reza González

Director de tesis: Anastacio Espejel García, Dr.

GENERAL ABSTRACT

Characterization and authenticity of mexiquense agave distillate as a basis for geographical indication

The mexiquense agave distillate is characterized by its strong social and cultural significance, making it important to determine its defining aspects. This project was carried out in three municipalities of Mexico State: Malinalco, Zumpahuacán, and Tenancingo, with the following objectives: to morphologically characterize agave species used to produce distilled beverages in southern Mexico State; to identify volatile compounds present in the mexiquense agave distillate using gas chromatography; to define its sensory attributes through descriptive quantitative analysis; and to identify consumption habits and willingness to pay for mexiquense agave distillate. The results indicated that it is possible to establish three groups of agave specimens, with one group being morphologically distinct according to the characteristics of *Agave angustifolia* Haw. A descriptive profile of the local maguey varieties from the four communities involved in this study can also be established. Likewise, twenty-eight volatile compounds were identified, categorized as acetals, acids, alcohols, aldehydes, esters, furans, and terpenes, which aid in differentiating the mezcal distillates from the State of Mexico. Furthermore, five significant sensory attributes that characterize these beverages were identified. Ultimately, the origin, type, and classification of mezcal are key factors in consumer choice, with a greater preference for (joven) agave distillates from the State of Mexico. This information is valuable for developing strategies to enhance the value of mezcal distillates from the State of Mexico and promote their protection.

Key words: mexiquense mezcal, sensory characterization, criollo agave, discrete choice experiments, gas chromatography.

Thesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria.

Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Alfonso Reza González

Thesis advisor: Anastacio Espejel García, Dr.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El mezcal cuenta desde el año 1994 con Denominación de Origen (DO), lo que implica una protección jurídica para los integrantes de ella y establece las características y especificaciones que debe cumplir la bebida alcohólica destilada para su producción, envasado y comercialización (NOM-070-SCFI-2016), además de tomar en cuenta aspectos importantes que tienen que ver con la tradición, relevancia y costumbres que distinguen a cada bebida y a su región de origen.

El 8 de agosto del 2018 se publicó la “Resolución por la que se modifica la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Mezcal” para incluir 15 municipios del Estado de México a la DO mezcal (Diario Oficial de la Federación, 2018). En respuesta a esto, el Consejo Regulador del Mezcal realizó procesos legales para rechazar dicha ampliación (Guadarrama Saldívar & Cruz Rivera, 2020), entrando en un proceso de litigio que mantiene suspendida hasta este momento toda protección y el poder de usar la palabra “mezcal” para identificar al destilado de agave producido en la región mexiquense, argumentando una competencia desleal en el mercado ya que no existe la información suficiente que demuestre la trascendencia de la tradición mezcalera en la región, el uso e identificación de especies de agave propias, la calidad fisicoquímica de la bebida y la no utilización de herramientas y materiales acordes a la normativa que rige la DO.

En este sentido el mezcal del estado de México ha sido objeto de estudio que recientemente ha tenido avances para su reconocimiento; se ha identificado la importancia sociocultural del proceso de elaboración de mezcal en la zona de Malinalco (García Aguilar, 2016) así como los factores sensoriales de calidad percibidos en el destilado de agave mexiquense respecto al mezcal de Oaxaca, asimismo se obtienen testimonios de que el mezcal en la zona mexiquense cuenta con una tradición aproximada entre 80 y 120 años (Pérez Reynosa, 2018).

De la misma manera se ha logrado la caracterización del proceso de elaboración de la bebida destilada en la región mexiquense (Castillo Nonato & Montes de Oca Hernández, 2019) y se han estudiado las percepciones que tiene el productor sobre su producto respecto a las normativas de la DO mezcal (Guadarrama Saldívar & Cruz Rivera, 2020), en donde se identifica que los productores objeto del estudio se muestran ajenos a aceptar la incorporación a la DO, al considerar que al incluirse tendrían que modificar sus procesos tradicionales al no tener contemplados materiales, vocabulario y técnicas que han prevalecido en la región durante años, además de implicar costos que los productores no estarían dispuestos a pagar.

Por lo anterior, la presente investigación está conformada por seis capítulos que en conjunto tienen como objetivo analizar los elementos que caracterizan al destilado de agave del Estado de México para sentar las bases y proponer una Indicación Geográfica (IG), estableciendo como hipótesis que la combinación de técnicas de identificación morfológica, cromatográfica y de análisis sensorial permitirá identificar los atributos de diferenciación del mezcal mexiquense buscando proteger este producto.

En el capítulo tres se presentan los resultados de la caracterización morfológica del maguey “criollo” que es utilizado en la zona sur mexiquense para elaborar bebidas destiladas, en donde se estudiaron cuatro poblaciones de agave de tres municipios mexiquenses.

En el capítulo cuatro se identificaron los compuestos volátiles presentes en cuatro bebidas destiladas de agave mexiquense provenientes de tres municipios que la producen de forma artesanal (Malinalco, Tenancingo y Zumpahuacán) mediante la técnica de cromatografía de gases (GC).

En el capítulo cinco se describe sensorialmente cuatro destilados de agave mexiquenses utilizando el Análisis Cuantitativo Descriptivo (QDA).

Por último, en el capítulo seis se identificaron los hábitos de consumo y disposición a pagar por destilado de agave mexiquense mediante experimentos de elección discreta.

Literatura citada:

- Castillo Nonato, J., & Montes de Oca Hernández, A. (2019). El mezcal y los productores: Prácticas culturales, agrobiodiversidad y estrategias de producción. In Regiones, desplazamientos y geopolítica. Agenda pública para el desarrollo territorial: Vol. IV. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores. <https://ru.iiec.unam.mx/4803/>
- Diario Oficial de la Federación. (2018). Resolución por la que se modifica la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Mezcal, para incluir los municipios del Estado de México. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5534193&fecha=08/08/2018#gsc.tab=0
- García Aguilar, M. G. (2016). Importancia sociocultural del proceso productivo del mezcal en el ejido de San Pedro Chichiasco, Malinalco, México. Textual (Chapingo), 67, 119–137. <https://biblat.unam.mx/es/revista/textual-chapingo/articulo/importancia-sociocultural-del-proceso-productivo-del-mezcal-en-el-ejido-de-san-pedro-chichiasco-malinalco-mexico>
- Guadarrama Saldívar, Y., & Cruz Rivera, E. M. (2020). Análisis de la percepción de los productores de mezcal del Estado de México ante la incorporación de la DOM. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109288>
- Pérez Reynosa, M. N. (2018). Las señales de calidad del mezcal. Caso San José Chalmita, Tenancingo, Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99201>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.2 Marco teórico

2.2.1 Alimentos tradicionales y autenticidad

Los alimentos y bebidas tradicionales son productos con una larga historia de consumo, que normalmente se transmiten de generación en generación durante al menos 25 años (Al-Khusaibi & Rahman, 2019; Hossain & Rahman, 2019), lo que a su vez refleja los recursos a los que se tiene acceso y las técnicas, procesos y métodos de preparación que cambian con cada región. Estos alimentos y bebidas juegan un papel importante en la conformación del patrimonio cultural, la dieta y la salud de las distintas poblaciones en donde siguen siendo esenciales los patrones de consumo diario, a pesar de que las sociedades estén en constante cambio debido a la urbanización y las transiciones dietéticas (Al-Habsi et al., 2019).

Dichos alimentos se caracterizan por tener propiedades sensoriales únicas y conexiones con países o regiones específicas (Rahman, 2019), sin embargo, la comercialización y conservación de los alimentos y bebidas tradicionales enfrenta desafíos relacionados con la logística, las regulaciones y la disponibilidad estacional, a lo que Jasso-Arriaga (2018) destaca la necesidad e importancia de preservar los conocimientos tradicionales y la biodiversidad para mantener la soberanía alimentaria.

A pesar de los obstáculos, los alimentos tradicionales son valorados por la calidad que se percibe y su importancia cultural, incluso yendo más allá de la importancia nutricional (Al-Habsi et al., 2019). Por lo que es importante garantizar la autenticidad de estos alimentos, de acuerdo con Shahrin & Hussin (2023), la autenticidad de los alimentos se compone de la legitimidad, calidad e identidad

en las experiencias de consumo de cada uno de ellos, es así como garantizar la autenticidad de los alimentos es un punto importante para brindar confianza al consumidor y así preservarlos.

Se han establecido distintos métodos analíticos, específicos y no específicos para evaluar y verificar la autenticidad de los alimentos, utilizando técnicas rápidas y de alto rendimiento que brinden información de confianza al consumidor (Fiorino et al., 2018). Estos métodos ayudan a salvaguardar el valor alto de los alimentos tradicionales contra su adulteración e implica tomar en cuenta varios enfoques como mediciones sensoriales, fisicoquímicas, basadas en ADN, cromatográficas y espectroscópicas o combinaciones de ellas.

Como ejemplo tenemos el uso de narices electrónicas como una tecnología prometedora para autenticar alimentos y bebidas en función de sus perfiles aromáticos únicos (Gliszczńska-Świął & Chmielewski, 2017) o los estudios realizados desde el punto de vista del consumidor, en donde se emplean metodologías para conocer su percepción y valoración (García-Barrón, Leyva-Trinidad, et al., 2021), de la misma forma la Resonancia Magnética Nuclear se ha empleado para identificar prácticas de adulteración y autenticar alimentos tradicionales (Consonni & Cagliani, 2022). Según Al-Khusaibi & Rahman (2019), esta calidad percibida y autenticidad son necesarias para la expansión del mercado y la aceptación del consumidor, lo que ha requerido protecciones para preservar este patrimonio alimentario.

2.2.2 Figuras de protección jurídico económicas

Los alimentos tradicionales desempeñan un papel importante en los problemas de seguridad alimentaria y salud pública, en específico se ha identificado que las dietas que incluyen la mayoría de este tipo de alimentos y bebidas cuentan con una mejor calidad nutricional (Hermansyah et al., 2022). Sin embargo, en la actualidad en donde la globalización y la apropiación cultural es un fenómeno recurrente se han modificado las formas de comer, lo que ha desencadenado un menor consumo de alimentos tradicionales y una mayor dependencia de alimentos y bebidas procesadas (Soleri et al., 2023).

La protección legal económica de los alimentos y bebidas tradicionales se compone de distintos mecanismos, la Unión Europea establece etiquetas protegidas como Denominaciones de Origen Protegida, Indicaciones Geográficas Protegidas y Especialidades Tradicionales Protegidas (Consonni & Cagliani, 2022), asimismo las leyes de secretos comerciales también pueden proteger recetas de alimentos y bebidas tradicionales, como en el caso del Burayot en Indonesia (Hermansyah et al., 2022), estas protecciones se basan en la calidad invariable de sus productos que se designan y reconocen con base en el lugar en donde se producen y tienen como objetivo la preservación de la identidad cultural, prevenir la apropiación indebida y mantener la calidad y autenticidad de los alimentos tradicionales. Como ejemplo de la importancia de esta protección tenemos a Indonesia, en donde se maneja una presión para incluir alimentos tradicionales bajo la protección de las Expresiones Culturales Tradicionales para evitar la apropiación extranjera (Adi Sukmaningsih et al., 2019).

La creciente preferencia de los consumidores por la originalidad y los productos típicos con atributos de calidad específicos enfatiza la importancia de las indicaciones geográficas (IG) en el mercado global (Wander et al., 2020). En este sentido, las IG son derechos de propiedad intelectual que identifican productos originarios de una región específica, lo que significa calidad y reputación vinculadas a su origen geográfico (Vinayan, 2017) y de acuerdo con Fibri et al. (2022), sirven como estrategia para proteger y estandarizar los alimentos tradicionales, ayudando a mantener su identidad y continuidad cultural.

Las IG han ganado prominencia en el comercio internacional, preservando el patrimonio cultural e impulsando las economías regionales (Varnekar & Chutia, 2024). El marco jurídico de las IG ha evolucionado a nivel mundial y los países han adoptado nuevas leyes o revisado la legislación existente (Calboli, 2021). Actualmente, las IG abarcan una amplia gama de productos, incluidos productos agrícolas, alimenticios y artesanías (Varnekar & Chutia, 2024). Las IG desempeñan un papel crucial en el comercio internacional y el desarrollo regional

al proteger y promover productos con características únicas, el patrimonio cultural, además de apoyar las economías locales y permitir a los productores diferenciar sus productos y obtener precios superiores, beneficiando a las regiones menos favorecidas al poner en primer plano a los pequeños productores y los productos tradicionales, atraer turistas e impulsar las economías locales superiores (SILVA et al., 2024; Varnekar & Chutia, 2024).

En julio de 2019, se habían registrado más de 130.000 IG en todo el mundo, principalmente en Europa, Asia y América (Wander et al., 2020), de acuerdo con el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, México cuenta con 9 productos con IG; pulpo maya de la península de Yucatán, cajeta de Sayula, catrinas de barro de Capula, cobre martillado de Santa Clara del Cobre, gabanes de Huayapan, Cajeta de Celaya, seda de Cajonos, tapetes de Teotitlán, Santa Ana, San Miguel del Valle, chicle Maya de Quintana Roo y Campeche y las tallas de madera: Tonas y Nahuales, artesanías de los Valles Centrales de Oaxaca.

Sin embargo, el desarrollo atribuido a las IG no es automático y depende de varios factores, incluido el apoyo público, la participación de los productores y el reconocimiento de los consumidores (Medeiros & Passador, 2022).

2.2.3 Agave en México

Las especies de agave juegan un papel importante en la ecología, la economía y la cultura de México, de acuerdo con Alducin-Martínez et al. (2022), en el país existen 168 especies identificadas, estas plantas se utilizan principalmente para producir bebidas alcohólicas como tequila y mezcal, pero también tienen aplicaciones potenciales más allá de las bebidas, incluidos alimentos, medicinas y textiles (Pérez-Zavala et al., 2020).

Un análisis fenotípico de agaves de mezcal en Oaxaca reveló una alta diversidad morfológica dentro y entre las especies cultivadas, con *A. patatarum* y *A. karwinskii* mostrando una variabilidad intrapoblacional significativa (Legaria Solano & Vásquez-Maya, 2024). De acuerdo con esto, México tiene 342 taxones de la familia Agavaceae, siendo Oaxaca, Durango y Puebla los estados más ricos en diversidad de especies (Colunga-GarcíaMarín et al., 2017), sin embargo,

algunas especies enfrentan riesgos de extinción debido a prácticas de sobreexplotación y producción que reducen la diversidad genética (Alducin-Martínez et al., 2022).

La caracterización morfológica de las especies de agave es crucial para comprender su diversidad, adaptabilidad y usos potenciales, los estudios han revelado una variabilidad fenotípica significativa dentro y entre las especies de Agave cultivadas, lo cual es importante para la producción de mezcal y su valor económico (Legaria Solano & Vásquez-Maya, 2024). Esta diversidad permite que los agaves prosperen en ambientes desafiantes, y más del 70% de las especies se encuentran en México (Pérez-López & Simpson, 2020). La caracterización de las plantas, incluidos los rasgos morfológicos, fisiológicos y moleculares, es esencial para el mejoramiento selectivo y el desarrollo de variedades resilientes en condiciones estresantes (Dorice et al., 2020).

2.2.4 Compuestos volátiles en destilados de agave

Se han empleado varios métodos analíticos para estudiar los compuestos volátiles en el mezcal y otras bebidas, la cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS) se utiliza comúnmente, a menudo combinada con técnicas de extracción como la extracción líquido-líquido (Vera-Guzmán et al., 2018), la microextracción líquido-líquido (Coelho et al., 2020) o la microextracción en fase sólida con muestreo de espacio de cabeza (SPME-HS) (Palencia-Blanco et al., 2020).

Los compuestos volátiles desempeñan un papel muy importante en los perfiles de aroma y sabor de diversas bebidas alcohólicas. En el tequila se han identificado más de 500 compuestos volátiles, siendo los ésteres y alcoholes los más abundantes (Bermúdez-Bazán et al., 2021). En las diferentes fases de producción de mezcal se han identificado numerosos compuestos volátiles, incluidos alcoholes, ésteres, ácidos grasos y cetonas, y algunos compuestos muestran potencial como marcadores para especies específicas de Agave (Vera-Guzmán et al., 2018). También se ha estudiado el comportamiento de los compuestos durante la destilación del mezcal, revelando que los alcoholes,

ésteres y aldehídos superiores predominan temprano en la destilación, mientras que el furfural y el metanol predominan más tarde (Nolasco Cancino et al., 2022), en el caso del metanol, es importante valorar su concentración ya que los estándares actuales limitan el contenido de metanol a 300 mg/100 ml de alcohol 100%, aunque este límite puede revisarse considerando umbrales más altos en las bebidas espirituosas a base de frutas europeas (Hernández López et al., 2021).

Es por lo que la identificación de compuestos volátiles en el mezcal es crucial para comprender su complejo perfil sensorial y tipicidad regional. La producción de mezcal implica una fermentación espontánea por parte de diversas comunidades microbianas, que contribuyen a su aroma y sabor únicos (Becerra-Lucio et al., 2022), es así que, descriptores sensoriales como el color, el aroma ahumado y el olor a quemado se han identificado como factores discriminatorios importantes que pueden influir en el consumo (González-Ponce et al., 2023).

2.2.5 Métodos sensoriales para la caracterización de alimentos

Los alimentos tradicionales se distinguen por sus propiedades sensoriales únicas y su significado cultural (Rahman, 2019), el análisis sensorial y la investigación de consumidores son cruciales para estudiar estos productos, y factores como los métodos de fabricación influyen en sus características y aceptabilidad (Yang & Lee, 2019). Para realizar estos estudios se emplean diversas metodologías, incluidos análisis sensoriales analíticos y afectivos, para evaluar los alimentos tradicionales desde la perspectiva del consumidor (García-Barrón, Guerrero, et al., 2021), estos van desde técnicas convencionales como el análisis descriptivo cuantitativo QDA a métodos sensoriales rápidos como CATA y dominio temporal de las sensaciones, incluyendo los estudios del consumidor en dónde se analizan actitudes, comportamientos y emociones para comprender interacciones complejas entre el consumidor y el producto (Ruiz-Capillas et al., 2021). Si bien los países europeos lideran la investigación en este campo, aún están surgiendo estudios en América Latina, África y Asia (García-Barrón, Guerrero, et al., 2021)

Por otro lado, para evaluar la calidad y autenticidad de los alimentos, se emplean cada vez más sentidos artificiales como narices, lenguas y visión por computadora electrónicas, estos sistemas utilizan varios sensores (p. ej., conductimétricos, potenciométricos, colorimétricos) y métodos de análisis de datos para imitar los sentidos humanos en el análisis de alimentos (Śliwińska et al., 2014), por lo que se están explorando enfoques novedosos, incluidos la biometría, los entornos virtuales y los sentidos artificiales inteligentes, para capturar respuestas más holísticas a partir de paneles sensoriales (Torrico et al., 2023).

El análisis descriptivo cuantitativo (QDA) es un método de evaluación sensorial versátil que se utiliza para caracterizar diversos alimentos. Se ha aplicado para evaluar la influencia del alcohol en los perfiles de la cerveza (Paixão et al., 2020), desarrollar sidra de manzana con características deseables para los consumidores brasileños (Los et al., 2017) y definir atributos sensoriales de las bebidas de hojas de tulsi (Marvell & Ervina, 2022). En cuanto a mezcal se utilizó para determinar el perfil sensorial del mezcal de Guerrero (Delgado-Alvarado, 2018). El QDA generalmente involucra a panelistas capacitados que evalúan múltiples atributos sensoriales, incluidos la apariencia, el aroma, el sabor y la sensación en boca (Zook & Pearce, 2018), el método puede revelar diferencias entre productos alcohólicos y no alcohólicos, identificar atributos clave que contribuyen a la aceptación del consumidor y proporcionar información para el desarrollo de productos y la mejora de la calidad por lo que la selección adecuada de los panelistas, la capacitación y el apoyo administrativo son cruciales para una implementación exitosa de QDA (Zook & Pearce, 2018). Esta técnica ofrece información valiosa para crear, refinar y valorizar bebidas para satisfacer las preferencias de los consumidores y las demandas del mercado.

2.2.6 Valoración económica y disposición a pagar en alimentos tradicionales

Los alimentos tradicionales desempeñan un papel importante en el desarrollo regional sostenible, la identidad cultural y la preservación de la biodiversidad, si

bien continúa la globalización en la producción y el consumo de alimentos, mantener la diversidad de los alimentos tradicionales es crucial (Trichopoulou, 2012), para Zainal et al. (2022) los alimentos tradicionales tienen un importante valor económico y cultural, con potencial para el desarrollo comunitario y la posibilidad de desarrollar una marca regional.

Los alimentos tradicionales en México tienen un importante valor cultural y económico, diversos estudios han demostrado que los consumidores asocian los alimentos tradicionales con la autenticidad, el origen y la costumbre (Serrano-Cruz et al., 2018). Asimismo, han mostraron una mayor disposición a pagar por alimentos con estas características (Jauregui García et al., 2021). Estos estudios resaltan la compleja relación entre los alimentos tradicionales, el desarrollo económico y las preferencias de los consumidores, lo que sugiere que, si bien los alimentos tradicionales tienen potencial, su impacto económico puede variar según los contextos regionales y las estrategias de marketing. Actualmente existe una tendencia creciente de innovación en alimentos tradicionales, aplicando cambios en ingredientes, materiales y estrategias de marketing (Salgado & Camarena, 2024). Estos hallazgos brindan información valiosa para los formuladores de políticas públicas y las empresas en la preservación y promoción de los alimentos tradicionales mexicanos.

Los experimentos de elección discreta (EED) se han convertido en un método popular en la investigación alimentaria, que permite a los investigadores descubrir las compensaciones y preferencias de los consumidores por los atributos de los alimentos (Lizin et al., 2022). Los avances metodológicos recientes en EED incluyen nuevas teorías, métodos de obtención y técnicas de modelado (Caputo & Scarpa, 2022). Sin embargo, persisten desafíos, como el posible sesgo introducido por cantidades de niveles predeterminados por los investigadores en los diseños experimentales (Lin et al., 2023).

Algunos estudios han demostrado que el precio es más importante para los grupos socioeconómicos más bajos, mientras que la salud y el sabor son generalmente los atributos más importantes para todos los participantes

(Kershaw et al., 2019), de la misma forma para los consumidores de mezcal, se encontró que la tradición era la motivación principal, para su consumo, además de que se pudieron identificar cuatro perfiles de consumidores distintos (López-Rosas & Espinoza-Ortega, 2018). Según Quirino-Olvera et al. (2024), los destilados de agave, incluidos el mezcal, el tequila, la bacanora y la raicilla, están profundamente arraigados en la cultura y tradición mexicana, estos licores están protegidos por denominaciones de origen y regulados por la ley mexicana para mantener su pureza y métodos tradicionales de producción, sin embargo, la comercialización del mezcal y su creciente demanda ha llevado a la exclusión de los productores artesanales de destilados de agave de otras zonas que no pertenecen a la DOM, favoreciendo la producción industrial, la acumulación de capital y su adulteración (Plascencia de la Torre & Peralta Gordon, 2018).

2.3 Marco de referencia

2.3.1 Mezcal

El mezcal es un destilado tradicional mexicano elaborado a partir de la planta de agave, con profundas raíces culturales y popularidad internacional (Ceraníc Salinas, 2020), su producción está legalmente limitada a nueve estados mexicanos; Guerrero, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas, Puebla, Tamaulipas, Michoacán, Guanajuato y Oaxaca siendo el mayor productor (Consejo Mexicano Regulador del Mezcal, 2023). El proceso de producción involucra cinco etapas principales: cosecha, cocción, trituration, fermentación y destilación, lo que da como resultado un perfil de sabor único (Arellano-Plaza et al., 2022; López Hernández et al., 2020; Melchor Quintas et al., 2024). Finalmente, y de acuerdo con Quirino-Olvera et al. (2024) el término "mezcal" se usa genéricamente para cualquier destilado a base de agave, aunque variedades específicas como tequila, bacanora y raicilla tienen sus propias denominaciones de origen protegidas según la ley mexicana.

2.3.2 Destilado de agave mexiquense

El 8 de agosto del 2018 se publicó la “Resolución por la que se modifica la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Mezcal” para incluir 15 municipios del Estado de México a la DO mezcal: Almoloya de Alquisiras, Amatepec, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Luvianos, Malinalco, Ocuilan, Sultepec, Tejupilco, Tenancingo, Tlatlaya, Tonatico, Villa Guerrero, Zacualpan y Zumpahuacán (Diario Oficial de la Federación, 2018). En respuesta a esto, el Consejo Regulador del Mezcal realizó procesos legales para rechazar dicha ampliación (Guadarrama Saldívar & Cruz Rivera, 2020), entrando en un proceso de litigio que mantiene suspendida toda protección y el poder usar la palabra “mezcal” para identificar al destilado de agave producido en la región mexiquense, argumentando una competencia desleal en el mercado ya que no existe la información suficiente que demuestre la trascendencia de la tradición mezcalera en la región, el uso e identificación de especies de agave propias, la calidad fisicoquímica de la bebida y la no utilización de herramientas y materiales acordes a la normativa que rige la DO.

En este sentido el mezcal del estado de México ha sido objeto de estudio que recientemente ha tenido avances para su reconocimiento; inicialmente la Secretaría del Campo (2021) identificó que los municipios de Malinalco, Tenancingo, Ocuilan, Zacualpan y Zumpahuacán pueden justificar la tradición de destilar bebidas a base de agave. Por otro lado, se ha identificado la importancia sociocultural del proceso de elaboración de mezcal en la zona de Malinalco (García Aguilar, 2016), así como los factores sensoriales de calidad percibidos en el destilado de agave mexiquense respecto al mezcal de Oaxaca, asimismo se obtienen testimonios de que el mezcal en la zona mexiquense cuenta con una tradición aproximada entre 80 y 120 años (Pérez Reynosa, 2018). De la misma manera se han estudiado las percepciones que tiene el productor sobre su producto respecto a las normativas de la DOM (Guadarrama Saldívar & Cruz Rivera, 2020), en donde se encuentra que los productores objeto del estudio se muestran ajenos a aceptar la incorporación a la DOM, al considerar que al incluirse tendrían que modificar sus procesos tradicionales ya que no están

contemplados materiales, vocabulario y técnicas que han prevalecido en la región durante años, además de implicar costos que los productores no estarían dispuestos a pagar.

De acuerdo con Reza (2023), el destilado de agave mexiquense ha mantenido hasta la actualidad en gran parte su proceso productivo, los cambios más grandes han sido relacionados con los materiales utilizados para la fermentación, en dónde anteriormente se usaban pieles de animales o piletas hechas en el suelo. Sin embargo, el proceso de elaboración de agave mexiquense sigue siendo característico de la zona y fácilmente diferenciado a los utilizados en otras regiones que destilan agave del país (Figura 1).

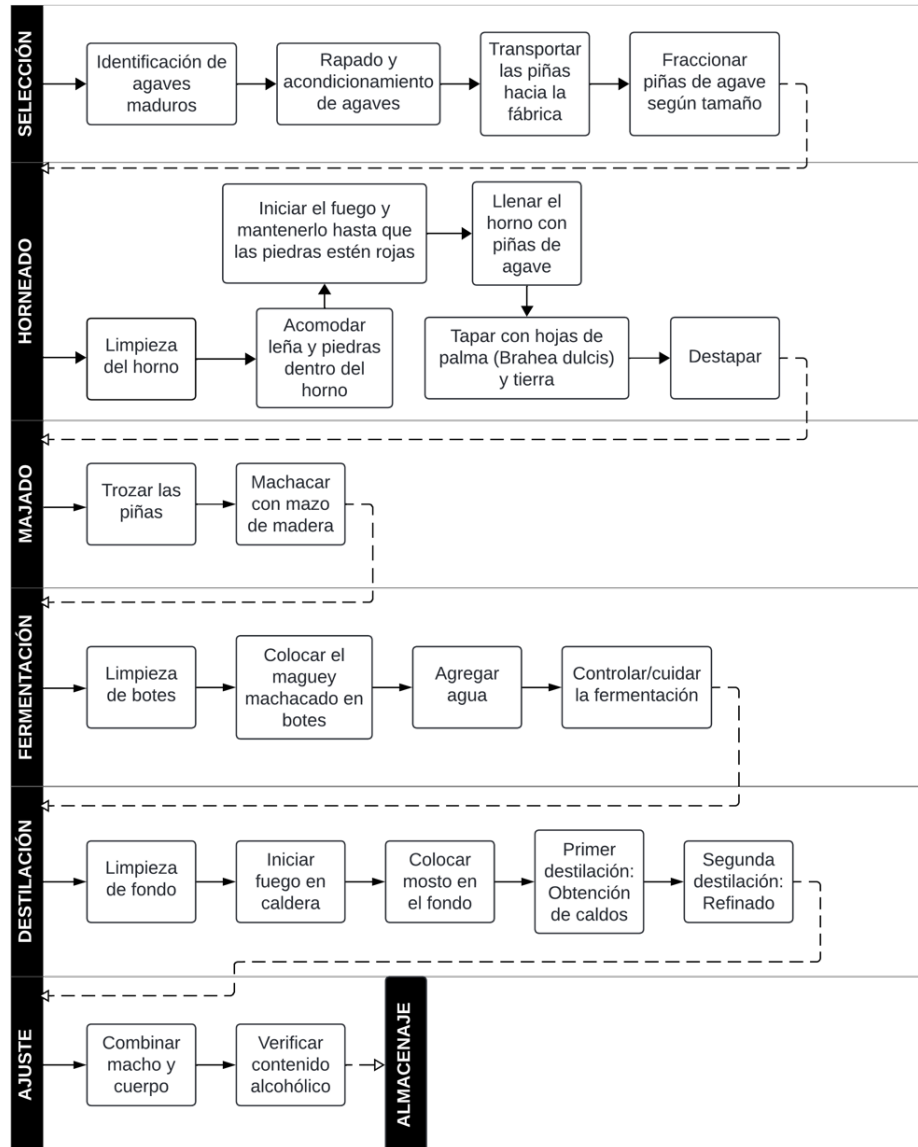


Figura 1. Proceso de elaboración del destilado de agave mexicano. Modificado con base en Pérez Reynosa (2018)

2.4 Literatura citada

- Adi Sukmaningsih, N. K. I., Dharmawan, N. K. S., & Marwanto, M. (2019). Traditional Food Arrangements as Expressions of Traditional Culture. *Musamus Law Review*, 2(1), 12–25. <https://doi.org/10.35724/mularev.v2i1.2259>
- Alducin-Martínez, C., Ruiz Mondragón, K. Y., Jiménez-Barrón, O., Aguirre-Planter, E., Gasca-Pineda, J., Eguiarte, L. E., & Medellín, R. A. (2022).

- Uses, Knowledge and Extinction Risk Faced by Agave Species in Mexico. *Plants*, 12(1), 124. <https://doi.org/10.3390/plants12010124>
- Al-Habsi, N., Al-Khusaibi, M., & Rahman, M. S. (2019). GCC Traditional Foods: Preparation and Processing (pp. 37–49). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24620-4_3
- Al-Khusaibi, M., & Rahman, M. S. (2019). Traditional Foods: Overview (pp. 1–8). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24620-4_1
- Arellano-Plaza, M., Paez-Lerma, J. B., Soto-Cruz, N. O., Kirchmayr, M. R., & Gschaedler Mathis, A. (2022). Mezcal Production in Mexico: Between Tradition and Commercial Exploitation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 832532. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.832532>
- Becerra-Lucio, P. A., Diego-García, E., Guillén-Navarro, K., & Peña-Ramírez, Y. J. (2022). Unveiling the Microbial Ecology behind Mezcal: A Spirit Drink with a Growing Global Demand. *Fermentation*, 8(11), 662. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110662>
- Bermúdez-Bazán, M., Castillo-Herrera, G. A., Urias-Silvas, J. E., Escobedo-Reyes, A., & Estarrón-Espinosa, M. (2021). Hunting Bioactive Molecules from the Agave Genus: An Update on Extraction and Biological Potential. *Molecules*, 26(22), 6789. <https://doi.org/10.3390/molecules26226789>
- Calboli, I. (2021). Geographical Indications: new perspectives and recent developments. *Journal of Intellectual Property Law & Practice*, 16(4–5), 289–290. <https://doi.org/10.1093/jiplp/jpab046>
- Caputo, V., & Scarpa, R. (2022). Methodological Advances in Food Choice Experiments and Modeling: Current Practices, Challenges, and Future Research Directions. *Annual Review of Resource Economics*, 14(1), 63–90. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111820-023242>
- Ceranic Salinas, T. (2020). Mezcal: When Culture and Consumption Collide. *Proceedings of the International Association for Business and Society*, 31, 120–128. <https://doi.org/10.5840/iabsproc20203112>
- Coelho, E., Lemos, M., Genisheva, Z., Domingues, L., Vilanova, M., & Oliveira, J. M. (2020). Validation of a LLME/GC-MS Methodology for Quantification of Volatile Compounds in Fermented Beverages. *Molecules*, 25(3), 621. <https://doi.org/10.3390/molecules25030621>
- Colunga-GarciaMarin, P., Torres-García, I., Casas, A., Figueredo Urbina, C. J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., Vargas, O., Cabrera-Toledo, D., Zizumbo-Villareal, D., Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L. E., & Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. In A. Casas, J. Torres-Guevara, & F. Parra-Rondinel (Eds.), *Domesticación en el continente americano*. (Vol. 2, pp. 273–308). UNAM-UNALM. <https://www.researchgate.net/publication/316883938>

- Consejo Mexicano Regulador del Mezcal. (2023). INFORME ESTADÍSTICO. https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/INFORME-2023_PUBLICO.pdf
- Consonni, R., & Cagliani, L. R. (2022). Quality assessment of traditional food by NMR analysis. *Food Control*, 142, 109226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109226>
- Delgado-Alvarado, A. (2018). Evaluación Sensorial Del Mezcal De La Localidad De Totomochapa, Tlapa De Comonfort, Guerrero, México. *Agro Productividad*, 11(10). <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i10.1249>
- Diario Oficial de la Federación. (2018). Resolución por la que se modifica la Declaración General de Protección de la Denominación de Origen Mezcal, para incluir los municipios del Estado de México. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5534193&fecha=08/08/2018#gsc.tab=0
- Dorice, L. L., Ephraim, J. M., & George, M. M. (2020). A review of plant characterization: First step towards sustainable forage production in challenging environments. *African Journal of Plant Science*, 14(9), 350–357. <https://doi.org/10.5897/ajps2020.2041>
- Fibri, D. L. N., Ayouaz, S., Utami, R. F., & Muhammad, D. R. A. (2022). Current situation and future direction of traditional foods: A perspective review. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*, 112–126. <https://doi.org/10.20956/canrea.v5i1.633>
- Fiorino, G. M., Garino, C., Arlorio, M., Logrieco, A. F., Losito, I., & Monaci, L. (2018). Overview on Untargeted Methods to Combat Food Frauds: A Focus on Fishery Products. In *Journal of Food Quality* (Vol. 2018). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2018/1581746>
- García Aguilar, M. G. (2016). Importancia sociocultural del proceso productivo del mezcal en el ejido de San Pedro Chichiasco, Malinalco, México. *Textual (Chapingo)*, 67, 119–137. <https://biblat.unam.mx/es/revista/textual-chapingo/articulo/importancia-sociocultural-del-proceso-productivo-del-mezcal-en-el-ejido-de-san-pedro-chichiasco-malinalco-mexico>
- García-Barrón, S. E., Guerrero, L., Vázquez-Elorza, A., & Lazo, O. (2021). What turns a product into a traditional one? *Foods*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061284>
- García-Barrón, S. E., Leyva-Trinidad, D. A., Carmona-Escutia, R. P., Romero-Medina, A., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2021). Evaluation of traditional foods from a consumer's perspective: a review of methods and highlights. *British Food Journal*, 123(12), 4451–4465. <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2020-1090>

- Gliszczyńska-Świgło, A., & Chmielewski, J. (2017). Electronic Nose as a Tool for Monitoring the Authenticity of Food. A Review. *Food Analytical Methods*, 10(6), 1800–1816. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0739-4>
- González-Ponce, T. D. N. J., Tapia-Rodríguez, M. Z., & Rodríguez-Hernández, G. (2023). Identificación De Descriptores En Mezcales Artesanales Como Herramienta De Apoyo Para Estrategias De Marketing. *Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria de La Universidad de Guanajuato*, 2(2), 27–37. <https://doi.org/10.15174/cia.v2i2.42>
- Guadarrama Saldívar, Y., & Cruz Rivera, E. M. (2020). Análisis de la percepción de los productores de mezcal del Estado de México ante la incorporación de la DOM. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109288>
- Hermansyah, H., Tetep, T., Hamdani, N. A., & Nurfaizan, H. (2022). Juridical Review of Trade Secrets of the Traditional Food Burayot. 42–46. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220701.011>
- Hernández López, J. D. J., Seguí, H. O. G., & Giersiepen, J. H. (2021). Metanol en el mezcal: ¿es posible aumentar los umbrales permitidos por la normativa mexicana? *RIVAR*, 8(24), 56–75. <https://doi.org/10.35588/rivar.v8i24.4886>
- Hossain, A., & Rahman, Md. J. (2019). Safety, Nutrition and Functionality of the Traditional Foods (pp. 219–238). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24620-4_8
- Jasso-Arriaga, X. (2018). PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN: COEXISTENCIA ENTRE DIVERSIDAD DE ESPECIES COMESTIBLES Y CONOCIMIENTO TRADICIONAL. *Polibotánica*, 0(46), 179–199. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.13>
- Jauregui García, C. Z., Espejel García, A., & Hernández Montes, A. (2021). Valuation and willingness to pay for corn on the cob consumers in Mexico. *Revista de La Facultad de Agronomía de La Universidad Del Zulia*, 38(2), 441–461. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/35508>
- Kershaw, K., Klikuszowian, E., Schrader, L., Siddique, J., Van Horn, L., Womack, V., & Zenk, S. (2019). Assessment of the influence of food attributes on meal choice selection by socioeconomic status and race/ethnicity among women living in Chicago, USA: A discrete choice experiment. *Appetite*, 139. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2019.04.003>
- Legaria Solano, J. P., & Vásquez-Maya, M. P. (2024). Phenotypic analysis of mezcal agaves from the Central Valleys of Oaxaca. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i6.2641>
- Lin, W., Ortega, D. L., & Caputo, V. (2023). Experimental quantity, mental budgeting and food choice: a discrete choice experiment application.

- European Review of Agricultural Economics, 50(2), 457–496.
<https://doi.org/10.1093/erae/jbac017>
- Lizin, S., Rousseau, S., Kessels, R., Meulders, M., Pepermans, G., Speelman, S., Vandebroek, M., Van Den Broeck, G., Van Loo, E. J., & Verbeke, W. (2022). The state of the art of discrete choice experiments in food research. *Food Quality and Preference*, 102, 104678.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104678>
- López Hernández, B. A., Del Prado Torres, Á. T., & Ramírez Godínez, J. (2020). Preparación de cocteles a base de mezcal. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 8(16), 52–54.
<https://doi.org/10.29057/icea.v8i16.5536>
- López-Rosas, C. A., & Espinoza-Ortega, A. (2018). Understanding the motives of consumers of mezcal in Mexico. *British Food Journal*, 120(7), 1643–1656.
<https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2017-0381>
- Los, P. R., Braga, C. M., Carvalho, J. R., Simões, D. R. S., & Nogueira, A. (2017). Application Of Sensory Analyses In The Development Of A New Apple Cider. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 11(1).
<https://doi.org/10.3895/rbta.v11n1.3301>
- Marvell, J., & Ervina, E. (2022). Sensory profiling of beverages from Tulsi leaves (*Ocimum tenuiflorum* Linne) using Quantitative Descriptive Analysis (QDA). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1115(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1115/1/012098>
- Medeiros, M. de L., & Passador, J. L. (2022). Examining the development attributed to geographical indications. *The Journal of World Intellectual Property*, 25(1), 86–105. <https://doi.org/10.1111/jwip.12208>
- Melchor Quintas, D., Carvajal-Mariscal, I., & Quinto Díez, P. (2024). Metodología de cálculo y modelado de las necesidades térmicas en el proceso de producción de una destiladora de mezcal tradicional. *Acta Universitaria*, 34, 1–18. <https://doi.org/10.15174/au.2024.3880>
- Nolasco Cancino, H., Jarquín Martínez, D., Ruiz Terán, F., & Santiago Urbina, J. A. (2022). Behavior of the volatile compounds regulated by the Mexican Official Standard NOM-070-SCFI-2016 during the distillation of artisanal Mezcal. *Biotecnia*, 24(2), 20–27.
<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1577>
- Paixão, J. A., Tavares Filho, E., & Bolini, H. M. A. (2020). Investigation of Alcohol Factor Influence in Quantitative Descriptive Analysis and in the Time-Intensity Profile of Alcoholic and Non-Alcoholic Commercial Pilsen Beers Samples. *Beverages*, 6(4), 73.
<https://doi.org/10.3390/beverages6040073>
- Palencia-Blanco, C., Gualdrón-Zambrano, A., Guarín - Henao, I., Ojeda-Galeano, Y., Villamizar-Jaimes, A., Zárate-Caicedo, D. A., Coronado-Silva, R. A.,

- Rodríguez-Silva, L., & López-Giraldo, L. J. (2020). Proposal for a semi-quantitative method for the determination of volatile compounds in cocoa liquors. *Respuestas*, 25(1), 60–69. <https://doi.org/10.22463/0122820X.2406>
- Pérez Reynosa, M. N. (2018). Las señales de calidad del mezcal. Caso San José Chalmita, Tenancingo, Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99201>
- Pérez-López, A. V., & Simpson, J. (2020). The Sweet Taste of Adapting to the Desert: Fructan Metabolism in Agave Species. *Frontiers in Plant Science*, 11, 520148. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00324>
- Pérez-Zavala, M., Hernández-Arzaba, J., Bideshi, D., & Barboza-Corona, J. (2020). Agave: a natural renewable resource with multiple applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15). <https://doi.org/10.1002/JSFA.10586>
- Plascencia de la Torre, M. F., & Peralta Gordon, L. M. (2018). Análisis histórico de los mezcales y su situación actual desde una perspectiva ecomarxista/ Historical analysis of mezcales and their current situation from an-eco-marxist approach. *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 14, 23–42. <https://doi.org/10.17141/eutopia.14.2018.3579>
- Quirino-Olvera, R., González-Elizondo, M., & Castro-Castro, A. (2024). Mezcales y otras delicias destiladas de la Sierra Madre Occidental. *Revista Ciencia UANL*, 27(125), 16–21. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.125-2>
- Rahman, M. S. (2019). Traditional Foods, Sensory Excitements and Pleasure (pp. 273–292). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24620-4_10
- Reza, A. (2023). Historia de vida de los maestros mezcaleros en Palmar de Guadalupe, Malinalco. In P. Mercado Salgado & F. Herrera Tapia (Eds.), *Agave y Mezcal. Entre la tradición y la denominación de origen*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). UAEMex. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/138672>
- Ruiz-Capillas, C., Herrero, A. M., Pintado, T., & Delgado-Pando, G. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Meat Products Development. *Foods*, 10(2), 429. <https://doi.org/10.3390/foods10020429>
- Salgado, L., & Camarena, D. M. (2024). Symbiosis between innovation and tradition applied in the northwestern Mexico food market: an exploratory analysis. *British Food Journal*, 126(5), 1830–1851. <https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2021-0404>
- Secretaría del Campo. (2021). Fortalece GEM producción de agave mezcalero en el Edomex. <https://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/fortalece-gem-produccion-agave-mezcalero-en-el-edomex#:~:text=FORTALECE%20GEM%20PRODUCCIÓN%20DE%20>

AGAVE%20MEZCALERO%20EN%20EL%20EDOMÉX,-
 •&text=Tiene%20entidad%20761%20mezcaleros%20registrados,970%2
 0hectáreas%20de%20tierra%20fértil.
 &text=Son%2015%20municipios%20mezcaleros%3B%20cinco,22%20d
 e%20agosto%20de%202021.

- Serrano-Cruz, M. R., Espinoza-Ortega, A., Sepúlveda, W. S., Vizcarra-Bordi, I., & Thomé-Ortiz, H. (2018). Factors associated with the consumption of traditional foods in central Mexico. *British Food Journal*, 120(11), 2695–2709. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2017-0663>
- Shahrin, N., & Hussin, H. (2023). Negotiating food heritage authenticity in consumer culture. *Tourism and Hospitality Management*, 29(2), 27–37. <https://doi.org/10.20867/thm.29.2.3>
- SILVA, A. L. K. da, ANKLAM, A. S., BORTOLLI, K. de, BUSO, C., & EISING, R. (2024). Where does cheese come from? Geographical indications for Brazilian regional development: a review. *Food Science and Technology*, 44. <https://doi.org/10.5327/fst.00090>
- Śliwińska, M., Wiśniewska, P., Dymerski, T., Namieśnik, J., & Wardencki, W. (2014). Food Analysis Using Artificial Senses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(7), 1423–1448. <https://doi.org/10.1021/jf403215y>
- Soleri, D., Cleveland, D. A., Aragón Cuevas, F., Jimenez, V., & Wang, M. C. (2023). Traditional Foods, Globalization, Migration, and Public and Planetary Health: The Case of Tejate, a Maize and Cacao Beverage in Oaxaca, Mexico. *Challenges*, 14(1), 9. <https://doi.org/10.3390/challe14010009>
- Torrico, D. D., Mehta, A., & Borssato, A. B. (2023). New methods to assess sensory responses: a brief review of innovative techniques in sensory evaluation. *Current Opinion in Food Science*, 49, 100978. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100978>
- Trichopoulou, A. (2012). Diversity globalization: traditional foods at the epicentre. *Public Health Nutrition*, 15(6), 951–954. <https://doi.org/10.1017/S1368980012000304>
- Varnekar, S. S., & Chutia, Dr. U. (2024). The Impact of Geographical Indication in The International Trade. *Educational Administration Theory and Practices*, 30(5), 13863–13869. <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i5.6081>
- Vera-Guzmán, A., Guzmán-Gerónimo, R., López, M., & Chávez-Servia, J. (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>
- Vinayan, S. (2017). Geographical indications in India: Issues and challenges—An overview. *The Journal of World Intellectual Property*, 20(3–4), 119–132. <https://doi.org/10.1111/jwip.12076>

- Wander, A. E., Godoi, C. N., Filho, B. A. da C., & Ladvocat, 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>
- Yang, J., & Lee, J. (2019). Application of Sensory Descriptive Analysis and Consumer Studies to Investigate Traditional and Authentic Foods: A Review. *Foods*, 8(2), 54. <https://doi.org/10.3390/foods8020054>
- Zainal, S., Jalil, Z., & Safrina, L. (2022). Acehnese Traditional Food: The Potency of Community Economic Development in Lhokseumawe - Indonesia. 153–160. <https://doi.org/10.5220/0009839700002900>
- Zook, K. L., & Pearce, J. H. (2018). Quantitative Descriptive Analysis. In *Applied Sensory Analysis of Foods* (pp. 43–71). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781315137681-3>

3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE MAGUEY CRIOLLO DEL SUR DEL ESTADO DE MÉXICO

3.1 Resumen

La elaboración de destilado de agave mexiquense se caracteriza por tener un proceso distinto a los usados en otras regiones mezcateras de México, en cuanto a la materia prima, se identifica al maguey “criollo” como la única variedad de agave endémica usada en el sur del estado de México. El objetivo de este estudio es caracterizar morfológicamente las plantas de maguey que son empleadas para elaborar bebidas destiladas en la zona de producción mexiquense. La investigación se llevó a cabo en el 2023, midiendo cuatro poblaciones de maguey “criollo” siguiendo la guía técnica para la descripción varietal de *Agave* spp. que comprende 32 características sobre planta, tallo, hijuelos y hoja (SAGARPA, 2014). Los datos se analizaron mediante componentes principales (ACP) y por agrupamiento jerárquico aglomerativo (AJA); tomando en cuenta 16 variables que resultaron las de mayor aporte para la descripción, se pudieron establecer tres grupos de especímenes de agave, de los cuales uno se diferencia morfológicamente de acuerdo con las características del *Agave angustifolia* Haw., además se pudo determinar el perfil descriptivo de los magueyes criollos de las cuatro comunidades objeto de este estudio. Esta exploración puede contribuir a ubicar a los magueyes endémicos del estado de México dentro del género *Agave* y promover su regionalización y conservación.

Palabras clave: maguey criollo, análisis morfológico, caracterización, agave mexiquense, destilado de agave mexiquense.

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF CRIOLLO MAGUEY FROM THE SOUTH OF THE STATE OF MEXICO

Abstract

The production of agave distillate from the State of Mexico is characterized by a process distinct from those used in other mezcal-producing regions of Mexico. Regarding the raw material, the *criollo* maguey is identified as the only endemic variety of agave used in the south of the State of Mexico. This study aims to morphologically characterize the maguey plants used to produce distilled beverages in the Mexiquense production area. The research was conducted in 2023, measuring four populations of *criollo* maguey following the technical guide for varietal description of *Agave* spp., which includes thirty-two characteristics related to the plant, stem, offshoots, and leaf (SAGARPA, 2014). The data were analyzed using principal components analysis (PCA) and hierarchical agglomerative clustering (HAC); considering sixteen variables that contributed significantly to the description, three groups of agave specimens were established, one of which is morphologically differentiated according to the characteristics of *Agave angustifolia* Haw. Additionally, the descriptive profile of the *criollo* magueys from the four communities studied was determined. This study may help locate the endemic magueys of the State of Mexico within the *Agave* genus and promote their regionalization and conservation.

Keywords: criollo maguey, morphological analysis, characterization, Mexiquense agave, Mexiquense agave distillate.

3.2 Introducción

El genero Agave es dividido por Gentry (1982) en dos subgéneros, el subgenero *Littaea* incluye a 53 especies estableciendo ocho grupos y Agave agrupa a 102 especies divididos a su vez en 12 grupos. De acuerdo con García-Mendóza (2011) el género Agave se compone de 206 especies, de las cuales 159 se encuentran en México y de ellas 119 son reconocidas como endémicas. Debido a esta riqueza, el maguey es una planta que en la tradición mexicana es totalmente aprovechada, se usan desde el tallo, las hojas, flores y frutos para satisfacer necesidades como alimento, bebida, medicina, ornato, fibra, combustible y fertilizante (García Mendoza, 2007).

Colunga-GarciaMarin et al. (2017) establecen que una cuarta parte de los agaves en México son usados o se han usado para la producción de bebidas destiladas, las cuales han tomado gran importancia económica para el país, tales como: bacanora, tequila, raicilla y mezcal, que cuentan con Denominación de Origen (DOM) por lo que denotan especificidades debido a la variedad de procesos de elaboración y sobre todo la materia prima tan diversa que existe y que los caracteriza, concordando con lo mencionado por Valenzuela-Zapata (1995) que establece que los agaves utilizados para la elaboración de bebidas son un recurso natural con un elevado potencial e importancia económica.

En este sentido la gran variedad de agaves que existe se debe a la fisiología que ha permitido la adaptación de estas plantas a los estratos tan distintos que existen en el país y este proceso ha logrado la domesticación a las que están sujetas las especies de Agavaceae y que logran diversificarse unas de otras, en específico, los agaves pueden adaptarse para sobrevivir en medios secos o por periodos prolongados de sequía, en lugares con variaciones altas de clima entre el día y la noche, y a limitar la pérdida de agua por transpiración y retenerla en sus tejidos (García Mendoza, 2007).

De acuerdo con García-Mendoza (2002) la amplia tolerancia ecológica de los agaves, la dispersión, germinación de la semilla y la interacción con otros organismos principalmente polinizadores, depende de propiedades intrínsecas del género como la diversidad genética. La explotación de este recurso ha desencadenado que las especies que presentan mejores rendimientos y calidad en sus productos se conservaron y evolucionaron (Gentry, 1982). Como resultado de la domesticación de los agaves, se han establecido tres grupos de especies, silvestres, semicultivados y cultivados (Bautista & Smit, 2018).

El *A. angustifolia* Haw. se distribuye desde el norte de México hasta Panamá, por lo que representa la especie con mayor distribución de este género y esto se demuestra debido a su gran importancia económica al ser ocupada principalmente para la destilación de bebidas alcohólicas (García-Mendoza, 2011). Este maguey se distribuye principalmente en México, en los estados de Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas desde el nivel del mar hasta más de 2 000 msnm (Vázquez-García et al., 2007). Su maduración se encuentra entre los 6 y los 10 años, cuando llega a su etapa reproductiva que puede ser asexual o sexual (Gentry, 1982) y se ha encontrado que las condiciones ambientales y la actividad antropogénica impactan sobre la variación morfológica de esta especie (Esqueda et al., 2011; Ochoa-Meza et al., 2009).

El estado de México (Edomex) cuenta con una tradición mezcalera que data entre 70 y 100 años (Pérez Reynosa, 2018; Reza, 2023), cuenta con un proceso de elaboración característico que lo diferencia de los otros destilados de agave elaborados en distintas regiones del país.

En el 2018 quince municipios del estado de México fueron incluidos en la DOM y a pesar de que esta inclusión en la actualidad sigue suspendida, en ese periodo de tiempo y ante una demanda creciente por la bebida destilada hubo introducción de especies de agave no endémicas de la región debido a un

problema de escasez de materia prima, poniendo en riesgo los usos y tradiciones locales respecto a la elaboración de dicha bebida.

Estos cambios se generan ya que los productores buscan mayor rendimiento y rapidéz en la obtención del destilado, incorporando especies de agave traídas de regiones cercanas.

De forma tradicional, la materia prima utilizada para la elaboración de destilado de agave mexiquense es el maguey conocido localmente como “criollo”, el cual se identifica como de la variedad *A. angustifolia* Haw., sin embargo, en la actualidad no existen antecedentes históricos que hayan sido publicados para conocer la diversidad morfológica de estos agaves por lo que no existe certeza de la especie a la que pertenece. Debido a esto surge la necesidad de caracterizarlo morfológicamente para contar con información que permita saber si es posible diferenciarlo de otras poblaciones de *Agave*.

Conocer y distinguir la diversidad morfológica de los agaves del sur del Edomex será de utilidad para delimitar su distribución, identificar grupos de poblaciones y manejarlas de acuerdo con afinidades ambientales lo que ayudará a conservar su diversidad y calidad, además de promover su uso y reproducción responsable.

3.3 Materiales y métodos

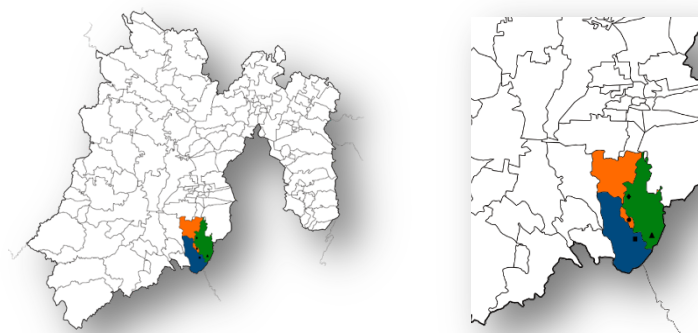
Este estudio se desarrolló en la denominada zona 7 Sureste región 17 del estado de México (Secretaría de Finanzas, 2024), en cuatro comunidades de tres municipios de los 5 que son identificados como los de mayor tradición mezcalera en la zona de producción mexiquense (Secretaría del Campo, 2021) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los municipios de muestreo

Municipio	Coordenadas	Altitud	Rango de temperatura	Rango de precipitación	Uso de suelo	Vegetación
Malinalco	Entre los paralelos 18° 46' y 19° 01' de latitud norte; los meridianos 99° 26' y 99° 34' de longitud oeste	Entre 1 000 y 2 600 m.	14 – 26°C	800 – 1 300 mm	Agricultura (33.37 %) y zona urbana (1.84%)	Bosque (36.61%), selva (16.14%) y pastizal (12.04%)
Tenancingo	Entre los paralelos 18°49' y 19°03' de latitud norte; los meridianos 99°30' y 99°39' de longitud oeste	Entre 2 200 y 2 700 m.	12 – 22 °C	1 000 – 1 200 mm	Agricultura (57.57 %) y zona urbana (6.98%)	Bosque (33.84%), pastizal (1.24%) y selva (0.37%)
Zumpahuacán	Entre los paralelos 18° 42' y 18° 56' de latitud norte; los meridianos 99° 28' y 99° 38' de longitud oeste	Entre 1 000 y 2 600 m.	16° - 26°C	800 – 1 300 mm	Agricultura (33.85 %) y zona urbana (0.73%)	Selva (32.97), bosque (26.6%), y Pastizal (5.85%)

Fuente: Elaboración propia con datos de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010)

La selección de las comunidades se realizó debido a que cuentan con familias productoras de destilado de agave con más de 50 años de tradición y por la existencia de plantas en su forma silvestre y/o semi cultivados o cultivados que han sido preservados con formas de producción sostenibles y siguiendo usos y temporalidades tradicionales. Estas comunidades son: Palmar de Guadalupe y Colonia Juárez en Malinalco, San José Chalmita en Tenancingo y Santa Cruz Atempa en Zumpahuacán (Figura 2).



	Municipio	Comunidad
	Malinalco	Palmar de Guadalupe y Colonia Juárez
	Tenancingo	San José Chalmita
	Zumpahuacán	Santa Cruz Atempa

Figura 2. Localización geográfica del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron mediciones fenotípicas de las plantas de maguey que son utilizadas para la producción de la bebida destilada por cada familia productora en las comunidades de estudio, estas mediciones se llevaron a cabo de acuerdo con la metodología utilizada por Barrientos Rivera et al. (2019) y que se basa en la Guía técnica para la descripción varietal de *Agave* spp. que comprende 32 características entre planta, tallo, hijuelos y hoja (SAGARPA & SNICS, 2014), (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características y escalas utilizadas para la medición morfológica de los ejemplares de agaves

No.	Característica	Nivel	Valor	No.	Característica	Nivel	Valor
1	Planta: hábito de crecimiento	acaulescente caulescente	1 2	16	Hoja: color	verde verde amarillo azul	1 2 3 3
2	Planta: altura	baja media alta	3 5 7	17	Hoja: intensidad de color	débil medio fuerte	3 5 7
3		pequeño	3				

	Planta: diámetro de la roseta	medio	5	18	Hoja: color secundario	ausente	1
		grande	7			presente	9
4	Planta: número de hojas	bajo	3	19	Hoja: tonalidad del segundo color	amarillo	1
		medio	5			blanco	2
		alto	7	20	Hoja: distribución del segundo color	marginal	1
5	Planta: número de hojas por filotaxia	bajo	3			central	2
		medio	5			reticulado	3
		alto	7	21	Hoja: espinas laterales	presente	1
6	Tallo: visibilidad	ausente	1			ausente	9
		presente	9	22	Hoja: forma de espinas laterales	recta	1
7	Hoja: longitud	corta	3			curva	2
		media	5			ganchuda	3
		larga	7			filífera	4
8	Hoja: anchura	estrecha	3	23	Hoja: perfil de la espina lateral	monofurcada	1
		media	5			bifurcada	2
		ancha	7			trifurcada	3
9	Hoja: relación entre longitud y anchura	pequeña	3			polifurcada	4
		media	5	24	Hoja: color de las espinas laterales	blanco	1
		grande	7			marrón	2
10	Hoja: forma	lineal	1			rojizo	3
		espatulada	2			negro	4
		deltoida	3	25	Hoja: uniformidad en el tamaño de espinas	homogénea	1
		lanceolada	4			heterogénea	9
		oblonga	5	26	Hoja: número de espinas laterales	pocas	3
		ovada	6			medias	5
11	Hoja: forma del corte transversal	plano	1			muchas	7
		en forma de v	2	27	Hoja: distancia entre las espinas laterales	corta	3
		en forma de u	3			medias	5
		cóncavo	4			larga	7
		quillado	5	28	Hoja: estrías en las espinas laterales	ausente	1
		obdeltado	6			presente	9
		oblato	7	29	Hoja: forma de la espina terminal	recta	1
		hemioblato	8			curvada	2
		circular	9			filiforme	3
12	Hoja: curvatura	ausente	1			polifurcada	4
		recurvado	2	30	Hoja: longitud de la espina terminal	corta	3
		incurvado	3			media	5
		ondulado	4			larga	7
13	Hoja: borde	liso	1	31	Hijuelos prolificidad	ausente	1
		ondulado	2			baja	2
		dentado	3			media	3
		crenado	4			alta	4
14	Hoja: textura	lisa	1	32	Planta: ciclo a inicio de floración	precoz	3
		rugosa	2			intermedio	5
15	Hoja: glaucescencia	ausente	1			tardío	7
		presente	9				

Nota: Elaboración propia con base en (SAGARPA & SNICS, 2014)

En total se realizaron 1920 mediciones de 60 especímenes. Para obtener una descripción del maguey “criollo” del Edomex se trataron las mediciones en centímetros de las variables Planta: altura, Planta: diámetro de la roseta, Hoja: longitud, Hoja: anchura, Hoja: relación entre longitud y anchura, Hoja: distancia entre las espinas laterales y Hoja: longitud de la espina terminal, mientras que las variables restantes se homogeneizaron de acuerdo con los niveles y puntuación establecidos por la guía técnica (SAGARPA & SNICS, 2014), posteriormente, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) que tiene como objetivo reducir un número alto de variables a un número menor con poca pérdida de información, creando una combinación lineal a partir de variables correlacionadas para generar nuevas variables no correlacionadas, denominadas componentes principales (CP). El primer ACP realizado fue utilizando todas las variables medidas, sin embargo, se requieren 10 CP para explicar el 83% de los datos, es por eso y que de acuerdo con lo que han mostrado otros autores en estudios similares (Barrientos Rivera et al., 2019; Castañeda-Nava et al., 2019; Castañón-Nájera et al., 2008; Hernández de la Cruz, 2022; Mora-López et al., 2011), se eliminaron las variables que aportan poco a la explicación del plano bidimensional, resultando 16 variables. Posteriormente, se realizó el análisis de clusterización aglomerativa jerárquica (CAJ) utilizando el método de Ward para la aglomeración y en donde la medida de disimilitud fue la distancia euclidia, dichos análisis estadísticos se desarrollaron con el Software XLSTAT (Lumivero, 2024).

3.4 Resultados y discusión

En la actualidad el maguey criollo endémico del sur del estado de México que es utilizado para la destilación de aguardiente es considerado perteneciente a la especie *Agave angustifolia* Haw. (García Aguilar, 2016; García Mendóza & Franco Martínez, 2022; Juárez Ortega, 2018; Pérez Reynosa, 2018). Sin embargo, esta especie no ha sido caracterizada y de acuerdo con las observaciones realizadas en campo, presenta características fenotípicas diversas que complican la aceveración de que pertenezca a esta especie. Para

determinar si existe relación entre el maguey “criollo” y el *Agave angustifolia* Haw. se realizaron mediciones morfológicas a 60 especímenes, determinando mediciones de referencia de maguey espadín, también conocido regionalmente como “oaxaqueño” que pertenece a la especie *A. angustifolia* Haw. este grupo es escaso ya que en las comunidades de estudio no se tiene la tradición de la siembra de este agave y el existente es porque concientemente lo han introducido proveniente del estado de Oaxaca, así como mediciones de los denominados magueyes criollos.

Con el segundo ACP realizado con 16 variables son necesarios 6 CP para explicar el 79.6% de los datos. En el Cuadro 3, se observa que el 52.5% de la variación de los datos es explicado por los dos primeros componentes principales. El CP1 explica el 34.2% de la variación, mientras que el 18.3% es explicado por el CP2, siendo sus autovalores de 5.473 y 2.934 respectivamente. Tomando en cuenta estos CP, la altura de la planta, el diámetro de la roseta, el número de hojas, la longitud de la hoja, la anchura de la hoja, presencia de glaucescencia, el color, la distancia entre las espinas laterales, la longitud de la espina terminal y la prolificidad de hijuelos están determinados positivamente con el CP1 mientras que la visibilidad del tallo, curvatura, borde y textura de la hoja, uniformidad de las espinas laterales y forma de la espina lateral de forma negativa, por su parte el CP2 está determinado positivamente con la altura de la planta, diámetro de la roseta, número de hojas, longitud, anchura, curvatura, borde, textura y glaucescencia en las hojas, uniformidad y distancia entre las espinas laterales, forma de la espina terminal y prolificidad de hijuelos, y a su vez negativamente con la visibilidad del tallo, color de la hoja y longitud de la espina terminal.

Cuadro 3. Autovalores entre atributos morfológicos de agaves

Variable	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Planta: altura	0.387	0.046	0.180	0.063	-0.101	-0.077
Planta: diámetro de la roseta	0.388	0.047	0.206	-0.008	-0.176	-0.029
Planta: número de hojas	0.258	0.019	0.223	0.203	-0.037	0.700
Tallo: visibilidad	-0.160	-0.158	0.534	0.107	-0.096	-0.419
Hoja: longitud	0.400	0.026	0.138	0.039	-0.148	-0.155
Hoja: anchura	0.343	0.084	0.024	-0.043	0.192	-0.174
Hoja: curvatura	-0.089	0.381	-0.203	0.079	-0.386	0.022
Hoja: borde	-0.122	0.208	0.482	0.003	0.401	0.335
Hoja: textura	-0.102	0.372	0.192	-0.342	0.327	-0.175
Hoja: glaucescencia	0.132	0.248	-0.142	0.575	0.257	-0.154
Hoja: color	0.080	-0.329	-0.310	-0.293	0.235	0.240
Hoja: uniformidad en el tamaño de espinas	-0.063	0.461	-0.020	-0.089	0.199	0.036
Hoja: distancia entre las espinas laterales	0.347	0.024	-0.201	0.173	0.167	-0.034
Hoja: forma de la espina terminal	-0.055	0.472	-0.243	-0.014	-0.186	0.030
Hoja: longitud de la espina terminal	0.319	-0.013	-0.168	-0.299	0.345	-0.193
Hijuelos prolificidad	0.209	0.172	0.127	-0.522	-0.361	0.089
Valor propio	5.473	2.934	1.416	1.109	0.988	0.812
Variabilidad (%)	34.206	18.339	8.851	6.933	6.172	5.074
% acumulado	34.206	52.545	61.396	68.328	74.500	79.575

De acuerdo con el plano bidimensional que representa a los primeros dos CP y que explica el 52.54% de la varianza total (Figura 3), se observa la dispersión de los especímenes evaluados fenotípicamente de acuerdo a las variables resultado del segundo ACP, aquí se muestra que las plantas medidas tienen una gran relación entre sí, pero aún así se identifican mediciones dispersas que pueden formar grupos distintos y que sugieren que se cuenta con características morfológicas que logran diferenciarlas entre ellas.

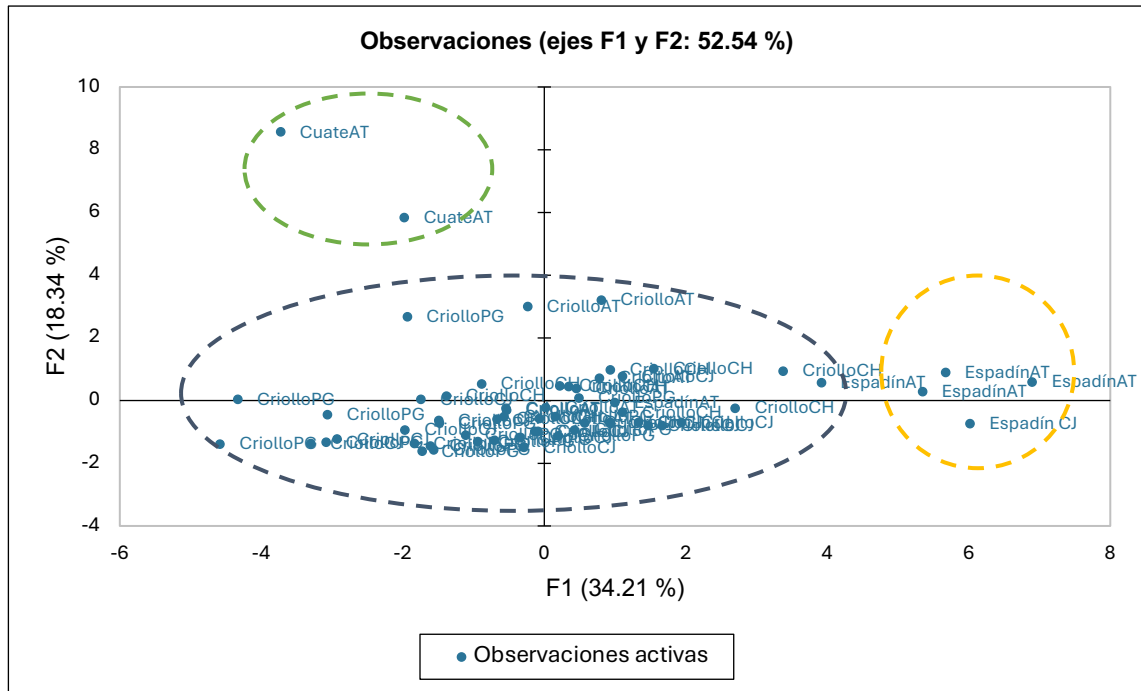


Figura 3. Plano bidimensional de la dispersión de los datos para CP1 y CP2.

Observando esto, no es posible diferenciar las especies de los magueyes evaluados en campo ya que comparten características que los agrupan muy cercanamente. De acuerdo con Colunga-GarcíaMarín et al. (2017) existen cuatro señales que caracterizan a especies de agave que han tenido un proceso de domesticación, en principio presentan un mayor tamaño de la estructura morfológica que es mayormente explotada, lo que se relaciona con la segunda característica que es tener mayor producción del producto objetivo, además de tener menor número de espinas y menos cantidad de saponinas. Esto concuerda con Carrillo-Galván (2011) que en su estudio morfológico y etnobotánico sobre *Agave angustifolia* y *Agave rodricana* menciona que esta especie de agaves han sido importantes para la elaboración de ixtle, mezcal y para construir cercos vivos; por lo que presentan gigantismo en hojas y cabeza, mayor fibrosidad en hojas y mayor longevidad.

Es así que el complejo *A. angustifolia* al ser el de mayor dispersión representa un gran número de adaptaciones de acuerdo con la región en donde crece. Gentry (1982) de acuerdo con características morfológicas identifica dentro del

complejo *Agave angustifolia* tres variedades silvestres (*Agave angustifolia* var. *angustifolia*, *Agave angustifolia* var. *rubescens* y *Agave angustifolia* var. *sargentii*) y cuatro cultivadas (*Agave angustifolia* var. *deweyana*, *Agave angustifolia* var. *letonae*, *Agave angustifolia* var. *margiana* y *Agave angustifolia* var. *nivea*). Asimismo, existen estudios enfocados en la diversidad del complejo *angustifolia*, Colunga-GarcíaMarín et al. (2017) menciona que del complejo *angustifolia* se derivan las variedades de agave azul (*A. tequilana* var. *azul*), henequén (*A. fourcroydes*), ixtero amarillo (*A. angustifolia*), García-Mendoza et al. (2022) establecen que las características actuales del *Agave pacifica* en Sonora concuerdan con este complejo y de forma similar Barrientos Rivera et al. (2019) ubica al maguey sacatoro de Guerrero. Incluso Rivera Lugo (2014) establece como parte del complejo *angustifolia* al *Agave rhodacantha*, a pesar de que taxonómicamente se identifica como especies diferentes, argumentando que en muchas ocasiones estos taxones son difíciles de separar y conviven dentro del mismo hábitat.

Para lograr tener mayor certeza del agrupamiento de las plantas analizadas en este estudio se desarrolló el CAJ en donde se agrupan las observaciones con base en la distancia euclidiana, para después subagruparlos a partir de la distancia cofenética. De acuerdo con esto se muestra en la figura 4 la conformación de 3 grupos distintos por el método de Ward. El grupo 1 y 2 muestran grupos separados de acuerdo con las variables utilizadas y el grupo 3 es el más abundante. El grupo 1 incorpora a las plantas de maguey espadín que, aunque fueron escasas, lograron separarse de los otros grupos, el grupo 2 pertenece a un tipo de maguey solo observado en la comunidad de Santa Cruz Atempa y que de acuerdo con el productor Merced Leyva lo conoce como “cuate” y es mezclado con el maguey criollo ya que aporta mayor dulzor a la fermentación.

El grupo 3 que fue separado lo integran 53 especímenes medidos de las cuatro comunidades visitadas. Esto indica que de acuerdo con las características morfológicas tomadas en cuenta pertenecen a un subgrupo distinto al identificado como *Agave angustifolia* Haw.

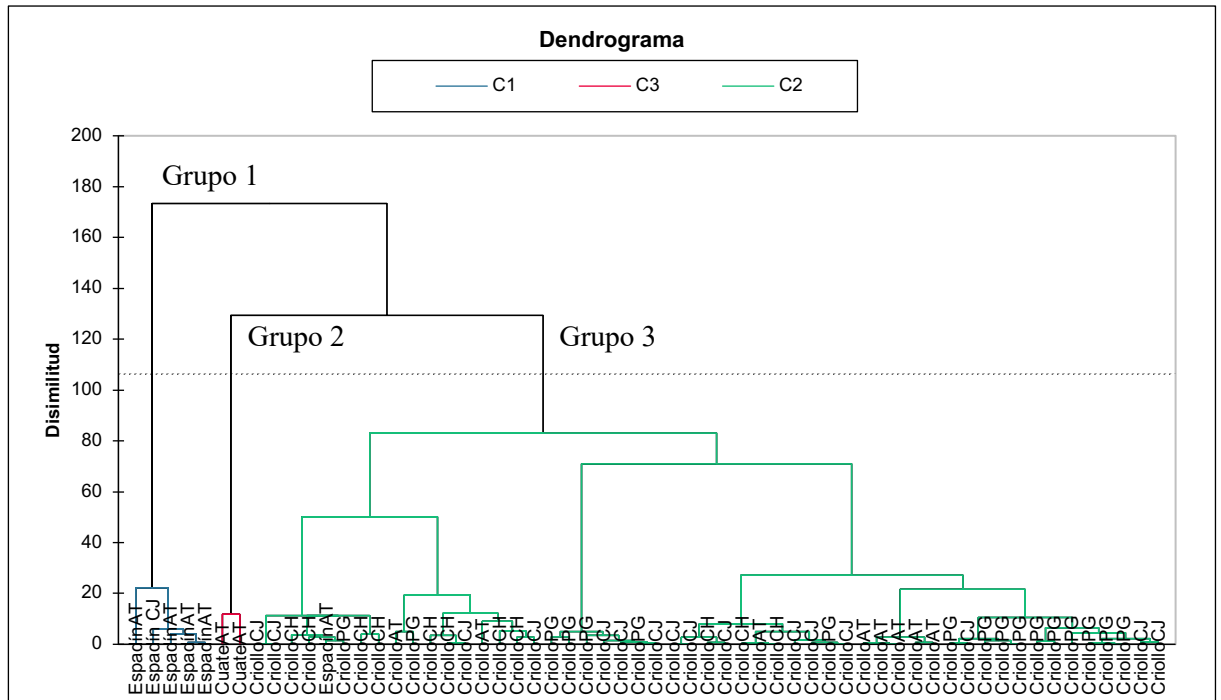
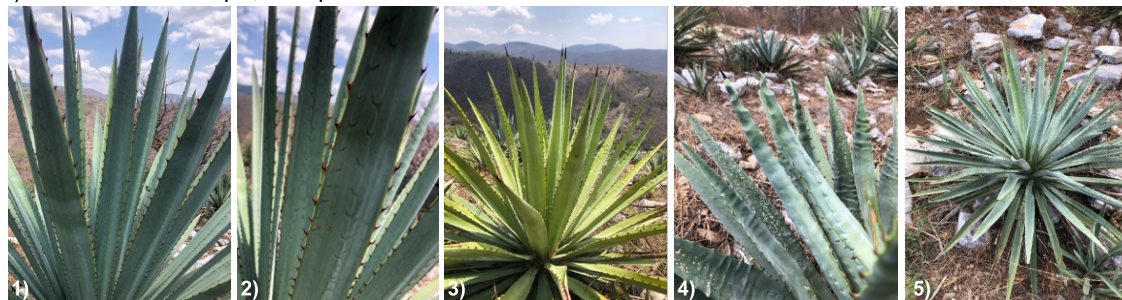


Figura 4. Dendograma de especímenes dividido en 5 grupos.

De acuerdo con lo anteriormente evaluado, las especies de maguey criollo y algunas de sus variables evaluadas se muestran en la Figura 5, en ellas se puede ver el rastro de su domesticación y también características que hablan de su adaptación a la zona mezcalera del sur del estado de México.

A) Santa Cruz Atempa, Zumpahuacán



B) San José Chalmita, Tenancingo



C) Palmar de Guadalupe, Malinalco



D) Colonia Juárez, Malinalco



Figura 5. Taxones de maguey “criollo” muestreado en campo. A) Colonia Juárez; B) Palmar de Guadalupe; C) San José Chalmita y D) Santa Cruz Atempa.

Tomando en cuenta esto, eliminando las mediciones de maguey espadín y obteniendo los estadísticos descriptivos de las plantas identificadas como criollo se pudo obtener un perfil descriptivo de la planta endémica de cada una de las regiones productoras del Edomex que son objeto de este estudio.

Por lo tanto, se puede determinar que el maguey criollo de Santa Cruz Atempa, Zumpahuacán se caracteriza por tener una altura de 88 a 144 cm, diametro de la roseta de 105 a 180 cm, de 55 a 78 hojas por planta, penca con longitud de 60 a 84.5 cm, ancho de entre 5.5 y 7.5 cm, distancia entre las espinas laterales de 1.7 a 3.5 cm y longitud de la espina terminal entre 2 y 3cm. El maguey “cuate” encontrado en esta comunidad presenta una altura de 78 a 98 cm, diametro de la roseta de 104 a 116 cm, de 50 a 67 hojas por planta, penca con longitud de 50 a 54 cm, ancho de entre 4.5 y 5 cm, distancia entre las espinas laterales de 1.5 cm y longitud de la espina terminal entre 1 y 1.7 cm, con una hoja con corte transversal cóncavo, borde dentado, textura rugosa, glaucescencia presente, color verde, espinas laterales homogéneas, forma de espina terminal polifurcada y prolificidad de hijuelos baja.

En San José Chalmita, Tenancingo se encontraron especies con altura de 97 a 170 cm, diametro de la roseta de 118 a 248 cm, de 52 a 132 hojas por planta, penca con longitud de 57 a 109 cm, ancho de entre 6 y 8.5 cm, distancia entre las espinas laterales de 1 a 3 cm y longitud de la espina terminal entre 1.5 y 3cm

Palmar de Guadalupe, Malinalco muestra magueyes con altura entre 42 y 160 cm, diámetro de roseta de 60 a 225 cm, con 70 a 110 hojas, una penca de longitud entre 28 y 92.5 cm, ancho de 2.5 a 7 cm, distancia entre espinas laterales de 0.5 a 3.1 cm y longitud de espina terminal de 0.5 a 2.6 cm. Finalmente, En Colonia Juárez, Malinalco se encuentran especímenes con una altura entre 70 y 142 cm, diámetro de roseta de 84 a 200 cm, con una penca de longitud entre 47 y 119 cm, ancho de 2.5 a 9.5 cm, distancia entre espinas laterales de 0.7 a 3 cm y longitud de espina terminal de 0.7 a 3 cm. Con un tamaño mayormente homogéneo entre las cuatro comunidades de las espinas laterales, con espina terminal recta,

prolificidad de hijuelos de baja a media, con presencia de espinas laterales color marrón, rojizo o negro, forma de espinas laterales ganchuda y forma en corte transversal cóncavo.

3.5 Conclusión

Los especímenes evaluados de maguey criollo de cuatro comunidades del Estado de México pudieron ser caracterizados y diferenciados de acuerdo a las características de la planta: altura, diámetro de la roseta, visibilidad del tallo y prolificidad de hijuelos, por la hoja de acuerdo con su forma de corte transversal, longitud, anchura, curvatura, borde, textura, glauescencia, color además de la uniformidad y distancia entre las espinas laterales y de acuerdo con la forma y longitud de la espina terminal. Gracias a estas variables fue posible obtener un perfil morfológico de los magueyes conocidos como criollos. En cuanto a su relación con el *A. angustifolia* Haw., se determinó que, aunque morfológicamente se pueden distinguir, comparten similitudes que igualmente ubican al maguey criollo dentro del complejo *A. angustifolia*, pudiendo ser debido al manejo, propagación y selección por parte de las comunidades productoras. Finalmente, al igual que otros estudios se recomienda usar técnicas genéticas como en el caso de Jiménez-Barron et al. (2020) que utiliza el análisis filogenético para identificar relaciones entre especies de agave y definir agrupaciones, con lo que se podría esclarecer las variedades específicas que existen en el territorio mexiquense y de esta forma fomentar su preservación y cuidado de las especies endémicas mexiquenses.

3.6 Literatura citada

- Barrientos Rivera, G., Esparza Ibarra, E. L., Segura Pacheco, H. R., Talavera Mendoza, O., Sampedro Rosas, M. L., & Hernández Castro, E. (2019). Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 655–668. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1554>
- Bautista, J. A., & Smit, M. A. (2018). Sustentabilidad y agricultura en la “región del mezcal” de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 5–20. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i1.1477>

- Carrillo-Galván, M. G. (2011). Domesticación de Agaves productores de Fibra en el Centro-Occidente de México: una aproximación etnobotánica y morfológica. [Maestría]. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Castañeda-Nava, J. J., Rodríguez-Domínguez, J. M., Camacho-Ruiz, R. M., Gallardo-Valdez, J., Villegas-García, E., & Gutiérrez-Mora, A. (2019). Morphological comparison among populations of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (Asparagaceae), a species used for mezcal production in Mexico. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 255, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.03.019>
- Castañón-Nájera, G., Latournerie-Moreno, L., Mendoza-Elos, M., Vargas-López, A., & Cárdenas-Morales, H. (2008). Colección y caracterización de Chile (*Capsicum* spp) en Tabasco, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 77, 189–202. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572008000100016
- Colunga-GarcíaMarín, P., Torres-García, I., Casas, A., Figueredo Urbina, C. J., Rangel-Landa, S., Delgado-Lemus, A., Vargas, O., Cabrera-Toledo, D., Zizumbo-Villareal, D., Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L. E., & Carrillo-Galván, G. (2017). Los agaves y las prácticas mesoamericanas de aprovechamiento, manejo y domesticación. In A. Casas, J. Torres-Guevara, & F. Parra-Rondinel (Eds.), *Domesticación en el continente americano*. (Vol. 2, pp. 273–308). UNAM-UNALM. <https://www.researchgate.net/publication/316883938>
- Esqueda, M., Gutierrez, A., Palomino, G., García-Mendoza, A., & Terrazas, T. (2011). Morphological Characterization and Variation in the Total Content of Reducing Sugars in Wild Populations of *Agave angustifolia* Haw. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 462–468. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.462.468>
- García Aguilar, M. G. (2016). Importancia sociocultural del proceso productivo del mezcal en el ejido de San Pedro Chichiasco, Malinalco, México. *Textual (Chapingo)*, 67, 119–137. <https://biblat.unam.mx/es/revista/textual-chapingo/articulo/importancia-sociocultural-del-proceso-productivo-del-mezcal-en-el-ejido-de-san-pedro-chichiasco-malinalco-mexico>
- García Mendoza, A. J. (2007). *Ciencias*. *Ciencias*, 87, 14–23.
- García Mendóza, A. J., & Franco Martínez, I. S. (2022). Los agaves, recursos fitogenéticos de los agroecosistemas tradicionales mexicanos de importancia para la agrobiodiversidad mundial. www.conabio.gob.mx
- García-Mendoza, A. J. (2002). Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico. *Cactus and Succulent Journal*, 74(4), 177–187. <https://www.researchgate.net/publication/303263665>
- García-Mendóza, A. J. (2011). Agavaceae. In *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán* (Vol. 88, pp. 1–95). Universidad Nacional Autónoma de México.

- García-Mendoza, A. J., Franco Martínez, I. S., & Sandoval Gutiérrez, D. (2022). El complejo taxonómico *Agave angustifolia*: restablecimiento y circunscripción del *Agave pacífica* en Sonora. In M. Esqueda, M. L. Coronado, A. Gutiérrez, & M. L. Robert (Eds.), *Ecología y biotecnología aplicadas al manejo sostenible del Agave en Sonora* (Primera, pp. 15–34). CICY, CIAD, UniSon, Fontamara.
- Gentry, H. Scott. (1982). *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press.
- Hernández de la Cruz, V. (2022). Caracterización morfométrica de agaves pulqueros (*Agave* spp.) de la región otomí Huitzilapan, Estado de México [Licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010, Malinalco, Tenancingo, Zumpahuacán. <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn>
- Jiménez-Barron, O., García-Sandoval, R., Magallón, S., García-Mendoza, A., Nieto-Sotelo, J., Aguirre-Planter, E., & Eguiarte, L. E. (2020). Phylogeny, Diversification Rate, and Divergence Time of *Agave* sensu lato (Asparagaceae), a Group of Recent Origin in the Process of Diversification. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.536135>
- Juárez Ortega, A. J. A. (2018). Generación de una cooperativa de productores basada en la acción colectiva: el caso de los productores de mezcal de San José Chalmita, Tenancingo, Estado de México [Maestría]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Mora-López, J. L., Reyes-Agüero, J. A., Flores-Flores, J. L., Peña-Valdivia, C. B., & Aguirre-Rivera, J. R. (2011). Variación morfológica y humanización de la sección *Salmianae* del género *Agave*. *Agrociencia*, 45(4), 465–477. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000400006
- Ochoa-Meza, A., Esqueda, M., Fernández-Valle, R., & Herrera-Peraza, R. (2009). *Revista fitotecnia mexicana*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 189–199. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000300006
- Pérez Reynosa, M. N. (2018). Las señales de calidad del mezcal. Caso San José Chalmita, Tenancingo, Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99201>
- Reza, A. (2023). Historia de vida de los maestros mezcaleros en Palmar de Guadalupe, Malinalco. In P. Mercado Salgado & F. Herrera Tapia (Eds.), *Agave y Mezcal. Entre la tradición y la denominación de origen*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). UAEMex. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/138672>

- Rivera Lugo, M. (2014). Variación morfológica y genética del complejo *Agave angustifolia* Haw., en el estado de Oaxaca [Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://pcbiol.posgrado.unam.mx>
- SAGARPA, & SNICS. (2014). Guía técnica para la descripción varietal *Agave* spp. www.upov.int.
- Secretaría de Finanzas. (2024, May 27). Dictamen que establece la división que regirá la planeación de desarrollo a nivel regional. Periódico Oficial, Gaceta Del Gobierno Del Estado de México.
- Secretaría del Campo. (2021). Fortalece GEM producción de agave mezcalero en el Edomex. <https://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/fortalece-gem-produccion-agave-mezcalero-en-el-edomex#:~:text=FORTALECE%20GEM%20PRODUCCIÓN%20DE%20AGAVE%20MEZCALERO%20EN%20EL%20EDOMÉX,-&text=Tiene%20entidad%20761%20mezcaleros%20registrados,970%20hectáreas%20de%20tierra%20fértil.&text=Son%2015%20municipios%20mezcaleros%3B%20cinco,22%20de%20agosto%20de%202021>.
- Valenzuela-Zapata, A. G. (1995). La agroindustria del agave tequilero *Agave tequilana* Weber. *Botanical Sciences*, 57, 15–25. <https://doi.org/10.17129/botsci.1473>
- Vázquez-García, J. A., Cházaro B., M. de J., Hernández V., G., Vargas-Rodríguez, Y. L., & Zamora T., Ma. Del P. (2007). Taxonomía del género *Agave* en el Occidente de México: una panorámica preliminar. In J. A. Vázquez-García, M. Chazaro Basáñez, E. Flores Berrios, G. Hernández Vera, & Y. L. Vargas Rodríguez (Eds.), *Los agaves del occidente de México* (Vol. 3, pp. 38–82). Universidad de Guadalajara.

4. IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN DESTILADO DE AGAVE MEXIQUENSE MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE GASES

4.1 Resumen

El destilado de agave mexiquense se elabora bajo un proceso artesanal que data de una tradición entre los 70 y 120 años, este estudio se centra en la identificación de compuestos volátiles presentes en esta bebida destilada. La investigación se llevó a cabo utilizando cromatografía de gases acoplada a un detector selectivo de masas, se analizaron cuatro muestras de destilado de agave mexiquense de tres municipios productores del sur del estado de México. Realizando una comparación entre los resultados del análisis y la base de datos NIST, se identificó la presencia de 28 compuestos volátiles, clasificados entre acetales, ácidos, alcoholes, aldehidos, ésteres, furanos y terpenos. El ácido hexanoico, ácido decanoico, ácido octanoico, 2-metil-1-propanol (álcohol isobutílico), 3-metil-1-butanol, etanol, 5-metil-2-furancarboxaldehído, acetato de etilo, y furfural son indentificados en las cuatro muestras de destilados, la presencia de estos compuestos brinda atributos sensoriales y de calidad que pueden caracterizar a las bebidas destiladas, mientras que en la literatura no se reporta la presencia de dietilacetal, 1,1-dietoxi Pentano, 5-metil-2-furancarboxaldehído y benzofurano en destilados de *A. angustifolia* Haw. Este estudio no solo proporciona una visión exploratoria de la composición química del destilado de agave mexiquense, resalta la importancia de preservar y promover los métodos tradicionales de producción y da pie a futuras investigaciones para fomentar la valorización y diferenciación de este producto regional.

Palabras clave: Destilado de agave mexiquense, cromatografía de gases, mezcal, compuestos volátiles, *A. angustifolia*.

IDENTIFICATION OF VOLATILE COMPOUNDS IN MEXIQUENSE AGAVE DISTILLATE USING GAS CHROMATOGRAPHY

Abstract

The mexiquense agave distillate is produced through a traditional artisanal process that has been practiced for 70 to 120 years. This study focuses on identifying the volatile compounds present in this distilled beverage. The research utilized gas chromatography coupled with a selective mass detector, analyzing four samples of mexiquense agave distillate from three producing municipalities in southern Mexico. By comparing the analysis results with the NIST database, twenty-eight volatile compounds were identified and classified as acetals, acids, alcohols, aldehydes, esters, furans, and terpenes. The compounds hexanoic acid, decanoic acid, octanoic acid, 2-methyl-1-propanol (isobutyl alcohol), 3-methyl-1-butanol, ethanol, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde, ethyl acetate, and furfural were found in all four distillate samples. The presence of these compounds contributes sensory and quality attributes that can characterize distilled beverages, while the literature does not report the presence of diethyl acetal, 1,1-diethoxy pentane, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde, and benzofuran in distillates of *A. angustifolia* Haw. This study not only provides an exploratory insight into the chemical composition of the Mexiquense agave distillate but also highlights the importance of preserving and promoting traditional production methods, paving the way for future research to encourage the valuation and differentiation of this regional product.

Keywords: Mexiquense agave distillate, gas chromatography, mezcal, volatile compounds, *A. angustifolia*.

4.2 Introducción

El mezcal ha tenido un aumento en su producción, distribución y comercialización durante los últimos años, llegando a producir 8,099,591 litros en 2021 (Consejo Mexicano Regulador del Mezcal, 2023), en consecuencia, el interés y demanda de los destilados de agave que no pertenecen a la Denominación de Origen Mezcal ha aumentado, esto ha generado cambios regionales en los procesos productivos incluso llegando a la adulteración o imitación por la necesidad de satisfacer la demanda. La garantía sobre la autenticidad de las bebidas destiladas es una de las principales preocupaciones de los fabricantes y autoridades correspondientes ante la necesidad de proteger a los consumidores de fraudes alimentarios. Un alimento auténtico es un producto que cumple estrictamente con la identidad genética, la composición natural, el origen geográfico y tipológico, los ingredientes, la tecnología de producción, las características de calidad implícitas y las afirmaciones explícitas declaradas (Jiménez-Carvelo et al., 2019).

Según Szambelan et al. (2020), en las bebidas destiladas de agave la calidad depende principalmente del tipo de materia prima que se utiliza, las características del suelo, parámetros climáticos y prácticas agronómicas, por su parte Pineda-Amaya et al. (2021) determinan que la composición química y características organolépticas de la bebida espirituosa están determinadas por factores como: madurez del agave, proceso de cocción, proceso de destilación y el tipo de microorganismos involucrados en la fermentación.

En este sentido, Rodríguez Córdova (2015) menciona que las bebidas destiladas de agave, como bacanora o tequila, tienen características que los distinguen y que son definidas por factores como la microbiota, la materia prima, el proceso de elaboración, las condiciones climáticas y geográficas, entre otros. Finalmente, Martell Nevárez & Córdova Gurrola (2011) menciona que la calidad y autenticidad de los mezcales o destilados de agave se encuentra en los compuestos aromáticos provenientes del agave y del proceso de elaboración; fermentación, destilación, almacenamiento y añejamiento. Estos factores toman relevancia ya

que influyen en la formación de componentes volátiles como aldehídos, ésteres o alcoholes superiores y que pueden impactar en las propiedades organolépticas de los diferentes mezcales, ya que muchos compuestos aromáticos derivan de materias primas mientras que otros se generan durante las diferentes etapas de producción (Lachenmeier et al., 2006).

El estudio de estos compuestos suele ser complicado y generalmente se lleva a cabo utilizando cromatografía de gases (GC). Sin embargo, las elevadas concentraciones de etanol y agua son un factor que considerar, ya que representan entre el 98% y el 99% del área de los picos principales. Por esta razón, se han implementado técnicas para separar y concentrar compuestos volátiles. En el caso de los destilados de agave, se emplean principalmente la extracción líquido-líquido y la microextracción en fase sólida (SPME), y los análisis se efectúan a través de cromatografía de gases acoplada a espectroscopia de masas (GC-MS) (Martínez et al., 2019).

Por lo que el principal objetivo de este estudio es la identificación de compuestos en destilados de agave mexiquense para tener un mayor conocimiento exploratorio de su composición química y así evaluar su calidad y autenticidad.

4.3 Materiales y métodos

Para este estudio se analizaron cuatro muestras de destilado de agave mexiquense blanco, todos elaborados bajo el proceso artesanal tradicional del estado de México, utilizando maguey criollo, destilados en el 2023 y ajustados al grado alcohólico de acuerdo con los usos de cada productor, como se ve en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Muestras utilizadas para el estudio

Clave	Productor	Origen	Proceso	% Alc. Vol.
MER	Merced Leyva	Santa Cruz Atempa, Zumpahuacán	Cocción de agave en horno de tierra. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de cobre.	48%
SIM	Simitrio Vargas	San José Chalmita, Tenancingo	Cocción de agave en horno de tierra. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de cobre.	47%
ELI	Elias Medina	Palmar de Guadalupe, Malinalco	Cocción de agave en horno de tepetate. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de cobre.	48%
TOM	Tomás Escobar	Colonia Juárez, Malinalco	Cocción de agave en horno de tierra. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de acero inoxidable.	50%

Las muestras se obtuvieron directamente en la fábrica de los productores con los cuales se colaboró para desarrollar este estudio, fueron recolectadas en botellas de vidrio sin color, almacenados a temperatura ambiente sin contacto directo con la luz solar hasta ser analizados.

La identificación de compuestos volátiles se realizó en un cromatógrafo de Gases (CG) Agilent 7890B acoplado a un detector selectivo de masas (MSD) Agilent 5977A (CRO-E-003). Para la preparación de la muestra por microextracción en fase sólida (SPME) se midieron 5 mL de muestra en un vial de vidrio de 22 mL con tapa rosca con septa de PTFE/silicón en la fase de vapor (HS). La muestra se colocó en agitación a 250 rpm. Posteriormente, se introdujo la fibra en la fase de vapor (headspace) por 1 hora. Después de la extracción, la fibra se insertó en el puerto de inyección del CG a 240 °C y la desorción de los compuestos fue realizada por 15 minutos en modo splitless. La fibra se acondicionó por 15 min a 180 °C antes de cada inyección. Asimismo, se realizó un blanco con una vial sin

muestra a las mismas condiciones. La fibra utilizada se compone de DVB/CWR/PDMS (Divinylbenzene/Carbon wide range/Polydimethylsiloxane) con longitud de 10 mm y grosor de 80 μm (50/30 μm) (Agilent Technologies).

Para la cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MSD) se utilizó una columna DB-WAX Ultra Inert 60m x 250 μm x 0.25 μm , a una temperatura de columna de 40 °C por 3 min, 10 °C/min hasta 280 °C. El gas acarreador fue helio con un flujo de 1 mL/min y temperatura del puerto de inyección de 240 °C.

El detector selectivo de masas tuvo las siguientes condiciones: energía de ionización electrónica de 70 eV con rango de escaneo de 30-550 uma, velocidad de lectura: 13.8 espectros/s, temperatura de la cámara de ionización: 200 °C y temperatura de la línea de transferencia: 250 °C.

La adquisición y procesamiento de datos se realizaron con MassHunter Workstation software (Agilent Technologies, Inc. 2012). Los compuestos se identificaron con base en los patrones de fragmentación de los espectros de masas, los cuales se compararon con la información de los compuestos químicos en la base de datos del NIST (National Institute of Standards and Technology) y la base de datos de fragancias Flavor (Agilent Technologies). Finalmente, se realizó la determinación de los índices de Kovats de cada compuesto.

4.4 Resultados y discusión

Diversos estudios se han realizado para identificar los compuestos volátiles en destilados de agave, A. Vera-Guzmán et al. (2018a) ha reportado alcoholes, ésteres, ácidos grasos, cetonas y furanos. Por su parte, Nolasco Cancino et al. (2022) determina que la concentración de estos compuestos varía a lo largo del proceso de destilación, predominando los alcoholes superiores, ésteres y aldehídos al principio, mientras que el furfural y el metanol son más frecuentes hacia el final.

Como resultado de los análisis realizados a las cuatro muestras de destilado de agave mexiquense se pudieron identificar 42 compuestos para el destilado

proveniente de Santa Cruz Atempa, 68 para la muestra de San José Chalmita, 41 y 54 para la muestra de Palmar de Guadalupe y Colonia Juárez respectivamente. En la Figura 6 se muestran los cromatogramas de las muestras analizadas, en ellos se observa que los picos con mayor área corresponde al etanol, para la muestra MER se tuvo un tiempo de retención de 6.601 min, de 6.603 min para la muestra SIM, 6.306 min para ELI y de 8.882 min para la muestra TOM, esto concuerda con González Seguí et al. (2019) quienes establecen que el etanol es el mayor componente de esta bebida alcohólica además de que el contenido de metanol es un riesgo para la salud de los consumidores debido a su alta toxicidad, en este sentido el metanol estuvo presente para la muestra MER, ELI y TOM, en la muestra SIM no fue detectado.

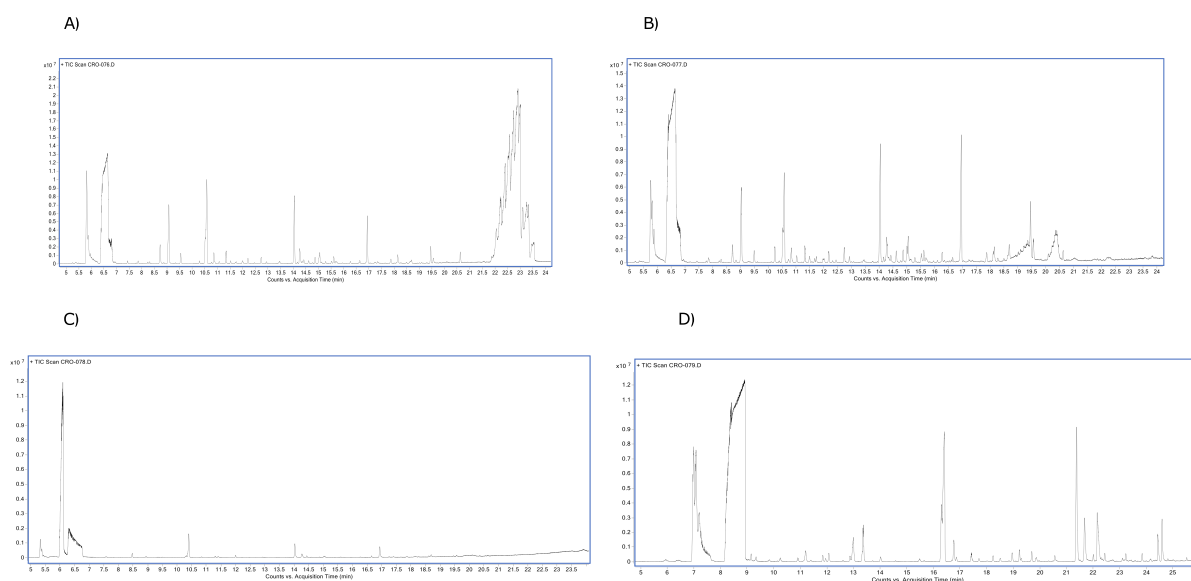


Figura 6. Cromatogramas obtenidos de las muestras de destilado de agave mexiquense: A) MER, B) SIM, C) ELI, D) TOM.

De acuerdo con García-Barrón, Hernández, et al. (2017), al igual que en el caso de atributos sensoriales, existen compuestos volátiles que son compartidos entre bebidas destiladas y otros que pueden ayudar a diferenciar la región o el productor y cada uno de estos contribuye al perfil auténtico de cada producto.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) fue establecido en 1901, es una agencia no regulatoria del Departamento de Comercio de Estados Unidos que sirve como laboratorio científico nacional, este instituto realiza investigaciones en diversos campos, incluidos física, matemáticas, química e ingeniería, y mantiene estándares de medición nacionales (Patterson, 2018; Riley, 2008).

Existen diversos estudios enfocados a identificar y cuantificar compuestos en diversas sustancias y productos en donde se recurre al Programa de búsqueda del NIST para comparar sus espectros de masas y utilizar índices de retención de Kovats para su fácil identificación (Cody et al., 2022; Mori Mestanza et al., 2021; Palencia-Blanco et al., 2020; Zani Agnoletti et al., 2020). Es así como en el Cuadro 5 se muestran los compuestos que fueron identificados en las cuatro muestras analizadas, con un score de similitud con el catálogo NIST de más de 70% para garantizar que el compuesto es el encontrado en cada muestra. Tomando esto en cuenta, se identificaron un total de 28 compuestos entre acetales, ácidos, alcoholes, aldehidos, ésteres, furanos y terpenos, de los cuales 9 están presentes en todas las muestras; ácido hexanoico, ácido decanoico, ácido octanoico, 2-metil-1-propanol (álcohol isobutílico), 3-metil-1-butanol, etanol, 5-metil-2-furancarboxaldehído, acetato de etilo, y furfural. Además, en SIM y TOM fue se encontró una mayor cantidad de compuestos, con un total de 22, por el contrario, en las muestras MER y ELI se identificaron 15 compuestos. Los ácidos fue el grupo más abundante. Como se ha mencionado, los compuestos volátiles generados durante la producción de las bebidas destiladas interfieren en la calidad sensorial del producto resultante, como ejemplo observamos que, si un destilado de agave contiene ácido butanoico, desarrolla notas de grasa, queso y dulces, mientras que alcohol feniletílico proporciona aromas a rosas, (De León-Rodríguez et al., 2008; Molina-Guerrero et al., 2007).

Cuadro 5. Compuestos volátiles identificados en las muestras de destilado de agave mexiquense.

COMPUESTOS	MER	SIM	ELI	TOM	NOTAS
ACETALES					
Acetal		X	X	X	Frutal
Dietilacetal				X	
1,1-dietoxi Pentano,				X	
ÁCIDO					
Ácido acético		X		X	Vinagre
Ácido butanoico	X	X		X	Grasa, rancio, queso, dulce
Ácido hexanoico	X	X	X	X	Levadura, sidra, seta, pasto, frutal, queso
Ácido pentanoico		X		X	
Ácido decanoico	X	X	X	X	Grasa, seco, madera, rancio
Ácido dodecanoico	X	X	X		
Ácido heptanoico		X		X	
Ácido nonanoico		X			
Ácido octanoico	X	X	X	X	
Ácido propanoico		X			Frutal, ácido, floral
ALCOHOLES					
Metanol	X		X	X	
Propanol		X		X	
2-metil-1-Propanol (álcohol isobutílico)	X	X	X	X	Dulce, químico, blanqueador, chocolate, moho
1-butanol		X		X	Dulce, fusel 3
3-metil-1-butanol	X	X	X	X	Dulce, frutal, fusel, plástico, alcohol, vino, pies, moho
Etanol	X	X	X	X	
Alcohol feniletílico	X	X			Rosas

Cuadro 6. Compuestos volátiles identificados en las muestras de destilado de agave mexiquense (Continuación).

ALDEHÍDO					
5-metil-2-furancarboxaldehído	X	X	X	X	
ÉSTERES					
Acetato de etilo	X	X	X	X	Solvente
FURANOS					
Furfural	X	X	X	X	Floral, frutal
Benzofurano		X	X	X	
TERPENOS					
alfa-terpineol				X	
Linalol	X	X		X	Floral, frutal, dulce, especias
Limoneno	X		X		Lima
alfa-calacoreno			X		

En el estado de México, las bebidas destiladas de agave se elaboran con base el maguey “criollo” que es endémico de la región, de forma tradicional se le ha conocido a esta especie como parte del complejo *A. angustifolia* Haw. Existen estudios que se han realizado para identificar y cuantificar compuestos volátiles en bebidas destiladas provenientes de otras regiones del país y elaboradas con esta misma especie de agave. En el Cuadro 6, se muestran los compuestos identificados en las muestras del destilado mexiquense comparados con estos estudios.

El estudio de A. Vera-Guzmán et al. (2018b), es el más extenso, identifica 84 compuestos, encontrando que de ellos 15, están presentes en las muestras mexiquenses, por otro lado, García-Barrón (2012) concuerda en 16 compuestos y Chavez-Parga et al. (2016), reporta la presencia de 12 compuestos encontrados en mezcal elaborado con *A. angustifolia* Haw., de los cuales el metanol, etanol, 2-butanol, propanol, 3-metil-1-butanol también están presentes. En todos los estudios abordados se exhibe la riqueza sensorial que estos

compuestos aportan al producto final, esto ayuda a contribuir su valorización y diferenciación.

Tomando en cuenta esto, el ácido acético, decanoico, propanoico, el propanol, alcohol isobutílico, el acetato de etilo, 1-butanol, 3-metil-1-butanol y el furfural son compuestos que se reportaron en la mayoría de los estudios abordados, lo que indica que son compuestos base o comunmente contenidos en las bebidas destiladas de *A. angustifolia*. En cambio, el dietilacetal, 1,1-dietoxi Pentano, 5-metil-2-furancarboxaldehído y el benzofurano son compuestos que no han sido reportados para destilados de esta especie de agave, por lo que esta identificación amplía el conocimiento sobre la complejidad y riqueza aromática de esta bebida tradicional, contribuyendo a la comprensión de la calidad y características sensoriales de los destilados de agave.

Cuadro 7. Compuestos identificados en mezcales elaborados con *A. angustifolia* Haw.

COMPUESTOS	De León-Rodríguez et al. (2008)	A. Vera-Guzmán et al. (2018b)	A. M. Vera-Guzmán et al. (2010)	Nolasco Cancino et al. (2022)	García - Barrón (2012)	López - García (2021)	Álvarez -Ainza et al. (2015)
ACETALES							
Acetal				X			
Dietilacetal							
1,1-dietoxi Pentano,							
ÁCIDO							
Ácido acético	X	X	X		X		X
Ácido butanoico		X	X				X
Ácido hexanoico		X					X
Ácido pentanoico		X					
Ácido decanoico			X		X		X
Ácido dodecanoico		X					
Ácido heptanoico		X					

Cuadro 8. Compuestos identificados en mezcales elaborados con *A. angustifolia* Haw. (Continuación).

Ácido nonanoico	X					
Ácido octanoico	X			X		X
Ácido propanoico	X	X		X		X
ALCOHOLES						
Metanol	X				X	
Propanol	X		X	X	X	X
2-metil-1-Propanol (álcohol isobutílico)	X	X		X	X	X
1-butanol	X	X		X	X	
3-metil-1-butanol	X	X	X		X	
Etanol	X		X		X	X
Alcohol feniletílico	X		X		X	
ALDEHÍDO						
5-metil-2- furancarboxaldehíd o						
ÉSTERES						
Acetato de etilo	X		X		X	
FURANOS						
Furfural		X	X		X	
Benzofurano						
TERPENOS						
alfa-terpineol		X			X	
Linalol		X			X	
Limoneno					X	
alfa-calacoreno					X	

4.5 Conclusión

Los compuestos volátiles son fundamentales en la producción y caracterización de los alimentos y bebidas tradicionales como los destilados de agave, son responsables de los aromas y sabores que se perciben, contribuyen a construir

los estándares de calidad percibidos por los consumidores además de llegar a ser indicadores de un buen proceso de elaboración. En el caso de los destilados de agave mexiquense, se lograron identificar 28 compuestos volátiles distintos, resultando las muestras provenientes de San José Chalmita, Tenancingo y Colonia Juárez, Malinalco las de mayor complejidad, de estos, nueve fueron identificados en las cuatro muestras, lo que revela la complejidad y riqueza de características sensoriales que pueden ofrecer los destilados mexiquenses debido a la variedad de agave utilizada, el método de producción y las condiciones ambientales regionales.

Este estudio resulta ser un primer acercamiento a la composición de los destilados de agave mexiquenses que tiene limitantes al ser exploratorio y reportar la presencia de compuestos volátiles en las muestras, sin embargo, esta información es fundamental para continuar con investigaciones que logren identificar y cuantificar el total de compuestos volátiles de los destilados de agave mexiquense y de esta forma contribuir para resaltar la producción tradicional y generar la identidad cultural de las regiones productoras.

4.6 Literatura citada

- Álvarez-Ainza, L. M., García-Galaz, A., González-Ríos, H., Prado-Jaramillo, N., & Acedo-Félix, E. (2015). Sensory Analysis And Minor Volatil Compounds Distilled From Agave Angustifolia Haw (Bacanora). *BIOTecnia*, 17(3), 22. <https://doi.org/10.18633/bt.v17i3.233>
- Patterson, D. (2018). Appendix B. CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology, 24(6), 1847–1848. <https://doi.org/10.1212/01.CON.0000547177.29166.6d>
- Chavez-Parga, M. D. C., Pérez Hernández, E., & González Hernández, J. C. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 148–164. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>
- Cody, R. B., Sparkman, O. D., & Moore, H. (2022). Creating a Searchable Chromatographic Database with the NIST Mass Spectral Search Program. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 33(4), 740–743. <https://doi.org/10.1021/jasms.2c00016>

- Consejo Mexicano Regulador del Mezcal. (2023). Informe Estadístico. https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/INFORME-2023_PUBLICO.pdf
- De León-Rodríguez, A., Escalante-Minakata, P., Barba de la Rosa, A. P., & Blaschek, H. P. (2008). Optimization of fermentation conditions for the production of the mezcal from *Agave salmiana* using response surface methodology. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.08.010>
- García-Barrón, S. E., Hernández, J. de J., Gutiérrez-Salomón, A. L., Escalona-Buendía, H., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2017). Mezcal y Tequila: análisis conceptual de dos bebidas típicas de México. *Revista Iberoamericana de Viticultura*, 4(12), 138–162.
- García-Barrón, S. E. (2012). Efecto de la región de procedencia del agave y las condiciones de fermentación sobre el perfil aromático de mezcal [Maestría]. Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco A.C.
- González Seguí, H. O., Hernández López, J. D. J., & Hendrik Giersiepen, J. (2019). Metanol: tolerancias y exigencias en las normas para mezcal y bebidas de agave. *Revista RIVAR*, 7(19), 1–21. <https://doi.org/10.35588/rivar.v7i19.4246>
- Jiménez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., Bagur-González, M. G., & Cuadros-Rodríguez, L. (2019). Alternative data mining/machine learning methods for the analytical evaluation of food quality and authenticity – A review. *Food Research International*, 122, 25–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.063>
- Lachenmeier, D. W., Sohnus, E. M., Attig, R., & 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>
- López-García, S. Y. (2021). Innovación, identidad en mezcal ancestral de Santa María Ixcatlan Oaxaca, como elementos de Indicación Geográfica [Maestría]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Martell Nevárez, M. A., & Córdova Gurrola, E. E. (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(22). <https://doi.org/10.5897/ajmr11.467>
- Martínez, S., Nuñez-Guerrero, M., Gurrola-Reyes, J. N., Rutiaga-Quñones, O. M., Paredes-Ortíz, A., Soto, O. N., Flores-Gallegos, A. C., & Rodríguez-Herrera, R. (2019). 4 - Mescal an Alcoholic Beverage From Agave spp. With Great Commercial Potential. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.),

- Alcoholic Beverages (pp. 113–140). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815269-0.00004-0>
- Molina-Guerrero, J. A., Botello-Álvarez, J. E., Estrada-Baltazar, A., Navarrete-Bolaños, J. L., Jiménez-Islas, H., Cárdenas-Manríquez, M., & Rico-Martínez, R. (2007). Compuestos volátiles en el mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(1), 41–50.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62060106>
- Mori Mestanza, D., Zuta Chamoli, V., Barrera Gurbillón, M. Á., Oliva Cruz, M., & Chávez Quintana, S. G. (2021). Análisis de los compuestos volátiles de cacao nativo fino de aroma de granos tostados y sin tostar. *Revista Científica Pakamuros*, 9(4), 133–147. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.243>
- Nolasco Cancino, H., Jarquín Martínez, D., Ruiz Terán, F., & Santiago Urbina, J. A. (2022). Behavior of the volatile compounds regulated by the Mexican Official Standard NOM-070-SCFI-2016 during the distillation of artisanal Mezcal. *Biotecnia*, 24(2), 20–27.
<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1577>
- Palencia-Blanco, C., Gualdrón-Zambrano, A., Guarín - Henao, I., Ojeda-Galeano, Y., Villamizar-Jaimes, A., Zárate-Caicedo, D. A., Coronado-Silva, R. A., Rodríguez-Silva, L., & López-Giraldo, L. J. (2020). Proposal for a semi-quantitative method for the determination of volatile compounds in cocoa liquors. *Respuestas*, 25(1), 60–69.
<https://doi.org/10.22463/0122820X.2406>
- Pineda-Amaya, A. del C., Ocaña-Rios, I., García-Aguilera, M. E., Nolasco-Cancino, H., Quiroz-García, B., Esturau-Escofet, N., & 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>
- Riley, W. J. (2008). Handbook of frequency stability analysis.
<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1065>
- Rodríguez Córdova, R. J. (2015). Perfil de compuestos volátiles en bacanoras artesanales y comerciales [Maestría]. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.
- Szambelan, K., Nowak, J., Szwengiel, A., & Jeleń, H. (2020). Comparison of sorghum and maize raw distillates: Factors affecting ethanol efficiency and volatile by-product profile. *Journal of Cereal Science*, 91, 102863.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102863>
- Vera-Guzmán, A., Guzmán-Gerónimo, R., López, M., & Chávez-Servia, J. (2018a). Volatile Compound Profiles in Mezcal Spirits as Influenced by

Agave Species and Production Processes. *Beverages*, 4(1), 9.
<https://doi.org/10.3390/beverages4010009>

Vera-Guzmán, A., Guzmán-Gerónimo, R., López, M., & Chávez-Servia, J. (2018b). Volatile Compound Profiles in Mezcal Spirits as Influenced by Agave Species and Production Processes. *Beverages*, 4(1), 9.
<https://doi.org/10.3390/beverages4010009>

Vera-Guzmán, A. M., Guzmán-Gerónimo, R. I., & López, M. G. (2010). Major and minor compounds in a Mexican spirit, young Mezcal, coming from two Agave species. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(2), 127–132.
<https://doi.org/10.17221/56/2009-CJFS>

Zani Agnoletti, B., Fontes Pinheiro, P., Louzada Pereira, L., Da Silva Oliveira, E. C., & Filgueiras, P. R. (2020). Discriminação De Café Arábica Quanto À Qualidade Sensorial Utilizando Cromatografia GASOSA E PLS-DA. *Revista Ifes Ciência*, 6(3), 147–158. <https://doi.org/10.36524/ric.v6i3.848>

5. DESCRIPCIÓN SENSORIAL DE DESTILADO DE AGAVE PROVENIENTE DE CUATRO COMUNIDADES MEXIQUENSES MEDIANTE ANÁLISIS CUANTITATIVO DESCRIPTIVO

5.1 Resumen

Este estudio se llevó a cabo con el objetivo de identificar y cuantificar las características sensoriales que definen al destilado de agave mexiquense, mediante la aplicación del análisis cuantitativo descriptivo. Las muestras evaluadas fueron provenientes de tres municipios mexiquenses con tradición en la elaboración de esta bebida destilada. Para el análisis se seleccionó un panel conformado por 11 personas que generaron 16 atributos para diferenciar las muestras, se realizó el entrenamiento enfocado a estos descriptores utilizando referencias y se realizó una prueba final por triplicado y evaluando las muestras de forma monádica. Del total de los atributos generados, cinco permitieron diferenciar significativamente a los destilados de agave mexiquense (aroma herbal, sabor caramelo, sabor a maguey cocido, densidad/cuerpo y causticidad). El análisis cuantitativo descriptivo permitió caracterizar el perfil sensorial del destilado de agave mexiquense, resaltando la complejidad y riqueza del de esta bebida, promoviendo una mayor apreciación y valoración.

Palabras clave: análisis cuantitativo descriptivo, destilado de agave mexiquense, perfil sensorial, caracterización.

SENSORY DESCRIPTION OF AGAVE DISTILLATE FROM FOUR COMMUNITIES IN THE STATE OF MEXICO THROUGH DESCRIPTIVE QUANTITATIVE ANALYSIS

Abstract

This study was conducted to identify and quantify the sensory characteristics that define the agave distillate from the State of Mexico, using descriptive quantitative analysis. The evaluated samples were sourced from three municipalities in the State of Mexico with a tradition in the production of this distilled beverage. For the analysis, a panel of eleven individuals was selected, generating sixteen attributes to differentiate samples. Training focused on these descriptors was conducted using references, followed by a final test performed in triplicate, assessing the samples in a monadic manner. Of the total attributes generated, five significantly differentiated the agave distillates from the State of Mexico (herbal aroma, caramel flavor, cooked maguey flavor, density/body, and causticity). The descriptive quantitative analysis enabled the characterization of the sensory profile of the agave distillate from the State of Mexico, highlighting the complexity and richness of this beverage, thereby promoting greater appreciation and valuation.

Keywords: descriptive quantitative analysis, agave distillate from the State of Mexico, sensory profile, characterization.

5.2 Introducción

El mezcal es un destilado tradicional mexicano elaborado a partir de plantas de agave, cuenta con Denominación de Origen Protegida para 9 estados de la república, siendo Oaxaca el de mayor producción (Ceranic Salinas, 2020). Se elabora mediante un proceso que consta de cinco etapas: cosecha, cocción, tritución, fermentación y destilación, su producción ha aumentado significativamente en los últimos años, de menos de 1 millón de litros en 2011 a casi 8 millones de litros, lo que genera preocupación sobre la sostenibilidad y la preservación de los métodos artesanales (Arellano-Plaza et al., 2022), esta creciente popularidad también ha generado oportunidades económicas, pero con ellas se reconocen riesgos de apropiación cultural y prácticas comerciales desleales (Ceranic Salinas, 2020). Tomando en cuenta que las propiedades que hacen únicos a los destilados de agave están vinculadas a su terroir, reflejando la historia y cultura de sus regiones de producción (Camacho Vera et al., 2020) se han desarrollado metodologías para evaluar y determinar su calidad, tal es el caso de Quintero Arenas et al. (2020) que usa métodos espectroscópicos para detectar adulterantes y verificar su autenticidad.

Del mismo modo, investigaciones sobre el perfil de compuestos volátiles de estas bebidas destiladas ha demostrado ser importante ya que varía según la especie de agave, el origen y la temporada de producción, lo que impacta directamente en los atributos sensoriales que son identificados en la bebida (Vera-Guzmán et al., 2018), además de que su carácter tradicional está influenciado por factores como la ubicación geográfica, ocasiones especiales y dimensiones sensoriales (García-Barrón et al., 2021). Esto lo demuestra López-Aguilar et al. (2021), al determinar huellas discriminantes para mezcales basados en la región, la especie de agave y el proceso de fabricación empleando perfiles comparativos de metabolómica de RMN, por otro lado se han reportado diferencias en mezcales producidos a partir de cuatro especies diferentes de agave, aplicando espectroscopía FT-MIR y análisis estadístico multivariado (López Aguilar et al., 2024).

En cuanto a estudios con consumidores, en Oaxaca se reconocieron diferencias entre mezcales ancestrales, tradicionales e industriales en función del aroma, sabor y procesos de producción (Barrera-Rodríguez et al., 2019), también se encontró que atributos intangibles como la calidad sensorial, las consideraciones éticas y los elementos simbólicos agregan valor a la producción ancestral de mezcal en Santa Catarina Minas, Oaxaca (Legaria Solano & Vásquez-Maya, 2024).

El análisis cuantitativo descriptivo (QDA) es un método de evaluación sensorial que proporciona información detallada sobre las características sensoriales de un producto, se utiliza para identificar y cuantificar atributos utilizando panelistas capacitados lo que implica reclutar y seleccionar panelistas, realizar sesiones de capacitación y evaluar productos utilizando atributos específicos (Bleibaum, 2020; Zook & Pearce, 2018). A pesar de que se han creado métodos rápidos como Check-All-That-Apply (CATA) o Flash Profile (FP), QDA ofrece información más precisa y detallada, por lo que sigue siendo una herramienta valiosa para el análisis sensorial integral en las industrias de alimentos y bebidas (He & Chung, 2019).

El QDA se ha empleado para caracterizar los perfiles sensoriales del mezcal y bebidas espirituosas de agave, identificado atributos clave discriminatorios en la evaluación del mezcal y distinguiendo mezcales de diferentes regiones en función de sus características sensoriales, (Delgado-Alvarado, 2018; González-Ponce et al., 2023). Además de aplicarse a otras bebidas a base de agave, como el aguamiel, revelando variaciones en atributos como turbidez y amargor entre diferentes lugares de producción (Arroyo-Cruz, 2023). Estos hallazgos resaltan los diversos perfiles sensoriales de los destilados de diferentes regiones y su potencial para la diferenciación del mercado y la apreciación del consumidor, por lo que el propósito de este trabajo es obtener descriptores que ayuden a identificar las diferencias entre destilados de agave producidos en la región mexiquense, para fomentar su valoración regional, resaltando su singularidad y calidad.

5.3 Materiales y métodos

Muestras

Los cuatro destilados de agave mexiquense que son utilizados para la realización de este estudio fueron elegidos de acuerdo con las regiones objetivo del trabajo de investigación general, son producidos en la region sureste del Estado de México, todos bajo el proceso artesanal tradicional, utilizando maguey criollo, destilados en el 2023, de tipo blanco y ajustados al grado alcohólico conforme a los usos de cada productor, como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 9. Muestras de destilado de agave mexiquense utilizado.

Clave	Productor	Origen	Coordenadas (latitud - longitud)	Proceso	% Alc. Vol.
MER	Merced Leyva	Santa Cruz Atempa, Zumpahuacán	18°49'33" - 99°32'0"	Cocción de agave en horno de tierra. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de cobre.	48%
SIM	Simitrio Vargas	San José Chalmita, Tenancingo	18°51'37" - 99°32'48"	Cocción de agave en horno de tierra. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de cobre.	47%
ELI	Elias Medina	Palmar de Guadalupe, Malinalco	18°54'15" - 99°31'59"	Cocción de agave en horno de tepetate. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de cobre.	48%
TOM	Tomás Escobar	Colonia Juárez, Malinalco	18°48'11" - 99°27'35"	Cocción de agave en horno de tierra. Molienda a mano con mazo de madera. Fermentación natural en botes de plástico. Destilado en cascomite con cuba de sauce y montera de acero inoxidable.	50%

Las muestras se obtuvieron directamente en la fábrica de los productores, fueron recolectadas en botellas de vidrio sin color, almacenados a temperatura ambiente sin contacto directo con la luz solar hasta ser evaluados. Para llevar a cabo la metodología del Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA), se desarrollaron cuatro fases:

Preselección y selección de panelistas

Se realizó una convocatoria para invitar a personas que quisieran participar en el estudio, de forma preliminar se conformó un panel con 13 personas que cumplieron con las siguientes características; consumen mezcales o destilados de agave por lo menos una vez a la semana, mayores de edad, buena salud y tuvieron la disposición y tiempo de participar en el estudio. Posteriormente, la selección de panelistas se realizó con un análisis secuencial utilizando pruebas triangulares, eligiendo a las personas de acuerdo con su capacidad de discriminación (López-Aguilar, 2022), resultando once personas seleccionadas.

Entrenamiento

La fase de entrenamiento se desarrolló durante nueve sesiones con un total de 22 horas (cinco sesiones con una duración de dos horas y cuatro sesiones de tres horas). De acuerdo con la experiencia de los panelistas seleccionados y su criterio, se decidió trabajar con las muestras de destilado de agave mexiquense con el ajuste alcohólico que cada productor realiza para su producto siguiendo su costumbre local. La generación de atributos fue desarrollada por el panel de jueces, a cada persona se le presentaron cuatro muestras de destilados de agave y se les pidió que escribieran en una hoja blanca los atributos que describieran y ayudaran a diferenciar cada una de las muestras según su orden de aparición, posteriormente se consensuó el vocabulario entre el panel y se determinaron referencias para cada uno de ellos. Las referencias fueron evaluadas por los jueces y situadas por consenso dentro de la escala de intervalo representada por una línea de 15 cm. Los atributos y referencias se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 10. Lista de atributos, descripción, referencia y valor generados por el panel para el QDA de destilado mexiquense.

CLASE	ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA Y VALOR
Aroma	Frutal	Aroma asociado a frutas maduras	Pera; 10.5
	Herbal	Aroma asociado a hojas verdes	Hierbabuena; 8
	Acetona	Olor asociado a acetona	Acetona; 15
	Vegetal	Aroma asociado a verduras frescas y verdes	Calabaza; 9
	Maguey cocido	Aroma asociado a piña de maguey cocida	Piña de maguey cocida; 15
	Terroso	Aroma asociado a la tierra húmeda	Tierra para plantas; 12
Sabor (Trigeminal)	Caramelo	Sensación asociada a caramelo de azúcar	Caramelo de azúcar; 10
	Maguey cocido	Sensación asociada al dulzor de la piña de maguey cocida	Piña de maguey cocida; 15
	Frutal	Sensación asociada al sabor de frutas	Gerber de frutas mixtas®; 9
	Acidez	Sensación básica que produce salivación	Manzana verde; 7.5
	Ahumado	Sensación asociada al humo	Piña de maguey cocida; 6
	Amargo	Sensación básica	Grano de café; 9
	Densidad	Sensación de peso y untuosidad que se produce al tomar la bebida	Licor de frutas, 13
	Causticidad	Sensación punzante en la boca producida por el contenido alcohólico de la bebida destilada	Mezcal de puntas de 70 % Alc. Vol.; 15
	Astringencia	Sensación de sequedad en boca	Vino tinto XA®, Domecq; 8.5
	Permanencia en boca	Persistencia de una sensación de sabor tras haber ingerido la bebida destilada	Tequila Don Ramón reposado®; 6.5

Prueba final

Para la prueba final, cada juez recibió tres repeticiones de cada una de las muestras y realizó la evaluación de forma monádica. Los panelistas recibieron aleatoriamente muestras de 20ml de cada uno de los destilados, las presentaciones fueron balanceadas y codificadas con tres dígitos servidas en vaso veladora mezcalero cubiertos con un cubrevasos, asimismo, el panel tuvo disponible las referencias, agua natural y galletas habaneras clásicas (Gamesa®, México) para limpiar la boca entre cada evaluación. Las fases de esta metodología se realizaron en la Galería “MisMezcales” en la Ciudad de México, acondicionando el espacio de acuerdo con las características físicas para aplicar una evaluación sensorial (Hernández-Montes, 2007).

Análisis de datos

Los datos obtenidos se trataron mediante un análisis de varianza con diseño de bloques completamente al azar y arreglo en parcela dividida, en donde las muestras fueron la parcela mayor, los jueces la parcela menor y la fuente de variación son las repeticiones, la reproducibilidad de los jueces se determinó con el valor de p de las repeticiones (sesiones) y $p \geq 0.05$, el desempeño del panel se evaluó para cada atributo con la la significancia de la interacción Panelista*Destilado con la finalidad de determinar si existe interacción ($p \leq 0.05$) entre ambos factores.

Para los atributos que mostraron interacción Panelista*Destilado, se tomaron sus datos y fueron graficados con el objetivo de identificar el tipo de interacción (cruzada o de magnitud), posteriormente se eliminaron a los panelistas responsables; los datos resultantes fueron analizados de la misma forma. También se aplicó una prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para las comparaciones de medias ($p < 0.05$) y se elaboró un mapa perceptual con los atributos que resultaron significativos del ANOVA. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS OnDemand for Academics (SAS Institute, Inc., 2024) y con XLSTAT Sensory 2023 (Lumivero, Denver, CO, USA).

5.4 Resultados y discusión

Tomando en cuenta las descripciones hechas por el panel de jueces y el consenso, se generaron 16 descriptores para las muestras de destilado de agave mexiquense, seis atributos relacionados con el aroma (aroma frutal, aroma herbal, olor a acetona, aroma vegetal, aroma a maguey cocido, aroma terroso) y diez atributos de sabor y sensaciones trigeminales (sabor caramelo, sabor maguey cocido, sabor frutal, acidez, sabor ahumado, amargo, densidad/cuerpo, causticidad, astringencia, permanencia). Los resultados del análisis de varianza realizado a cada atributo se muestran en el Cuadro 9. Para evaluar el desempeño del panel se toman los resultados de la columna Sesión junto con la interacción Panelista*Destilado, en donde ocho atributos presentaron interacción cruzada entre el panelista y el destilado (aroma frutal, aroma a maguey cocido, aroma terroso, sabor caramelo, sabor a maguey cocido, sabor frutal, sabor ahumado y permanencia), dos atributos presentan diferencia significativa en las sesiones o repeticiones (aroma vegetal y acidez) y un atributo presentó tanto interacción cruzada como diferencia significativa en las sesiones (olor a acetona).

Cuadro 11. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los ANOVA de los atributos evaluados en destilado de agave mexiquense, con el panel de jueces completo (n = 11).

Atributo	Destilado g.l 3		Panelista g.l 10		Sesión g.l. 2		Panelista*Destilado g.l. 30		Sesión*Destilado g.l. 6	
	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
Aroma Frutal	8.19	0.0153	2.96	0.0032	2.9	0.0606	3.96	<.0001	0.15	0.9886
Aroma Herbal	8.35	0.0146	7.01	<.0001	1.89	0.1576	1.46	0.0938	0.91	0.4931
Olor a Acetona	10.69	0.008	13.8	<.0001	4.54	0.0136	2.2	0.0028	1.11	0.3621
Aroma Vegetal	2.52	0.1546	6.21	<.0001	3.13	0.0493	1.2	0.2603	0.36	0.9004
Aroma Maguey Cocido	11.91	0.0061	11.1	<.0001	1.76	0.1794	3.11	<.0001	1.11	0.3638
Aroma Terroso	7.8	0.0171	8.93	<.0001	0.76	0.4716	3.01	<.0001	0.41	0.8676
Sabor Caramelo	4.16	0.0649	1.29	0.2491	1.17	0.315	2.37	0.0012	1.02	0.4173
Sabor Maguey Cocido	5.1	0.0435	7.27	<.0001	1.71	0.1879	2.02	0.007	0.9	0.4961
Sabor Frutal	2.61	0.1469	1.97	0.0479	1.8	0.172	1.79	0.0209	0.64	0.7013
Acidez	6.35	0.0273	6.4	<.0001	3.12	0.0497	1.45	0.0986	0.34	0.9136
Sabor Ahumado	1.08	0.4249	13.7	<.0001	2.35	0.1015	2.08	0.005	0.68	0.6682
Amargo	1.99	0.0767	12.7	<.0001	2.28	0.1086	1.34	0.1528	1.99	0.0767
Densidad/Cuerpo	5.95	0.0313	17.7	<.0001	2.1	0.1292	1.49	0.0816	0.42	0.866
Causticidad	4.77	0.0498	7.74	<.0001	1.85	0.1644	1.46	0.0936	0.75	0.6121
Astringencia	3.04	0.1143	3.78	0.0003	1.25	0.2933	1.21	0.2509	0.6	0.7272
Permanencia	2.69	0.1398	6.4	<.0001	0.59	0.5592	1.8	0.0201	0.56	0.7572

Observando los datos anteriores, se retomaron los atributos que presentaron interacción cruzada y se eliminaron los panelistas que lo causaban, quedando al menos 6 jueces en cada atributo, con el fin de obtener un perfil sensorial de calidad y confiable (Jaureguí-García, 2024; López-Aguilar, 2022). En el cuadro 4 se muestra el análisis de varianza resultado de eliminar los jueces que causaban interacción cruzada en los atributos previamente identificados. De estos; el sabor a caramelo y sabor a maguey cocido permiten diferenciar las muestras ($p \leq 0.05$) y no presentaron interacción Panelista*Destilado ni las sesiones fueron significativas.

Cuadro 12. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los análisis de varianza de los atributos evaluados en destilado de agave mexicano, con eliminación de jueces.

Atributo	Destilado g.l 3		Panelista		Sesión g.l. 2		Panelista*Destilado	
	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
Aroma Frutal	24.74	0.0009	3	0.0218	3.62	0.0358	0.99	0.4844
Olor a Acetona	49.97	0.0001	22.39	<.0001	4.63	0.0156	1.57	0.1284
Aroma Maguey Cocido	7.74	0.0174	15.84	<.0001	3.74	0.0324	0.51	0.9231
Aroma Terroso	2.19	0.1904	1.74	0.1469	1.98	0.1511	2.45	0.0121
Sabor Caramelo	104.14	<.0001	0.75	0.5922	1.19	0.3159	1.29	0.252
Sabor Maguey Cocido	24.46	0.0009	7.29	<.0001	1.2	0.3088	0.34	0.9929
Sabor Frutal	1.46	0.3156	1.3	0.284	1.26	0.2957	1.07	0.4088
Sabor Ahumado	1.77	0.253	16.97	<.0001	0.57	0.5692	0.66	0.8341
Permanencia	0.82	0.5304	6.64	0.0001	0.16	0.8495	1.00	0.4707

Del total de atributos evaluados, cinco (tres iniciales y dos corregidos) no presentan interacción cruzada, las sesiones o repeticiones no son significativas y las muestras de destilado presentan diferencia estadística, siendo; aroma herbal, sabor caramelo, sabor a maguey cocido, densidad/cuerpo y causticidad. Las comparaciones de medias de las intensidades de estos descriptores que

permiten diferenciar significativamente los destilados de agave mexiquense se presentan en el Cuadro 11.

Tomando como referencia al destilado de agave proveniente de Palmar de Guadalupe, esta muestra obtiene los mayores valores en el atributo Sabor a maguey cocido junto con la muestra de San José Chalmita y Densidad/Cuerpo, mientras que representa los valores más bajos en Causticidad junto con la muestra de Colonia Juárez, por otro lado, la muestra de Santa Cruz Atempa obtiene los valores más altos en Causticidad al igual que la muestra de Colonia Juárez y San José Chalmita, mientras que obtiene los valores más pequeños en Sabor caramelo junto con la muestra de Colonia Juárez.

Cuadro 13. Perfil descriptivo de destilado de agave mexiquense, comparación de media de las intensidades de sus atributos.

Atributos	ELI	MER	TOM	SIM
Aroma herbal	5.88 bc ^z	6.82ab	7.28a	5.23c
Sabor caramelo	7.15b	5.37c	5.58c	7.68a
Sabor a maguey cocido	7.24a	5.88b	5.14c	7.15a
Densidad/Cuerpo	7.56a	6.66b	6.83b	6.68b
Causticidad	4.84b	6.23a	5.78ab	5.80a

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

Finalmente se realizó un análisis de componentes principales utilizando los atributos significativos y las muestras de destilado mexiquense (Figura 7). Los dos primeros componentes explican el 97.5% de la variabilidad de los datos (Cuadro 12), en el cuál el componente principal 1 muestra el 70.4% de la variabilidad y los atributos con los mayores pesos fueron; aroma herbal, sabor caramelo, sabor a maguey cocido y causticidad, mientras que el componente principal dos explica el 27.1% de la variabilidad y el atributo con mayor peso es densidad/cuerpo.

Cuadro 14. Cargas de correlación de las variables sensoriales evaluadas en destilados de agave mexiquense.

Atributo	CP1	CP2
Aroma herbal	-0.862	0.507
Sabor caramelo	0.922	-0.326
Sabor a maguey cocido	0.944	-0.246
Densidad/Cuerpo	0.664	0.740
Causticidad	-0.772	-0.620

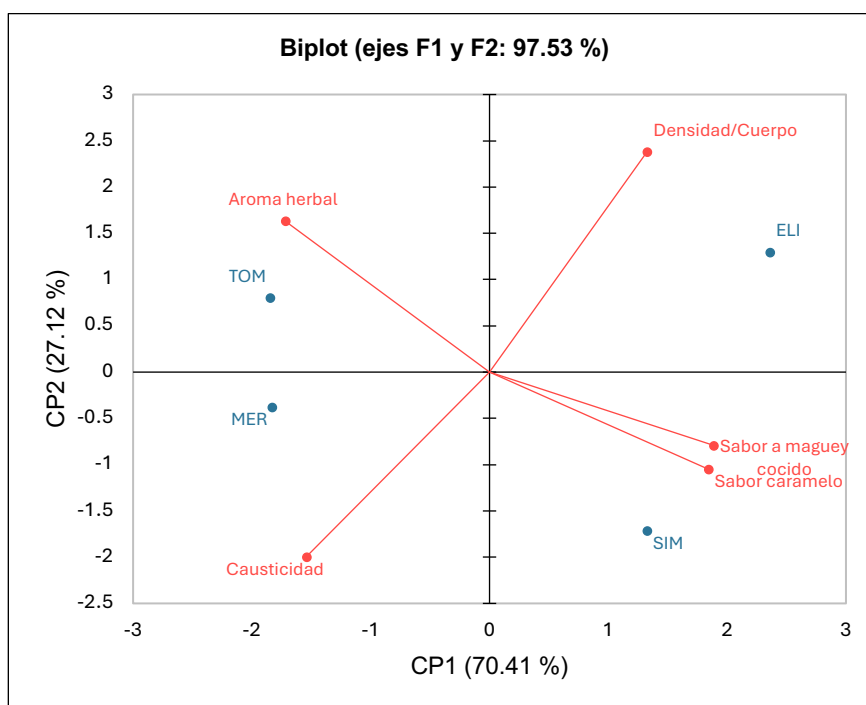


Figura 7. Bi-plot del análisis de componentes principales de los atributos sensoriales significativos en destilado de agave mexiquense.

Al igual que en este estudio, el QDA ayuda a caracterizar los perfiles sensoriales del mezcal y bebidas espirituosas de agave, González-Ponce et al. (2023) identificó atributos clave como el color, el aroma ahumado y el olor a quemado como factores discriminitorios en la evaluación del mezcal, también se ha

utilizado para distinguir mezcales de diferentes regiones en función de sus características sensoriales, donde factores como el dulzor, el sabor del agave y el contenido de alcohol desempeñan un papel importante (Delgado-Alvarado, 2018), y en la misma región mexiquense Pérez Reynosa (2018), describe al mezcal de Tenancingo con los atributos piña de agave cocida, miel de abeja, ahumado, herbal, piña miel, caramelo, alcohol, especiado, chiles secos, humedad, cáscara de cítricos y acetona, teniendo relación con los atributos identificados en las cuatro muestras analizadas.

5.5 Conclusión

Los resultados del análisis cuantitativo descriptivo permitieron caracterizar las muestras de destilado de agave mexiquense, identificando atributos sensoriales representativos que lo distinguen como una bebida destilada proveniente del agave con características propias y distintas a las reportadas para otros destilados de agave. En cuanto al aroma, el herbal es el atributo más determinante, para el sabor, los más representativos fueron el sabor a caramelo y el sabor a maguey cocido, así como la densidad y causticidad. en cuanto a las sensaciones trigeminales.

La muestra proveniente de Palmar de Guadalupe es caracterizada principalmente por el sabor a maguey cocido y su alta densidad identificada en boca, la muestra de Colonia Juárez presenta un perfil predominante en el aroma herbal, mientras que el destilado de San José Chalmita se caracteriza por el sabor a maguey cocido, el sabor caramelo y su causticidad, por último, el destilado de Santa Cruz Atempa es identificado como el de mayor causticidad y mayor aroma herbal.

El desarrollo de este estudio contribuye a su caracterización sensorial, proporcionando atributos que permiten identificar las diferencias entre los destilados de agave mexiquense, representando una base para su apreciación y consumo consciente además de sentar bases para futuras investigaciones que permitan resaltar su relevancia cultural y valor tradicional.

5.6 Literatura citada

- Arellano-Plaza, M., Paez-Lerma, J. B., Soto-Cruz, N. O., Kirchmayr, M. R., & Gschaedler Mathis, A. (2022). Mezcal Production in Mexico: Between Tradition and Commercial Exploitation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 832532. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.832532>
- Arroyo-Cruz, C. (2023). Quantitative Descriptive Analysis (QDA) to characterize sensory characteristics of the mead of Pulquero Maguey (Agave salmiana Xamini). *Journal of Quantitative and Statistical Analysis*, 17–26. <https://doi.org/10.35429/jqsa.2023.27.10.17.26>
- Barrera-Rodríguez, A. I., Cuevas-Reyes, V., Espejel-García, A., Barrera-Rodríguez, A. I., Cuevas-Reyes, V., & 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>
- Bleibaum, R. (2020). Descriptive Analysis Testing for Sensory Evaluation Second. <https://www.semanticscholar.org/paper/Descriptive-Analysis-Testing-for-Sensory-Evaluation-Bleibaum/ec923e138e48f0851c0cb3ed76ef821ced60aa53>
- Camacho Vera, J. H., Vargas Canales, J. M., & Durán Ferman, P. (2020). Avatares de la producción de mezcal en la región miahuateca de la Sierra Sur de Oaxaca. *LiminaR Estudios Sociales y Humanísticos*, 19(1), 183–194. <https://doi.org/10.29043/liminar.v19i1.794>
- Ceranic Salinas, T. (2020). Mezcal: When Culture and Consumption Collide. *Proceedings of the International Association for Business and Society*, 31, 120–128. <https://doi.org/10.5840/iabsproc20203112>
- Delgado-Alvarado, A. (2018). Evaluación Sensorial Del Mezcal De La Localidad De Totomochapa, Tlapa De Comonfort, Guerrero, México. *Agro Productividad*, 11(10). <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i10.1249>
- García-Barrón, S. E., Guerrero, L., Vázquez-Elorza, A., & Lazo, O. (2021). What Turns a Product into a Traditional One? *Foods*, 10(6), 1284. <https://doi.org/10.3390/foods10061284>
- González-Ponce, T. D. N. J., Tapia-Rodríguez, M. Z., & Rodríguez-Hernández, G. (2023). Identificación De Descriptores En Mezcales Artesanales Como Herramienta De Apoyo Para Estrategias De Marketing. *Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria de La Universidad de Guanajuato*, 2(2), 27–37. <https://doi.org/10.15174/cia.v2i2.42>
- He, W., & Chung, H. Y. (2019). Comparison between quantitative descriptive analysis and flash profile in profiling the sensory properties of commercial red sufu (Chinese fermented soybean curd). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 3024–3033. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9516>

- Hernández-Montes, A. (2007). Evaluación sensorial de productos agroalimentarios. Universidad Autónoma Chapingo.
- Jaureguí-García, C. Z. (2024). Perfil físico-químico, sensorial y espectroscópico de vino tinto mexicano, valoración económica y conceptualización [Doctorado]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Legaria Solano, J. P., & Vásquez-Maya, M. P. (2024). Phenotypic analysis of mezcal agaves from the Central Valleys of Oaxaca. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i6.2641>
- López Aguilar, R., Hernández Núñez, E., Hernández Montes, A., Zuleta Prada, H., & Herbert Pucheta, J. E. (2024). Differentiation of mezcales from four agave species using FT-MIR and multivariate statistical analysis. *Biotecnia*, 26, 293–305. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2210>
- López-Aguilar, R. (2022). Metabolitos responsables de las propiedades sensoriales en mezcal oaxaqueño [Doctorado]. Universidad Autónoma chAPINGO.
- López-Aguilar, R., Zuleta-Prada, H., Hernández-Montes, A., & Herbert-Pucheta, J. E. (2021). Comparative NMR metabolomics profiling between mexican ancestral & artisanal mezcals and industrialized wines to discriminate geographical origins, agave species or grape varieties and manufacturing processes as a function of their quality attributes. *Foods*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010157>
- Pérez Reynosa, M. N. (2018). Las señales de calidad del mezcal. Caso San José Chalmita, Tenancingo, Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99201>
- Quintero Arenas, M. A., Meza-Márquez, O. G., Velázquez-Hernández, J. L., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2020). Quantification of adulterants in mezcal by means of FT-MIR and FT-NIR spectroscopy coupled to multivariate analysis. *CyTA - Journal of Food*, 18(1), 229–239. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1740327>
- Vera-Guzmán, A., Guzmán-Gerónimo, R., López, M., & Chávez-Servia, J. (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>
- Zook, K. L., & Pearce, J. H. (2018). Quantitative Descriptive Analysis. In *Applied Sensory Analysis of Foods* (pp. 43–71). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781315137681-3>

6. HÁBITOS DE CONSUMO Y VALORIZACIÓN DE DESTILADO DE AGAVE MEXIQUENSE UTILIZANDO EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN DISCRETA

6.1 Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar los atributos que determinan la preferencia en consumo y compra de destilado de agave del estado de México, considerando los hábitos de consumo y significados de compra en una muestra de consumidores del destilado. Se utilizó el método de Experimentos de Elección Discreta (EED) para el cual se crearon 18 tarjetas con combinaciones de 6 atributos (origen, tipo de mezcal, tipo de producción de agave, clasificación de mezcal, distintivo y precio), utilizando un diseño ortogonal. Se aplicó una encuesta a 303 consumidores de destilado mediante Formularios de Google. La encuesta se integró de tres secciones: datos sociodemográficos del consumidor, frecuencia de consumo y elección de alternativas de destilado de agave mexiquense mediante experimentos de elección discreta con 9 combinaciones de las tarjetas obtenidas. Los datos se analizaron mediante un Modelo Logit Multinomial (MNL), resultando significativos 3 atributos; origen, tipo de mezcal y clasificación de mezcal, siendo el destilado ancestral el más determinante en la elección, asimismo, existe mayor preferencia por el destilado de agave proveniente del Estado de México y que sea de clasificación joven. Estos datos son útiles para generar estrategias que ayuden a revalorizar al destilado de agave mexiquense.

Palabras clave: Experimentos de elección discreta, Modelo Logit Multinomial, agave mexiquense, valoración económica.

CONSUMPTION HABITS AND VALUATION OF MEXIQUENSE AGAVE DISTILLATE USING DISCRETE CHOICE EXPERIMENTS

Abstract

This study aimed to identify the attributes that determine preferences in the consumption and purchase of agave distillate from the State of Mexico, considering consumption habits and purchase meanings among a sample of distillate consumers. The Discrete Choice Experiments (DCE) method was employed, creating eighteen cards with combinations of six attributes (origin, type of mezcal, type of agave production, mezcal classification, distinctive feature, and price) using an orthogonal design. A survey was conducted with 303 distillate consumers via Google Forms. The survey included three sections: sociodemographic data of the consumer, frequency of consumption, and choice of alternatives for Mexiquense agave distillate through discrete choice experiments featuring nine combinations of the cards created. The data were analyzed using a Multinomial Logit Model (MNL), revealing three significant attributes: origin, type of mezcal, and mezcal classification, with ancestral distillate being the most influential in the choice. Additionally, there is a stronger preference for agave distillate from the State of Mexico, which is classified as joven. This data is valuable for developing strategies to enhance the value of Mexiquense agave distillate.

Keywords: Discrete choice experiments, Multinomial Logit Model, Mexiquense agave, economic valuation.

6.2 Introducción

En México, el consumo de bebidas alcohólicas va en aumento entre la población mayor de 20 años, según datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, el consumo de bebidas alcohólicas se incrementó del 51.8 % al 55.5% respecto al registrado en el año 2021 (Ramírez-Toscano et al., 2023). En cuanto a ventas, la cerveza es la bebida que lidera el mercado con el 66.5% dejando a las bebidas destiladas con el 25.6%, incluyéndose en este grupo tequila, mezcal, whisky, ron, brandy y coñac (Seale & Associates, 2018).

De acuerdo con datos del Consejo Mexicano Regulador del Mezcal (2023) el mezcal ha tenido un aumento considerable en su producción, distribución y comercialización durante los últimos años, pasando de una producción de 2,419,175 litros en el 2015 a 8,099,591 litros en 2021 de los cuales 3,684,458 litros fueron envasados y destinados al mercado nacional y 5,102,520 litros fueron envasados y destinados al mercado de exportación, siendo el estado de Oaxaca el que mantiene el 85.4% de la producción nacional y Zacatecas el segundo mayor productor con tan solo el 5.7%.

Los métodos de preferencia declarada son herramientas que se utilizan para investigar el comportamiento de los consumidores, se basan en encuestas para conocer la disposición a pagar y preferencias a través de un mercado hipotético (Melo Guerrero et al., 2020). Dentro de estas metodologías se encuentran los Experimentos de Elección Discreta (EED) que han sido utilizados ampliamente para evaluar las preferencias de los consumidores y comprender su toma de decisiones (Lizin et al., 2022). Esta técnica permite descomponer el valor total de un producto en el valor de cada uno de sus atributos (Melo Guerrero et al., 2020), su base teórica se centra en la teoría de la utilidad aleatoria, aunque se han propuesto algunas otras alternativas como la minimización del arrepentimiento (Koemle & Yu, 2020).

Los puntos clave en la implementación de los EED son la preparación de cuestionarios, aplicación de encuestas y el análisis económico (Chèze et al., 2021), lo que permite analizar la relación entre los intercambios realizados al elegir entre distintas alternativas de un producto, especialmente si se habla de atributos de credibilidad o autenticidad (Lizin et al., 2022), esto implica presentar a los encuestados una serie de opciones en la que se debe seleccionar una alternativa que es preferida (Weber, 2021), brindando valiosa información sobre evaluaciones económicas y decisiones que pueden tomar relevancia en contextos ambientales, económicos y alimentarios.

Esta metodología ha sido aplicada ampliamente en estudios de consumidores durante los últimos años, en el caso de bebidas alcohólicas se ha aplicado en 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) y mezcales. En Guadalajara, Fernández Ocegueda et al. (2016) encontraron que los atributos con mayor influencia en los consumidores son los que tienen que ver con la calidad, tales como contar con notas de agave cocido y poseer gran diversidad de notas aromáticas. Además de brindar mayor confianza cuando se cuenta con alguna certificación o premio. Por otra parte, Barrera-Rodríguez et al. (2019) mencionan que cuando un grupo de la población con alto nivel educativo y de ingresos tiene una mayor disposición a pagar, se asocia con el hecho de contar con mayor conocimiento sobre categorías y clases existentes y que los factores de valoración que más importan al momento de decidir la compra son los relacionados con los saberes y procesos desarrollados en cada región que aportan aromas y sabores únicos a cada destilado de agave.

De la misma forma, López Rosas et al. (2020), en su estudio realizado en Oaxaca identificó que el consumidor considera como referencia características como origen, saber-hacer e identidad cultural para decidir la compra y describe que se observa un patrón de consumo respetuoso con los criterios de calidad originales de los pueblos mezcaleros, Asimismo define cuatro tipos de consumidores de

mezcal consumidor tradicional; que prioriza los mezcales elaborados con procesos tradicionales y apegadas a las características originales de cada región; consumidor vinculado al territorio, el cual reconoce el valor cultural de esta bebida y prioriza que su origen sea de Oaxaca sobre mezcales procedentes de otros estados; consumidor en transición (inseguro) al cual le es indiferente la mayoría de atributos mencionados anteriormente pero busca cerciorarse de la calidad del producto poniendo mayor atención a que cuente con Denominación de Origen, que estén debidamente envasados, etiquetados o adquiridos en lugares de confianza y por último, los consumidores sociales, que se caracterizan porque le es indiferente beber mezcal o cualquier otra bebida alcohólica, prioriza la economía y la búsqueda de mezcales saborizados.

La Disposición a Pagar (DAP) es la relación entre la utilidad marginal del atributo y la utilidad marginal del ingreso, este último es el negativo de la utilidad marginal del costo (McFadden, 1981). Esto se realiza incluyendo un atributo de costo en los atributos de las alternativas de las encuestas, siendo útil para el análisis de costo-beneficio (Cantillo et al., 2020).

En un estudio realizado en Guanajuato, se estimó la disposición a pagar por un mezcal añejo elaborado de Agave salmiana con un método tradicional, en donde el 58.4% de las personas participantes estuvieron dispuestas a pagar un sobreprecio del 37.34% por el producto diferenciado (Cervantes Luna et al., 2020).

La alta demanda de mezcales y el interés por conocer destilados de agave procedentes de lugares no pertenecientes a la Denominación de Origen Mezcal (DOM) representa oportunidades para que los productores puedan competir en un mercado cada vez más creciente. El destilado de agave mexiquense se produce a partir de maguey criollo, cultivado y silvestre, elaborado de forma artesanal (Pérez Reynosa, 2018) y con evidencias tangibles e intangibles de que el proceso de elaboración es ancestral (Reza, 2023), además de contar con características endémicas que lo diferencian. De acuerdo con Antonelli & Viganò (2018), los consumidores tienen un concepto positivo de los productos

tradicionales al ser vinculados con características como saludables, alta calidad, con herencia cultural y regional, mayor valor nutrimental, entre otras. Por lo tanto, identificar las preferencias de un grupo de consumidores ayudará a determinar cuáles son los atributos considerados como relevantes para consumir algún destilado de agave de la región sur del estado de México, esto permitirá obtener información útil para los productores de esta bebida de la región y determinar un mercado potencial para este producto y así revalorizar su tradición líquida.

6.3 Materiales y métodos

Objeto de estudio

Se utilizó el valor de la varianza máxima según Martínez-García & Martínez-Caro (2008) con 95% de confiabilidad y 7% de margen de error para validar el número de encuestados reclutados, por lo que se aplicó una encuesta a 303 consumidores de bebidas destiladas de agave mediante la plataforma de Formularios de Google. Los interesados fueron contactados mediante redes sociales y los criterios de selección fueron: edad mayor a 18 años, consumidores de bebidas destiladas de agave y disposición a participar en el estudio.

La encuesta se conformó de tres secciones:

- 1) datos sociodemográficos del consumidor, considerando; edad, lugar de residencia, género, estado civil, nivel de estudios, ocupación e ingreso mensual,
- 2) frecuencia de consumo y
- 3) elección de alternativas de destilado de agave mexiquense mediante EED.

Selección de atributos y diseño del Experimento de Elección Discreta

La selección de atributos se realizó basándose en una revisión bibliográfica y mediante la conformación de un panel de experto y el acercamiento a las comunidades productoras para determinar mediante un diagnóstico los usos y costumbres relacionados a esta actividad y su consumo. En este sentido, la palabra mezcal viene de las palabras náhuatl metl (maguey) e ixcalli (horneado) por lo que se entiende como maguey cocido o tatemado y es un nombre genérico que se aplica a las bebidas destiladas elaboradas con agave producidos en

México, de acuerdo con esto, se definió utilizar para este estudio la palabra mezcal ya que de forma tradicional y colectiva en la región así se le llama al destilado de agave incluso antes de ser designada la DO mezcal en 1994 (Garcés Estrada et al., 2021) a pesar de que actualmente la inclusión del estado de México a la DOM sigue sin poder usarse comercialmente.

Después de esta consideración se definieron como atributos; el origen (región en dónde se elaboró el mezcal), tipo de mezcal (clasificación de acuerdo con su proceso de elaboración), clasificación de mezcal, tipo de producción de maguey (origen del maguey empleado para elaboración de mezcal), clasificación de mezcal (clasificación de acuerdo con procesos después de la segunda destilación de mezcal), protección jurídico-económica (protección legal que garantiza la autenticación geográfica del mezcal) y precio (costo por botella de 750 ml.)

Los atributos y niveles se muestran en el Cuadro 13. Los niveles para tipo de mezcal y clasificación de mezcal se seleccionaron con base en los usos y costumbres aplicables en la región sur del estado de México respecto a lo que se establece la NOM-070-SCFI-2016.

Cuadro 15. Atributos y niveles del EED.

Atributo	Nivel
Origen	Estado de México
	Puebla
	Guerrero
Tipo de mezcal	Ancestral
	Artesanal
	Industrial
Tipo de producción de agave	Silvestre
	Cultivado
Clasificación de mezcal	Joven
	Abocado
	Madurado en vidrio
Protección jurídico-económica	Indicación geográfica
	Denominación de origen
	Marca colectiva
Precio por botella de 750ml	450
	520
	600

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los atributos y niveles definidos resultaron 486 combinaciones posibles (3x3x2x3x3x3), lo que se considera improbable, por lo que el experimento se constituyó con 18 tarjetas de simulación, las cuales fueron obtenidas mediante un Diseño Factorial Fraccionado empleando el software IBM SPSS Statistics. Las tarjetas fueron agrupadas en parejas de forma aleatoria con la finalidad de obtener nueve conjuntos que fueron presentados a cada consumidor, en donde se incluyó una opción constante o estatus quo (no compraría ninguno de estos mezcales), como se muestra en la Figura 8.

Opción A



Tipo: **Mezcal artesanal**

Origen: **Estado de México**

Tipo de agave: **Silvestre**

Clasificación: **Mezcal madurado en vidrio**

Protección: **Indicación Geográfica Protegida**

Costo: **\$600.00**

Opción B



Tipo: **Mezcal industrial**

Origen: **Guerrero**

Tipo de agave: **Silvestre**

Clasificación: **Mezcal madurado en vidrio**

Protección: **Denominación de Origen Protegida**

Costo: **\$450.00**

☐

 Opción A

☐

 Opción B

☐

 No compraría ninguno de estos mezcales

Figura 8. Ejemplo de tarjeta de elección para EED.

Fuente: Elaboración propia

Análisis estadístico

Para analizar las respuestas del EED se usó el Modelo Logit Multinomial el cual se basa en la teoría de la utilidad aleatoria (McFadden, 1974). En donde la utilidad que el encuestado i deriva de elegir la alternativa j en el escenario de elección s está dada por:

$$U_{isj} = V_{isj} + \varepsilon_{isj}; \quad i = 1, \dots, N; \quad s = 1, \dots, S; \quad j = 1, \dots, J;$$

donde hay N tomadores de decisiones que eligen entre j alternativas en s escenarios. V_{isj} es el componente de la utilidad determinado de elegir la alternativa j, y ε_{isj} es un elemento de error que representa influencias no observables en la elección individual (Farreras & Mavsar, 2012).

Según Lancsar et al. (2017) tenemos datos $y_{is} = j$ que provienen de la elección discreta y que se vinculan con la utilidad asociada con todas las demás alternativas en el conjunto de elección, de acuerdo con esto la probabilidad de elegir la alternativa j se modela de la siguiente manera:

$$P_{isj} = \text{Prob}(y_{is} = j) = \text{Prob}(U_{isj} - U_{isl} > 0) \quad \forall l \neq j$$

Para la Disposición a pagar (DAP) se considera que Z_a es el atributo a de la alternativa i, y V_{ij} es la utilidad estimada de la alternativa i; por lo que la DAP por un cambio en el atributo Z_a está dada por: Alpizar Rodriguez et al. (2001); Mamani et al. (2011).

$$DAPMg_a = \frac{\partial V_{ij} / \partial Z_a}{\partial V_{ij} / \partial COSTO} = - \frac{\beta_a}{\gamma}$$

La estimación del modelo Logit Multinomial se llevó a cabo con el programa estadístico XLSTAT® versión 2019 2.2.

6.4 Resultados y discusión

Características sociodemográficas

De acuerdo con las respuestas recibidas, en el Cuadro 14 se muestran las frecuencias y porcentajes de las características sociodemográficas de los encuestados, la mayoría de los consumidores que respondieron son hombres, el rango de edad de los encuestados es de 31 a 50 años con el 54.5%, el estado de México es el lugar de residencia de donde se recibieron mayor número de

respuestas con el 67.3%, también la mayoría de los consumidores cuentan con un nivel de estudios superior. El mayor porcentaje de ocupación de los participantes está entre ser empleado y trabajar por su cuenta, mientras que en el ingreso se muestran porcentajes similares entre los rangos de \$10,001.00 a \$15,000.00 y Mayor a \$20,000.00.

Cuadro 16. Características socioeconómicas de los participantes (n=303).

Variable	Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Edad	18 – 30	108	35.6%
	31 – 50	165	54.5%
	> 51	30	9.9%
Lugar de residencia	estado de México	204	67.3%
	CDMX	37	12.2%
	Oaxaca	17	5.6%
	Otros Estados	38	12.5%
	Estados Unidos de América	7	2.3%
Género	Masculino	161	53.1%
	Femenino	140	46.2%
	Prefiero no decirlo	2	0.7%
Estado civil	Casado	100	33.0%
	Soltero	182	60.1%
	Otro	21	6.9%
Nivel de estudios	Básica	2	0.7%
	Media superior	17	5.6%
	Superior	284	93.7%
Ocupación	Trabaja por su cuenta	110	36.3%
	Empleado	133	43.9%
	Labores del hogar	4	1.3%
	Estudiante	47	15.5%
	Sin trabajo	9	3.0%
Ingreso mensual	Menor a \$5,000.00	25	8.3%
	\$5,001.00 a \$10,000.00	70	23.1%
	\$10,001.00 a \$15,000.00	76	25.1%
	\$15,001.00 a \$20,000.00	54	17.8%
	Mayor a \$20,000.00	78	25.7%

Fuente: Elaboración propia

Hábitos de consumo y compra por características sociodemográficas

Los hábitos de consumo considerando las características sociodemográficas se muestran en el Cuadro 15, se observa que la mayoría de los encuestados consumen de 0 a 1 litro de mezcal al mes, en este sentido el mayor consumo está dado por el rango de edad entre 31 a 50 años con una educación de nivel superior y un ingreso entre \$10,001.00 a \$15,000.00, analizando el género las mujeres tienen la mayoría de este consumo, pero con un porcentaje muy similar al de los hombres encuestados. Siendo distinto para el caso del consumo de 2 a 4 litros en donde los hombres triplican el porcentaje de consumo respecto al de las mujeres, y en el caso del consumo de más de 5 litros de mezcal al mes, sólo personas del género masculino declararon encontrarse en este estrato.

Cuadro 17. Hábitos de consumo por características sociodemográficas.

Atributo	Nivel	0 a 1 litro de mezcal		2 a 4 litros de mezcal		Más de 5 litros de mezcal	
		Frec	%	Frec	%	Frec	%
Edad	18 - 30	95	31.40%	12	4%	1	0%
	31 - 50	122	40.30%	38	13%	5	2%
	> 51	24	7.90%	5	2%	1	0%
Género	Masculino	114	37.60%	40	13%	7	2%
	Femenino	127	41.90%	13	4%	0	0%
	Prefiero no decirlo	0	0.00%	2	1%	0	0%
Nivel de estudios	Básica	1	0.30%	0	0%	1	0%
	Media superior	12	4.00%	4	1%	1	0%
	Superior	228	75.20%	51	17%	5	2%
Ingreso mensual	Menor a \$5,000.00	23	7.60%	2	1%	0	0%
	\$5,001.00 a \$10,000.00	58	19.10%	10	3%	2	1%
	\$10,001.00 a \$15,000.00	62	20.50%	13	4%	1	0%
	\$15,001.00 a \$20,000.00	43	14.20%	11	4%	0	0%
	Mayor a \$20,000.00	55	18.20%	19	6%	4	1%

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el hábito de compra, se muestran los resultados en el Cuadro 16, en dónde se observa una relación positiva con los hábitos de consumo, ya que el rango de compra de 0 a 1 botella al mes obtuvo el mayor porcentaje de los participantes, las mujeres representan el 38% similar al del género masculino

con el 34% de los encuestados, obteniendo también que gran parte de los encuestados indican realizar este rango de compra cuando se tiene una educación superior, con un rango de edad de los 31 a 50 años y también con un ingreso de \$10,001.00 a \$15,000.00. Al igual que en los hábitos de consumo se observa que los hombres son consumidores por volúmen, al declarar que el 3% de los encuestados compran más de 9 botellas al mes.

Se encontró que los consumidores compran el mezcal directamente del productor en un 48.8%, seguido de comprarlo en una tienda de vinos y licores, con un comercializador y finalmente en un centro comercial con el 24.8%, 17.8% y el 8.6% respectivamente.

Cuadro 18. Hábitos de consumo por características sociodemográficas.

Atributo	Nivel	0 a 1 botella de mezcal		2 a 4 botellas de mezcal		5 a 9 botellas de mezcal		Más de 9 botellas de mezcal	
		Frec.	%	Frec.	%	Frec.	%	Frec.	%
Edad	18 - 30	88	29%	17	6%	2	1%	1	0%
	31 - 50	110	36%	42	14%	7	2%	6	2%
	> 51	20	7%	7	2%	1	0%	2	1%
Género	Masculino	103	34%	42	14%	7	2%	9	3%
	Femenino	115	38%	23	8%	2	1%	0	0%
	Prefiero no decirlo	0	0%	1	0%	1	0%	0	0%
Nivel de estudios	Básica	1	0%	0	0%	0	0%	1	0%
	Media superior	9	3%	6	2%	2	1%	0	0%
	Superior	208	69%	60	20%	8	3%	8	3%
Ingreso mensual	Menor a \$5,000.00	22	7%	3	1%	0	0%	0	0%
	\$5,001.00 a \$10,000.00	53	17%	15	5%	1	0%	1	0%
	\$10,001.00 a \$15,000.00	61	20%	13	4%	2	1%	0	0%
	\$15,001.00 a \$20,000.00	40	13%	9	3%	3	1%	2	1%
	Mayor a \$20,000.00	42	14%	26	9%	4	1%	6	2%

Fuente: Elaboración propia

Para conocer los resultados de los experimentos de los EED se estimó la probabilidad de elección con base a un modelo Logit Multinomial, en este modelo la estimación de parámetros se realiza utilizando métodos de máxima

verosimilitud, y el ajuste del modelo utilizando medidas pseudo R^2 y tablas de clasificación.

El modelo obtuvo un valor R^2 de McFadden de 0.199 y se descartaron las variables Tipo industrial, Agave cultivado, Mezcal madurado en vidrio, Marca Colectiva y el precio de \$600 pesos mexicanos debido a que presentan multicolinealidad. Los atributos resultantes que se muestran en el Cuadro 17 presentan coeficientes distintos a 0 por lo que se consideran influyen en la decisión de elección de un mezcal por el consumidor.

En cuanto al origen, los tres estados analizados en los niveles son significativos, sin embargo, el destilado del estado de México es mayormente preferido debido a que presenta un coeficiente mayor y positivo. En cuanto al tipo de mezcal, es significativo el mezcal elaborado por un proceso ancestral y artesanal, siendo el proceso ancestral quien sugiere una mayor preferencia, asimismo el mezcal joven es el único nivel en la categoría de mezcal que es significativo y que se sugiere como una característica importante para la elección de un mezcal.

En cuanto al tipo de agave utilizado para la producción de mezcal, solo el agave silvestre pudo tomarse en cuenta de acuerdo a que no presenta multicolinealidad, sin embargo, no es significativo para la toma de decisión, de igual forma es con el atributo mezcal Abocado con fruta, Indicación geográfica, Denominación de origen y el precio de \$450 y \$520.

Respecto a la DAP, aunque no resultaron los precios significativos para el MNL, se estimó con el nivel \$450, ya que es el valor mayor entre los dos niveles de precio, resultando que en cuanto al origen existe una mayor disposición a pagar por un mezcal que sea del estado de México respecto de Guerrero y Puebla, se dispone de pagar un sobreprecio de 17.28 y de 14.05 cuando el destilado es elaborado de forma ancestral y artesanal respectivamente y además un 4.48 de disposición a pagar si el destilado es joven.

Cuadro 19. Parámetros del modelo y coeficientes estandarizados resultantes del MNL.

Variable		Parámetro	Error estándar	Coeficiente estandarizado	Error estándar	Chi-cuadrado de Wald	Pr > Chi²	DAP
Origen	Intercepción	-2.423	0.383			39.949	< 0.0001	
	Estado de México	1.630	0.128	0.373	0.029	161.960	< 0.0001	18.17
	Puebla	0.947	0.128	0.217	0.029	54.949	< 0.0001	10.56
	Guerrero	1.392	0.130	0.319	0.030	114.180	< 0.0001	15.53
Tipo de mezcal	Ancestral	1.550	0.074	0.355	0.017	442.797	< 0.0001	17.28
	Artesanal	1.260	0.073	0.289	0.017	299.558	< 0.0001	14.05
Tipo de producción de agave	Silvestre	-0.029	0.063	-0.008	0.017	0.211	0.646	-0.38
Clasificación de mezcal	Joven	0.434	0.073	0.099	0.017	35.693	< 0.0001	4.84
	Abocado	-0.139	0.070	-0.032	0.016	3.919	0.048	-1.55
Protección jurídico-económica	IG	-0.141	0.071	-0.032	0.016	3.917	0.048	-1.57
	DO	0.027	0.071	0.006	0.016	0.141	0.707	0.30
Precio por botella de 750 ml	450	-0.090	0.072	-0.021	0.016	1.557	0.212	-1.00
	520	-0.102	0.072	-0.023	0.016	2.023	0.155	-1.13

Significancia estadística 5%

Fuente: Elaboración propia

6.5 Conclusión

Los resultados de este estudio muestran las preferencias que los consumidores tienen al momento de elegir una bebida destilada de agave, resultando significativos 3 atributos; origen, tipo de mezcal y clasificación de mezcal. De acuerdo con esto, el tipo de mezcal ancestral fue el más determinante para hacer la elección, sin embargo, también existe una disposición a pagar por el proceso artesanal, asimismo, existe mayor preferencia por el destilado de agave mexiquense respecto a los estados elegidos.

El distintivo de protección para este producto resultó ser no significativo, sin embargo, la Indicación Geográfica y la Denominación de Origen presentan números positivos, por lo que se supondría es un atributo para considerar, pero debido a que el 67.3% de consumidores encuestados son provenientes del estado de México y al no existir ningún distintivo de este tipo actualmente en la región, se desconoce su uso y aplicación. De la misma forma, las características socioeconómicas resultaron no ser influyentes para la preferencia de alguna bebida destilada de agave.

Con estos resultados se pueden generar estrategias específicas para mantener y/o modificar algunos aspectos sobre la producción del destilado de agave mexiquense, en concreto para retomar las prácticas ancestrales de elaboración de esta bebida destilada de la región que se han ido transformando con el paso del tiempo.

6.6 Literatura citada

- Alpizar Rodríguez, F., Carlsson, F., Martinsson, P., Alpizar Rodríguez, F., Carlsson, F., & Martinsson, P. (2001). Using Choice Experiments for Non-Market Valuation. <https://econpapers.repec.org/paper/hhsgunwpe/0052.htm>
- Antonelli, G., & 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>
- Barrera-Rodríguez, A. I., Cuevas-Reyes, V., Espejel-García, A., Barrera-Rodríguez, A. I., Cuevas-Reyes, V., & 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>

Cantillo, J., Martín, J. C., & 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 Luna, J. O., Melo Guerrero, E., Hernandez ortiz, J., Valdivia alcala, R., Sandoval Romero, F., & Gonzalez Juarez, A. (2020). Disposición a pagar por mezcal añejo en San Felipe, Guanajuato, México. *Acta Universitaria*, 30, 1–11. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2887>

Chèze, B., Collet, C., & Paris, A. (2021). Estimating discrete choice experiments: theoretical fundamentals. <https://hal.science/hal-03262187/>

Consejo Mexicano Regulador del Mezcal. (2023). INFORME ESTADÍSTICO. https://comercam-dom.org.mx/wp-content/uploads/2023/05/INFORME-2023_PUBLICO.pdf

Corsi, A. M., Lockshin, L., Louviere, J., Cohen, J., & 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>

Farreras, V., & Mavsar, R. (2012). Burned forest area or dead trees? A discrete choice experiment for Catalan citizens. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 12(2), 137–153. <https://doi.org/10.7201/earn.2012.02.06>

Fernández Ocegueda, J. L., Vázquez Ávila, G., & Ortega Novoa, A. (2016). Estrategias de marketing para el posicionamiento de mezcales en Guadalajara con base en los estilos del consumidor. *Repositorio De La Red Internacional De Investigadores En Competitividad*, 9(1), 1–19.
<https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/1>

Garcés Estrada, W. E., Avitia Rodríguez, J. A., & Ramírez Hernández, J. J. (2021). Determinación del perfil del consumidor y evaluación de atributos intrínsecos y extrínsecos del destilado de agave del sur del Estado de México. En P. Wong Gonzalez, J. E. Isaac Eguirrola, E. R. Morales García de Alba, & A. Treviño Aldape (Eds.), *La dimensión global de las regiones y sus configuraciones económicas y urbanas: Vol. II*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional. Colección: Recuperación transformadora de los territorios con equidad y sostenibilidad.
<https://ru.iiec.unam.mx/5472/>

Gonçalves, T., Pinto, L. M. C., & 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>
- Koemle, D., & Yu, X. (2020). Choice experiments in non-market value analysis: some methodological issues. *Forestry Economics Review*, 2(1), 3–31.
<https://doi.org/10.1108/FER-04-2020-0005>
- Lancsar, E., Fiebig, D. G., & Hole, A. R. (2017). *Discrete Choice Experiments: A Guide to Model Specification, Estimation and Software*. *PharmacoEconomics*, 35(7), 697–716. <https://doi.org/10.1007/s40273-017-0506-4>
- Lizin, S., Rousseau, S., Kessels, R., Meulders, M., Pepermans, G., Speelman, S., Vandebroek, M., Van Den Broeck, G., Van Loo, E. J., & Verbeke, W. (2022). The state of the art of discrete choice experiments in food research. *Food Quality and Preference*, 102, 104678.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104678>
- López Rosas, C., Espinoza-Ortega, A., & Amaya Corchuelo, S. (2020). El mezcal como activo patrimonial y el papel del consumidor en su preservación. *Patrimonio Cultural de Oaxaca: investigaciones recientes*.
<https://rodin.uca.es/handle/10498/24476>
- Mamani, J. W. T., Damián, M. Á. M., Alcalá, R. V., Lozano, J. L. R., Vázquez, M. P., & González, R. V. R. (2011). VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BENEFICIOS DE UN PROGRAMA DE RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL MOLINO DE FLORES, MÉXICO. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2), 231–244. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62919277006>
- Martínez-García, J. A., & Martínez-Caro, L. (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. *Psicothema*, 20, 311–316.
<https://portalinvestigacion.upct.es/documentos/619841620b326e3bf3eb0a06?lang=eu>
- McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. *Frontiers in econometrics*.
- Melo Guerrero, E., Rodríguez Laguna, R., Martínez Damián, M. Á., Hernández Ortiz, J., & 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>
- Pablo-Cano, M., Espejel-García, A., Hernández-Montes, A., & 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., & 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>
- Pérez Reynosa, M. N. (2018). Las señales de calidad del mezcal. Caso San José Chalmita, Tenancingo, Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99201>
- Ramírez-Toscano, Y., Canto-Osorio, F., Carnalla, M., Colchero, M. A., Reynales-Shigematsu, L. M., Barrientos-Gutiérrez, T., & 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>
- Reza, A. (2023). Historia de vida de los maestros mezcaleros en Palmar de Guadalupe, Malinalco. En P. Mercado Salgado & F. Herrera Tapia (Eds.), *Agave y Mezcal. Entre la tradición y la denominación de origen*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). UAEMex. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/138672>
- Seale & Associates. (2018). INDUSTRIA DE LAS BEBIDAS ALCOHÓLICAS EN MÉXICO. <http://mnamexico.com/wp-content/uploads/2018/08/Bebidas-alcoholicas-México-Final.pdf>
- Tait, P., Saunders, C., Dalziel, P., Rutherford, P., Driver, T., & 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>
- 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>
- Zapata-Morán, I., López-Feldman, A., & Bejarano, H. (2024). Tequila, bats, and agave farmers: towards an understanding of the right incentives to protect genetic diversity. *Environmental Research Communications*, 6(1). <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad19f4>

7. CONCLUSIONES GENERALES

El estudio realizado permitió la caracterización del destilado de agave mexiquense, revelando información crucial sobre la identidad y calidad de este producto. A través de las metodologías empleadas, se ha demostrado que el destilado de agave de la región mexiquense posee atributos únicos que lo diferencian de otros destilados de agave en México.

Se determinaron morfológicamente dos grupos de especies de agave utilizadas en la producción que no pertenecen al grupo de *A. angustifolia* Haw., de este modo se pudieron caracterizar fenotípicamente los agaves utilizados en cada una de las comunidades que formaron parte de este trabajo. Esto indica que la diversidad de plantas es compleja y requiere estudios específicos para la determinación exacta de las especies endémicas del estado de México, sin embargo, con los resultados de esta exploración se contribuye a la identificación y diferenciación de la complejidad entre especies de agave regionales.

El análisis cromatográfico confirma que el destilado cumple con estándares de calidad que lo pueden posicionar favorablemente en el mercado nacional e internacional, esto se establece al encontrar compuestos volátiles en las muestras mexiquenses igual que destilados o mezcales de distintas regiones de México, incluso reportando compuestos (dietilacetal, 1,1-dietoxi Pentano, 5-metil-2-furancarboxaldehído y benzofurano) que no se señalan en otros destilados similares, lo que interfiere en la generación de una tipicidad regional.

De acuerdo con los resultados del Análisis Cuantitativo Descriptivo se pudieron determinar cinco descriptores (aroma herbal, sabor caramelo, sabor a maguey cocido, densidad/Cuerpo, causticidad) que permiten diferenciar las muestras de

destilado mexiquense de acuerdo con su región, proceso y materia prima utilizadas.

Asimismo, los consumidores han determinado que existe una valoración económica mayor por las bebidas destiladas de agave que provienen del Estado de México, respecto a las de Puebla y Guerrero, además de valorar más los destilados blancos o jóvenes y de producción ancestral, esto se pudo determinar gracias a la aplicación de experimentos de elección discreta.

Tomando en cuenta estos hallazgos, la implementación de una Indicación Geográfica para el destilado de agave mexiquense no solo protegería su autenticidad, sino que también brindaría beneficios económicos a los productores locales. Esto podría resultar en un mayor reconocimiento y valorización del producto, fomentando el turismo y el desarrollo regional.

Finalmente, el destilado de agave mexiquense representa un patrimonio cultural y una oportunidad económica significativa, la caracterización y autenticidad de este producto deben ser promovidas y protegidas, asegurando así su legado para futuras generaciones. De igual modo, es importante fomentar estudios adicionales para explorar aún más las propiedades del destilado y su potencial en mercados internacionales, además, es importante reconocer que es necesario establecer vínculos entre productores, investigadores y entidades gubernamentales para fortalecer la cadena de valor del destilado de agave mexiquense.