



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

AGROINDUSTRIAL

POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**PERFIL METABOLÓMICO, SENSORIAL Y ECONÓMICO DE
RAICILLAS PARA DISCRIMINAR ORIGEN GEOGRÁFICO,
ESPECIE Y PROCESO**

TESIS

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

DOCTOR EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

Presenta:

M.C. MAGDIEL PABLO CANO

Bajo la supervisión de: ANASTACIO ESPEJEL GARCÍA, DR.



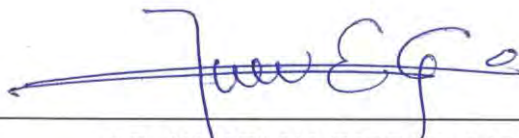
Chapingo, Estado de México, abril de 2026.

**PERFIL METABOLÓMICO, SENSORIAL Y ECONÓMICO DE RAICILLAS PARA
DISCRIMINAR ORIGEN GEOGRÁFICO, ESPECIE Y PROCESO**

Tesis realizada por **Magdiel Pablo Cano** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

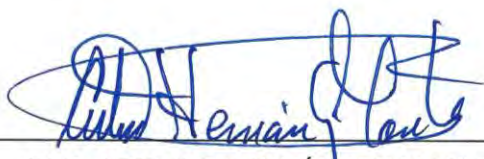
DOCTOR EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

DIRECTOR:



DR. ANASTACIO ESPEJEL GARCÍA

ASESOR:



PhD. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES

ASESOR:



DRA. LANDY HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

LECTOR EXTERNO:



DR. AARÓN FERNANDO GONZÁLEZ CÓRDOVA

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
AGRADECIMIENTOS.....	xii
DEDICATORIA	xiii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xiv
RESUMEN GENERAL	xv
GENERAL ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Justificación	4
1.2. Objetivo general.....	5
1.3. Objetivos particulares	5
1.4. Hipótesis	6
1.5. Estructura de la tesis	7
1.6. Bibliografía.....	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1. Marco teórico	11
2.1.1. Alimentos y bebidas tradicionales	11
2.1.2. Protección jurídico-económica	12
2.1.3. Evaluación sensorial	14
<i>Análisis descriptivo cuantitativo (QDA)</i>	15
2.1.4. Análisis espectroscópicos y cromatográficos	16
<i>Espectroscopía de infrarrojo (IR)</i>	17
<i>Cromatografía de gases acoplado a espectroscopía de masas (GC-MS)</i> .	18
2.1.5. Análisis de ciclo de vida en bebidas destiladas.....	18
2.1.6. Valoración económica	20
<i>Experimentos de elección discreta (EED)</i>	22

2.1.7. Procesos cognitivos	22
<i>Influencia de los procesos cognitivos (Top-down y Bottom-up) en la elección de alimentos</i>	23
<i>Emociones en el consumo de alimentos</i>	25
2.2. Marco de referencia.....	26
2.2.1. Raicilla.....	26
2.2.2. Composición fisicoquímica.....	27
2.2.3. Producción y comercialización de raicilla.....	27
2.3. Bibliografía.....	28
3. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y SENSORIAL DE RAICILLAS PARA DISCRIMINAR ESPECIES DE AGAVE, ORÍGENES GEOGRÁFICOS Y PROCESOS DE MANUFACTURA	37
RESUMEN.....	37
ABSTRACT	38
3.1. Introducción	39
3.2. Materiales y métodos.....	41
3.2.1. Muestras de raicillas.....	41
3.2.2. Análisis fisicoquímico	42
3.2.3. Determinación de compuestos volátiles	45
3.2.4. Análisis sensorial.....	46
3.2.5. Análisis estadístico	51
3.3. Resultados y discusión	53
3.3.1. Variables fisicoquímicas de raicillas	53
3.3.2. Compuestos volátiles mayoritarios.....	56
3.3.3. Análisis descriptivo cuantitativo y aceptabilidad global	58
3.3.4. Relación entre variables fisicoquímicas y sensoriales.....	65
3.4. Conclusiones	69
3.5. Bibliografía.....	70
4. IDENTIFICACIÓN QUIMIOMÉTRICA DE LA RAICILLA, UNA BEBIDA DESTILADA TRADICIONAL MEXICANA, MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO Y CROMATOGRAFÍA DE GASES.....	75
RESUMEN.....	75

ABSTRACT	76
4.1. Introducción	77
4.2. Materiales y métodos.....	79
4.2.1. Muestras de raicilla	79
4.2.2. Refractometría: grados Brix (°Bx) y el índice de refracción (nD)...	80
4.2.3. Espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR).....	81
4.2.4. Contenido alcohólico por FT-NIR	81
4.2.5. Identificación de compuestos volátiles	81
4.2.6. Pre-procesamiento y análisis estadístico	83
<i>Variables fisicoquímicas (°Bx, nD y % Alc. Vol.)</i>	83
<i>Espectroscopía FT-NIR</i>	83
<i>Compuestos volátiles por HS-SPME-GC-MS</i>	84
4.3. Resultados y discusión	84
4.3.1. Grados Brix, índice de refracción y contenido alcohólico	84
4.3.2. Espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR).....	86
<i>Modelo de clasificación basado en especie de agave</i>	88
<i>Modelo de clasificación basado en región de origen de producción</i>	90
<i>Modelo de clasificación basado en proceso de manufactura</i>	92
4.3.3. Identificación de compuestos volátiles por GC-MS mediante HS-SPME	94
<i>Modelo de clasificación basado en especie de agave</i>	95
<i>Modelo de clasificación basado en región de origen de producción</i>	101
4.4. Conclusiones	107
4.5. Bibliografía.....	108
5. PERFIL AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE RAICILLA EN MÉXICO: UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	113
RESUMEN.....	113
ABSTRACT	114
5.1. Introducción	115
5.2. Materiales y métodos.....	117
5.2.1. Definición de objetivo y alcance	117

5.2.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)	120
5.3. Resultados y discusión	124
5.3.1. Resultados de la evaluación de impacto	124
5.3.2. Interpretación	125
5.4. Conclusiones	131
5.5. Bibliografía.....	132
6. DISPOSICIÓN A PAGAR DE LOS CONSUMIDORES POR ATRIBUTOS DE SOSTENIBILIDAD, ORIGEN Y PROCESO DE PRODUCCIÓN EN RAICILLA	
136	
RESUMEN.....	136
ABSTRACT	137
6.1. Introduction	138
6.2. Materials and Methods.....	140
6.2.1. Participants and survey designs.....	140
6.2.2. Selection of attributes and levels.....	141
6.2.3. Discrete Choice Experiment.....	144
6.2.4. Statistic analysis.....	147
6.3. Results.....	148
6.4. Discussion	152
6.5. Conclusions	157
6.6. References	158
7. ¿IMPORTA EL ORDEN DE PRESENTACIÓN? EL EFECTO DE LA SECUENCIA DE LA INFORMACIÓN EN LAS RESPUESTAS EMOCIONALES Y LA PREFERENCIA: UN ESTUDIO DE CASO DE DESTILADOS TRADICIONALES	163
RESUMEN.....	163
ABSTRACT	164
7.1. Introducción	165
7.2. Materiales y métodos.....	168
7.2.1. Estímulos (destilados de agave)	168
7.2.2. Aprobación ética.....	169
7.2.3. Participantes	169

7.2.4.	Diseño de la prueba	170
7.2.5.	Selección de emojis	170
7.2.6.	Procedimiento experimental.....	171
7.2.7.	Análisis estadístico.....	175
7.3.	Resultados y discusión	177
7.3.1.	Características socio-demográficas de los participantes.....	177
7.3.2.	Nivel de familiaridad	179
7.3.3.	Nivel de agrado en condición a ciegas, antes y después.....	180
7.3.4.	Respuestas emocionales	185
7.3.5.	Análisis multivariado de las respuestas emocionales, el nivel de agrado y la familiaridad	190
7.4.	Conclusiones	193
7.5.	Bibliografía.....	194
8.	CONCLUSIONES GENERALES.....	204
	ANEXOS.....	206

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Especificaciones fisicoquímicas.	27
Cuadro 2. Características de producción de las raicillas estudiadas.	41
Cuadro 3. Atributos, definiciones y estándares de referencia generados por el panel para el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) de raicillas.	48
Cuadro 4. Variables fisicoquímicas de raicillas.	54
Cuadro 5. Promedios y desviaciones estándar del contenido de Acetaldehído, Metanol, n-Propanol y Acetato de Etilo (mg/100 mL alcohol anhidro) de seis muestras de raicillas.	56
Cuadro 6. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los análisis de varianza de los atributos evaluados durante el QDA de raicillas, con el panel completo (n = 15).....	59
Cuadro 7. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los análisis de varianza de los atributos evaluados durante el QDA de raicillas, con eliminación de jueces.	60
Cuadro 8. Perfil descriptivo de raicillas; comparaciones de medias de las intensidades de sus atributos significativos ($p < 0.05$).	61
Cuadro 9. Nivel de agrado para raicillas del Estado de Jalisco	63
Cuadro 10. Parámetros de calidad del modelo de regresión por mínimos cuadrados parciales tipo dos, entre variables sensoriales y fisicoquímicas de raicillas.	66
Cuadro 11. Matriz de correlaciones de las variables con los componentes uno y dos obtenida del análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales tipo dos entre variables sensoriales y fisicoquímicas de raicillas.	67
Cuadro 12. Características de las raicillas estudiadas.....	79
Cuadro 13. Grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$), índice de refracción (nD) y porcentaje de alcohol (% Alc. Vol.).	85
Cuadro 14. Flujos de entrada del inventario de ciclo de vida para la producción de raicilla (por unidad funcional).	121
Cuadro 15. Condiciones operativas y supuestos del proceso de producción.	122

Cuadro 16. Flujos de salida del inventario de ciclo de vida para la producción de raicilla (por unidad funcional).	123
Cuadro 17. Categorías de impacto consideradas en la evaluación del ciclo de vida (método <i>ReCiPe Midpoint (H)</i>).	124
Cuadro 18. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida (LCIA) por unidad funcional.....	125
Cuadro 19. Contribución porcentual por etapa del proceso a las categorías de impacto seleccionadas (%).	126
Cuadro 20. Análisis de sensibilidad del sistema de producción de raicilla bajo distintos escenarios de mejora.....	130
Cuadro 21. Comparación del perfil ambiental de la producción de raicilla con estudios previos de bebidas destiladas.	131
Cuadro 22. Table 1. Sociodemographic and consumption data evaluated.	141
Cuadro 23. Table 2. Attributes and levels for the discrete choice experiment.	142
Cuadro 24. Table 3. List of profiles or combinations obtained from fractional factor analysis.....	145
Cuadro 25. Table 4. Sociodemographic and raicilla consumption characteristics of the participants.....	149
Cuadro 26. Table 5. Results of the estimations of a mixed logit model for raicilla.	151
Cuadro 27. Table 6. Marginal willingness to pay for raicilla among Mexican consumers.	152
Cuadro 28. Características de los destilados de agave utilizados en el estudio	169
Cuadro 29. Lista de los 33 emojis faciales incluidos en el estudio (versión de la plataforma Android 14.0), junto con sus descripciones según Emojipedia (2024) y los términos más frecuentemente utilizados reportados en la literatura (Jaeger et al., 2019; Jaeger & Ares, 2017).	172
Cuadro 30. Características socio-demográficas de los participantes (n = 150).	178
Cuadro 31. Nivel de familiaridad de los participantes con los destilados de agave dentro de cada condición.	179
Cuadro 32. Valores medios de agrado por destilado y por condición.	181
Cuadro 33. Comparación de medias de las puntuaciones promedio de los emojis significativos.....	187

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análisis de componentes principales de los descriptores sensoriales evaluados y la aceptabilidad global.	64
Figura 2. Análisis por mínimos cuadrados parciales tipo dos entre variables sensoriales y fisicoquímicas.....	68
Figura 3. Ubicación de las tabernas productoras de raicilla seleccionados para realizar el presente estudio.....	80
Figura 4. Espectros de infrarrojo cercano de muestras de raicillas analizadas: (A) Espectros crudos, (B) Segunda derivada, las regiones sombreadas corresponden a las regiones que fueron excluidas en el análisis quimiométrico.....	87
Figura 5. (A) Gráficos de scores, (B) loadings, (C) validación cruzada y (D) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante espectroscopia NIR, clasificados por especie de agave.....	89
Figura 6. (A) Gráficos de scores, (B) loadings, (C) validación cruzada y (D) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante espectroscopia NIR, clasificados por región de producción.	91
Figura 7. (A) Gráficos de scores, (B) loadings, (C) validación cruzada y (D) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante espectroscopia NIR, clasificados por proceso de elaboración.....	93
Figura 8. Identificación de compuestos volátiles en el cromatograma (HS-SPME-GC-MS) de una muestra seleccionada de raicilla (LV-AAC).....	94
Figura 9. (A) Gráficos de scores y (B) loadings de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por especie de agave.	96
Figura 10. (A) Gráficos de validación cruzada y (B) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por especie de agave.	98
Figura 11. Mapa de calor para los 10 metabolitos principales seleccionados por la puntuación VIP de PLS-DA ($VIP \geq 1$), clasificados por agave: <i>angustifolia</i> y <i>maximiliana</i>	101
Figura 12. (A) Gráficos de scores y (B) loadings de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por región de producción.....	103

Figura 13. (A) Graficos de validación cruzada y (B) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por región de producción.	104
Figura 14. Mapa de calor para los 16 metabolitos principales seleccionados por la puntuación VIP de PLS-DA ($VIP \geq 1$), clasificados por región: costa y sierra.	106
Figura 15. Ubicación de la taberna productora de raicilla seleccionada para el ACV en el municipio de Mascota, Jalisco.	118
Figura 16. Fases del ACV de acuerdo con la ISO 14040.	119
Figura 17. Límites del sistema de producción de raicilla artesanal.	120
Figura 18. Contribución porcentual por proceso unitario en la elaboración de raicilla artesanal en el índice GWP (Potencial de Calentamiento Global).	128
Figura 19. Figure 1. Example of a choice set.	146
Figura 20. Ilustración de las tres condiciones experimentales en las que se presentó la información.	173
Figura 21. Tarjetas de información presentadas para cada destilado de agave (bacanora, mezcal, raicilla y tequila).	174
Figura 22. Análisis de Componentes Principales (ACP) del nivel de agrado, la familiaridad y las respuestas emocionales (😊 Feliz; 😄 Alegre; 😊 Contento; 😌 Calmado; 🤩 Buen carácter (Genial); 😍 Afectivo; 😏 Atrevido; 😟 Preocupado; 😁 Satisfecho; 😂 Feliz (Alborotado); 😲 Sorprendido; 😡 Frustrado; y 😠 Disgustado) de los cuatro destilados de agave (bacanora, mezcal, raicilla y tequila) bajo las condiciones de degustación ciegas, con información previa y con información posterior.	191

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el financiamiento otorgado, el cual hizo posible el desarrollo de mi formación académica a nivel doctoral.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad de continuar mi preparación profesional y al Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, por su contribución decisiva en el progreso de esta investigación.

Extiendo un reconocimiento al Dr. Anastacio Espejel García por sus enseñanzas durante la dirección y construcción de este trabajo.

A la Dra. Landy Hernández Rodríguez y al Dr. Arturo Hernández Montes, por su generosa disposición, sus amplios conocimientos y su apoyo constante en el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Alma Leticia Sucedo Yáñez y al Dr. Sergio Erick García Barrón, por sus aportaciones y enseñanzas significativas. Agradezco igualmente al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de realizar una estancia de investigación.

A los jueces del panel sensorial, por su tiempo, compromiso y rigurosidad en la evaluación sensorial. Y a todos los participantes de las encuestas virtuales y de campo, cuyo apoyo fue fundamental para la recopilación de la información que hizo posible esta investigación.

DEDICATORIA

A mis padres, Virginia Cano Dionicio y Sergio Pablo Bautista†, por su amor incondicional, la confianza y el apoyo que siempre me brindaron. Gracias por acompañarme en cada paso; este logro también les pertenece.

A mis hermanos, Fernando, Mónica y Eli, por compartir conmigo tantos momentos de alegría y de aprendizaje. Son una parte esencial de mi vida.

A mi abuela, Ricarda Dionicio†, por sus sabios consejos y palabras de aliento que siempre me impulsaron a seguir adelante.

A mis tíos, Adelina Cano y Wilberto Cano†, por su cariño y apoyo desinteresado.

A mis sobrinos, Osmar, Axel, Lían, Alain, Enzo, Alexa y Francisco, por su luz, su alegría y por recordarme siempre la importancia de sonreír.

A mi esposa, Carla Zulema, por tu amor, tu compañía y tu comprensión en cada etapa de este camino. Gracias por caminar a mi lado y ser un pilar fundamental en mi vida.

A mi hijo, Carlos Magdiel, por ser mi mayor inspiración y el motor que impulsa cada uno de mis esfuerzos. Tú eres mi mayor motivo para seguir creciendo.

A ustedes, Carla y Carlos, **mi pequeña gran familia**, gracias por darle sentido a todo.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra forma, han estado presentes y han deseado este logro para mí.

Con cariño

Magdiel

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Magdiel Pablo Cano

Fecha de nacimiento: 22 de septiembre de 1993

Lugar de nacimiento: Oaxaca, Oaxaca

CURP: PACM930922HOCBNG00

Profesión: Ingeniero Agroindustrial

Cédula profesional: 12396776



Desarrollo académico

Licenciatura: Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo.

Maestría: Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

PERFIL METABOLÓMICO, SENSORIAL Y ECONÓMICO DE RAICILLAS PARA DISCRIMINAR ORIGEN GEOGRÁFICO, ESPECIE Y PROCESO

La raicilla es un destilado de agave con denominación de origen; sin embargo, los estudios relacionados con su autenticación, así como el comportamiento y la percepción del consumidor, siguen siendo limitados. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la raicilla mediante el análisis de sus perfiles fisicoquímicos, sensoriales y espectroscópicos, evaluar su impacto ambiental y analizar la respuesta del consumidor considerando la valoración económica y la influencia de los procesos cognitivos. Se analizaron raicillas producidas en dos regiones, a partir de dos especies de agave y tres procesos de elaboración. El perfil fisicoquímico se determinó mediante métodos establecidos en normas nacionales, el perfil sensorial mediante análisis descriptivo cuantitativo y el perfil espectroscópico mediante FT-NIR y GC-MS. El impacto ambiental se evaluó mediante análisis de ciclo de vida con enfoque puerta-a-puerta. El estudio del consumidor incluyó experimentos de elección discreta para estimar la disposición a pagar y un experimento sensorial para evaluar el nivel de agrado y las emociones bajo diferentes condiciones de información. Los resultados mostraron que los perfiles sensoriales permitieron diferenciar la región de producción, el tipo de agave y el proceso de elaboración. El análisis FT-NIR identificó diferencias químicas asociadas con el proceso productivo, mientras que GC-MS permitió identificar 35 compuestos volátiles. El análisis de ciclo de vida estimó que la producción de una botella de raicilla de 750 mL genera 3.48 kg CO₂ eq. Asimismo, los consumidores mostraron disposición a pagar un mayor precio por productos que incluyan información sobre región de origen, proceso de producción, protección jurídico-económica y ecoetiquetas. Finalmente, se observó que la información del producto y el momento en que se presenta influyen significativamente en el nivel de agrado y en las respuestas emocionales. En conjunto, estos resultados aportan evidencia relevante para la autenticación, valorización y posicionamiento de la raicilla en el mercado, así como para el diseño de estrategias de comunicación y marketing para productos tradicionales.

Palabras clave: autenticación, consumidor, destilado de agave, huella digital química, procesos cognitivos, sostenibilidad, valoración económica.

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Director de Tesis: Dr. Anastacio Espejel García.

GENERAL ABSTRACT

METABOLOMIC, SENSORY AND ECONOMIC PROFILE OF RAICILLAS TO DISCRIMINATE GEOGRAPHICAL ORIGIN, SPECIES AND PROCESS

Raicilla is an agave distillate protected under a Denomination of Origin; however, studies related to its authentication, as well as consumer behavior and perception, remain limited. The objective of this research was to characterize raicilla through the analysis of its physicochemical, sensory, and spectroscopic profiles, to evaluate its environmental impact, and to analyze consumer responses considering economic valuation and the influence of cognitive processes. raicilla samples produced in two regions, from two agave species and three production processes, were analyzed. The physicochemical profile was determined using methods established in national standards, the sensory profile was assessed through quantitative descriptive analysis, and the spectroscopic profile was characterized using FT-NIR and GC-MS. Environmental impact was evaluated through Life Cycle Assessment using a gate-to-gate approach. The consumer study included discrete choice experiments to estimate willingness to pay and a sensory experiment to evaluate liking and emotional responses under different information conditions. The results showed that sensory profiles allowed differentiation according to production region, agave species, and production process. FT-NIR analysis identified chemical differences associated with the production process, while GC-MS enabled the identification of 35 volatile compounds. Life Cycle Assessment estimated that the production of a 750 mL bottle of raicilla generates 3.48 kg CO₂ eq. In addition, consumers showed a willingness to pay a higher price for products that include information about the region of origin, the production process, the presence of legal–economic protection, and eco-labels. Finally, product information and the timing of its presentation were found to significantly influence both liking and emotional responses. Overall, these results provide relevant evidence for the authentication, valorization, and market positioning of raicilla, as well as for the development of communication and marketing strategies for traditional products.

Key words: authentication, consumer, agave distillate, chemical fingerprinting, cognitive processes, sustainability, economic valuation.

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Postgraduate Program en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Thesis Director: Dr. Anastacio Espejel García.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La raicilla es una bebida alcohólica mexicana obtenida a partir de la destilación de mostos elaborados con azúcares extraídos de las “cabezas” o “piñas” maduras y cocidas de distintos tipos de agave (*Agave maximiliana* Baker, *Agave inaequidens* Koch, *Agave valenciana*, *Agave angustifolia* Haw y *Agave rhodacantha*), los cuales posteriormente son sometidos a un proceso de fermentación alcohólica (PROY-NOM-257-SE-2021, 2021). Esta bebida cuenta con Denominación de Origen (DO), integrada por 16 municipios del estado de Jalisco y uno del estado de Nayarit. De ellos, cuatro pertenecen a la región costa y los restantes a la región sierra. Asimismo, la raicilla se clasifica de acuerdo con su proceso de producción en Clásica, Artesanal o Ancestral (PROY-NOM-257-SE-2021, 2021).

Ante esta protección de origen, surge la necesidad de desarrollar metodologías y herramientas científicas que permitan verificar el origen, el proceso de producción y la materia prima utilizada en la elaboración de la raicilla, con el fin de ofrecer al mercado un producto auténtico y evitar imitaciones. Un primer enfoque para ello consiste en la evaluación de parámetros fisicoquímicos regulados por normas nacionales. Asimismo, los análisis sensoriales, particularmente las pruebas descriptivas, constituyen herramientas ampliamente utilizadas para la descripción y cuantificación de atributos sensoriales (Lazo et al., 2025; Meilgaard, Civille & Carr, 1999). Estas técnicas permiten generar perfiles sensoriales detallados y determinar si existen atributos que aporten tipicidad al producto (Lawless & Heymann, 2010).

Otro enfoque relevante en la autenticación de alimentos y bebidas se basa en la obtención de huellas digitales químicas mediante técnicas espectroscópicas y cromatográficas, como la espectroscopia de infrarrojo cercano (FT-NIR) y la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). Estas metodologías, combinadas con métodos estadísticos multivariados, permiten identificar y cuantificar compuestos específicos presentes en el producto, detectar diferencias entre muestras y desarrollar modelos discriminativos y predictivos (Cozzolino, 2021; Klockmann et al., 2016; Cortés et al., 2019).

Además de los aspectos relacionados con la autenticación y caracterización química, el estudio de las bebidas alcohólicas ha incorporado en años recientes un enfoque ambiental, debido a que los impactos asociados a su producción se distribuyen de manera heterogénea a lo largo del sistema productivo. En este contexto, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), normalizado bajo las directrices ISO 14040 e ISO 14044, constituye una metodología reconocida internacionalmente para evaluar los flujos de materia y energía asociados a un sistema productivo y traducirlos en indicadores de impacto ambiental (Webb et al., 2025). Su aplicación en bebidas alcohólicas ha permitido identificar patrones comunes de impacto ambiental y proponer estrategias de mitigación basadas en evidencia cuantitativa, particularmente en etapas como la producción de materias primas, el procesamiento y el consumo de energía (Bhattacharyya et al., 2019; Eriksson et al., 2016; Vázquez-Rowe et al., 2017).

Los esfuerzos de autenticación de alimentos y bebidas tradicionales también se relacionan estrechamente con los estudios sobre el consumidor. Actualmente se observan cambios en los estilos de consumo, caracterizados por la aparición de nuevos grupos de consumidores y la diversificación de preferencias, especialmente hacia alimentos y bebidas tradicionales asociados al “terruño” (Cartay, 2001). Estos productos se distinguen por su identidad regional, sus procesos de producción y sus indicaciones geográficas (Guerrero et al., 2016). Asimismo, la presencia de atributos relacionados con la sostenibilidad puede

influir en la elección del producto y aumentar la preferencia del consumidor. En este contexto, los experimentos de elección discreta (Discrete Choice Experiments, DCE) se han utilizado ampliamente para evaluar la disposición a pagar por productos en función de sus atributos, al analizar las decisiones de los consumidores entre diferentes escenarios hipotéticos donde dichos atributos se modifican sistemáticamente (Cantillo et al., 2020; Gonçalves et al., 2020). Aunque algunos estudios han abordado la disposición a pagar por alimentos con certificaciones de sostenibilidad y protección de origen, aún son escasos los trabajos centrados en bebidas alcohólicas tradicionales y en la influencia que factores como el proceso de producción, el origen o las ecoetiquetas pueden tener en las preferencias del consumidor (Mazzocchi et al., 2019; Van Loo et al., 2015).

El estudio del consumidor también puede abordarse analizando cómo distintos factores influyen en los procesos cognitivos ascendentes (*bottom-up*) y descendentes (*top-down*) durante la evaluación sensorial de un producto, los cuales se reflejan en respuestas emocionales y en el nivel de agrado percibido. Los procesos *bottom-up* se originan a partir de los estímulos sensoriales propios del producto, mientras que los *top-down* están modulados por conocimientos previos e información contextual. En la vida cotidiana, los individuos observan constantemente su entorno y utilizan la información disponible para orientar su comportamiento (Theeuwes, 2010; Schiebler et al., 2025). Diversos estudios han demostrado que los consumidores no solo valoran las características intrínsecas del alimento, sino también la información contextual que lo acompaña, la cual puede influir en la interpretación de la experiencia sensorial y en la respuesta afectiva hacia el producto (Varela et al., 2010).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar integralmente la raicilla mediante el análisis de sus perfiles fisicoquímicos, sensoriales y espectroscópicos, con el fin de identificar atributos asociados a su tipicidad y diferenciación. Asimismo, se evaluó su impacto ambiental mediante la aplicación del análisis de ciclo de vida,

con el propósito de identificar las principales fuentes de impacto dentro de su sistema productivo. De manera complementaria, se analizó la percepción del consumidor a través de su valoración económica y de la evaluación del nivel de agrado y de las respuestas emocionales, considerando la influencia de diferentes factores cognitivos en la experiencia de consumo. En conjunto, este enfoque integral busca generar evidencia científica que permita establecer una huella digital del producto y contribuir a su autenticación, valorización y posicionamiento en el mercado de destilados tradicionales.

1.1. Justificación

La raicilla es un destilado tradicional mexicano con denominación de origen que forma parte del patrimonio cultural y productivo de las regiones donde se elabora. Sin embargo, a pesar de su relevancia histórica y de su creciente reconocimiento en el mercado, los estudios científicos relacionados con su caracterización integral, su impacto ambiental y la percepción del consumidor siguen siendo limitados. Esta falta de información dificulta la identificación de atributos que permitan diferenciar el producto, garantizar su autenticidad y fortalecer su posicionamiento en mercados cada vez más competitivos.

En este contexto, la generación de conocimiento científico sobre la raicilla resulta fundamental para respaldar su valorización y proteger su identidad. La caracterización físico-química, sensorial y espectroscópica permite identificar compuestos y atributos asociados a su tipicidad, así como establecer huellas digitales que faciliten la autenticación del producto. De manera complementaria, el análisis de ciclo de vida permite evaluar los impactos ambientales asociados a su producción, proporcionando información clave para la implementación de estrategias de sostenibilidad dentro del sistema productivo. Por otra parte, comprender el comportamiento del consumidor es esencial para el desarrollo y posicionamiento de bebidas tradicionales. El análisis de la percepción del consumidor, la disposición a pagar por determinados atributos y la influencia de

los procesos cognitivos en la evaluación sensorial permiten identificar factores que influyen en la aceptación del producto y en su valoración en el mercado.

Por lo tanto, integrar enfoques de caracterización química, análisis ambiental y estudios del consumidor en una misma investigación permite obtener una visión integral de la raicilla como producto agroalimentario. Este enfoque multidisciplinario contribuye a fortalecer la evidencia científica necesaria para su autenticación, valorización y posicionamiento, así como para el diseño de estrategias de producción, comunicación y comercialización que favorezcan el desarrollo sostenible de este destilado tradicional.

1.2. Objetivo general

Analizar raicillas producidas en el estado de Jalisco mediante su caracterización espectroscópica, físico-química y sensorial, evaluar su perfil ambiental a través del análisis de ciclo de vida (ACV) y estudiar la percepción del consumidor considerando la disposición a pagar y la influencia de los procesos cognitivos, con el propósito de identificar atributos de diferenciación y establecer una huella digital que contribuya a la autenticación del producto.

1.3. Objetivos particulares

Determinar el perfil fisicoquímico de diferentes tipos de raicillas, mediante la determinación de los parámetros de densidad, pH, grado alcohólico, cenizas y extracto seco, y de la cuantificación de metanol, acetaldehído, n-propanol y etil acetato.

Identificar los descriptores sensoriales de las raicillas artesanales y ancestrales mediante un análisis descriptivo cuantitativo.

Determinar la relación entre perfiles fisicoquímicos y sensoriales de raicillas para la autenticación del producto.

Discriminar y autenticar raicillas por especie de agave, origen geográfico y proceso de manufactura mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (SPME-GC-MS) analizadas por métodos de estadística uni y multivariable.

Caracterizar cuantitativamente el perfil ambiental de la producción de raicilla en México bajo un enfoque puerta a puerta (gate-to-gate) mediante la aplicación de análisis de ciclo de vida.

Evaluar la disposición a pagar de los consumidores por ecoetiquetas, protección de origen y procesos de producción en la raicilla, mediante experimentos de elección discreta.

Evaluar la influencia de la información extrínseca y el nivel de familiaridad del consumidor en los procesos cognitivos ascendentes y descendentes durante la evaluación sensorial de cuatro destilados de agave (bacanora, raicilla, mezcal y tequila), reflejado en el nivel de agrado y en el tipo y número de emociones generadas.

1.4. Hipótesis

Las raicillas presentan niveles de parámetros fisicoquímicos que se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas nacionales.

Los perfiles sensoriales de las raicillas permiten discriminarlos significativamente respecto a la región de origen (costa y sierra), proceso de producción (ancestral y artesanal) y tipo de agave (*Agave angustifolia* Haw y *Agave maximiliana* Baker).

Los perfiles espectroscópicos de las raicillas permiten generar una huella digital química específica para las categorías de región de origen, proceso de elaboración y tipo de agave empleado.

La producción de raicilla, evaluada mediante ACV bajo un enfoque gate-to-gate, presenta impactos ambientales significativos y heterogéneos entre sus etapas, destacando el consumo de energía como uno de los principales contribuyentes.

Los consumidores presentan una alta disposición a pagar un extra por raicillas elaboradas de manera ancestral o artesanal, así como con ecoetiquetas y protección de origen.

La información extrínseca y el nivel de familiaridad del consumidor modulan los procesos ascendentes y descendentes durante la evaluación sensorial de los destilados de agave, lo que se refleja en diferencias en el nivel de agrado y en el tipo y número de emociones generadas.

1.5. Estructura de la tesis

La tesis está conformada por ocho capítulos. El Capítulo uno contiene la introducción general, justificación, objetivos e hipótesis. En el Capítulo dos se presenta la revisión de literatura, que consta un marco teórico, en el cual se aborda técnicas y metodologías existentes para determinar los perfiles fisicoquímicos, sensoriales y espectroscópicos, así como para el estudio del consumidor y análisis de ciclo de vida; y de un marco de referencia, donde se muestra el panorama general de la raicilla.

El Capítulo tres presenta la caracterización físico-química y sensorial de la raicilla, mediante la determinación de los parámetros de densidad, pH, grado alcohólico, cenizas y extracto seco, la cuantificación de metanol, acetaldehído, n-propanol y etil acetato, y el análisis descriptivo cuantitativo. Además, se aborda la relación de las variables sensoriales y fisicoquímicas. El Capítulo cuatro presenta los perfiles espectroscópicos de las raicillas realizados mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (SPME-GC-MS).

En el Capítulo cinco, se reporta la evaluación del impacto ambiental de la producción de raicilla mediante la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) bajo un enfoque puerta a puerta (gate-to-gate). En el cual, se cuantifican los flujos de materia y energía y se estiman indicadores como las emisiones de CO₂ equivalente. Identificando las etapas con mayor contribución ambiental y proponiendo elementos para mejorar la sostenibilidad del proceso productivo.

Los Capítulos seis y siete se enfocan en el estudio del consumidor. En el Capítulo seis se presenta un estudio de valoración económica enfocado en la evaluación de la disposición que presentan los consumidores para pagar un extra por raicillas que presentan una ecoetiqueta, una protección de origen o un determinado proceso de elaboración. El Capítulo siete incluye el estudio de la influencia de la información extrínseca y el nivel de familiaridad del consumidor en los procesos cognitivos ascendentes y descendentes durante la evaluación sensorial de cuatro destilados de agave (bacanora, raicilla, mezcal y tequila), evaluado mediante el nivel de agrado y el tipo y número de emociones generadas. Finalmente, el Capítulo ocho incluye las conclusiones generales de la investigación.

1.6. Bibliografía

- Bhattacharyya, N., Goodell, A., Rogers, S., & Demond, A. (2019). Environmental impacts of wheat-based vodka production using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 231, 642–648. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.226>
- Mazzocchi, C., Ruggeri, G., & Corsi, S. (2019). Consumers' Preferences for Biodiversity in Vineyards: A Choice Experiment on Wine. *Wine Economics and Policy*, 8, 155–164, doi:10.1016/j.wep.2019.09.002.
- Cantillo, J., Martín, J. C., & Román, C. (2020). Discrete choice experiments in the analysis of consumers' preferences for finfish products: A systematic literature review. *Food Quality and Preference*, 84, 103952. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103952>
- Gonçalves, T., Lourenço-Gomes, L., & Pinto, L. M. C. (2020). Dealing with ignored attributes through an inferred approach in wine choice experiments. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 87, 101551. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2020.101551>

- Van Loo, E.J., Caputo, V., Nayga, R.M., Seo, H.-S., Zhang, B., & Verbeke, W. (2015). Sustainability Labels on Coffee: Consumer Preferences, Willingness-to-Pay and Visual Attention to Attributes. *Ecological Economics*, 118, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.011>.
- Cartay, R. (2001). Consideraciones sobre los comportamientos del consumidor en situaciones de riesgo e incertidumbre alimentaria. *Agroalimentaria*, 7(12).
- Cortés, V., Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S., & Talens, P. (2019). Monitoring strategies for quality control of agricultural products using visible and near-infrared spectroscopy: A review. *Food Science and Technology*, 85, 138–148. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.015>
- Cozzolino, D. (2021). The ability of near infrared (NIR) spectroscopy to predict functional properties in foods: Challenges and opportunities. *Molecules*, 26(22). <https://doi.org/10.3390/molecules26226981>
- Eriksson, O., Jonsson, D., & Hillman, K. (2016). Life cycle assessment of Swedish single malt whisky. *Journal of Cleaner Production*, 112, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.050>
- Guerrero, L., Claret, A., Verbeke, W., Sulmont, R., & Herlsleth, M. (2016). Innovation intraditional food products: does it make sense? Innovatoin Strategies in the Food Industry: Tool for implemetation. Galanakis C.M. (Edited). Elsevier. 77-90 p.
- Klockmann, S., Reiner, E., Bachmann, R., Hackl, T., & Fischer, M. (2016). Food Fingerprinting: Metabolomic Approaches for Geographical Origin Discrimination of Hazelnuts (*Corylus avellana*) by UPLC-QTOF-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(48), 9253–9262. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04433>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of food*. Principles and practices. New York: Chapman & Hall.
- Lazo, O., García-Ortíz, A. L., Pardo, J., & Guerrero, L. (2025). Mezcal Characterization Through Sensory and Volatile Analyses. *Foods*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/foods14030402>
- Meilgaard, M. C., Civille, G.V., & Carr, B.T. (1999). Affective tests: Consumer Tests and in- house panel acceptance tests. *Sensory Evaluation Techniques*, 231-263.
- PROYECTO de Norma Oficial MexicanaPROY-NOM-257-SE-2021. (2021). Bebidas alcohólicas-Raicilla-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba. (pp. 1–16). Diario Oficial de la Federación.
- Schiebler, T., Lee, N., & Brodbeck, F. C. (2025). Expectancy-disconfirmation and consumer satisfaction: A meta-analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science*. <https://doi.org/10.1007/s11747-024-01078-x>

- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Varela, P., Ares, G., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2010). Influence of brand information on consumers' expectations and liking of powdered drinks in central location tests. *Food Quality and Preference*, 21(7), 873–880. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.05.012>
- Vázquez-Rowe, I., Cáceres, A. L., Torres-García, J. R., Quispe, I., & Kahhat, R. (2017). Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4369–4383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.136>
- Webb, E., Burgess, P. J., Pexas, G., & McKnight, C. J. (2025). The life cycle assessment of trees outside woodlands: a systematic review of methodological approaches. *International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02559-z>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Alimentos y bebidas tradicionales

Los alimentos y bebidas tradicionales son productos típicos de una determinada área local, elaborados siguiendo métodos tradicionales que se han transmitido de generación en generación, y que se distinguen por características sensoriales específicas (como sabor y textura). Estos productos reflejan la cultura, identidad y patrimonio humano de la región o comunidad a la cual pertenecen (Guerrero et al., 2009; Guerrero et al., 2012). La continuidad en la elaboración de alimentos y bebidas tradicionales es clave para conservar la identidad cultural, garantizar la calidad y autenticidad de los productos, impulsar el desarrollo rural y afrontar con éxito los retos de un mercado globalizado combinando tradicionalidad e innovación (Pablo-Cano et al., 2024).

El vínculo entre las bebidas tradicionales y su área de producción es fundamental, ya que las propiedades ecológicas y culturales del lugar se combinan para generar características sensoriales únicas en el producto. En el caso de mezcal y tequila, por ejemplo, ambos están vinculados con su lugar de origen, lo cual es una dimensión clave en la percepción de su carácter tradicional (García-Barrón et al., 2021). Esta conexión geográfica no solo afecta la calidad percibida sino también el valor simbólico y emocional para los consumidores. La zona de origen sugiere que el producto se elabora con materias primas locales que aportan atributos sensoriales típicos de la región, haciendo que el producto sea distintivo y refuerce su identidad tradicional (García-Barrón et al., 2017; Silvestri et al., 2020).

A pesar del fenómeno de globalización y la producción masiva de alimentos estandarizados y económicos, existe un interés creciente por parte de los consumidores en productos alimenticios tradicionales (Stolzenbach et al., 2013; Contreras, 2019).

2.1.2. Protección jurídico-económica

La protección jurídico-económica se refiere a una certificación concedida a un producto, destinada a salvaguardar tanto al producto en sí como a los métodos de producción asociados. Esta certificación establece que el producto se elabora total o parcialmente en una región geográfica específica, o bien, según un método o ingredientes particulares (Marion et al., 2023). En esencia, confirma que el producto, con sus características y calidad distintiva, refleja la singularidad del territorio de origen (Giannetti et al., 2020).

La Denominación de Origen (DO) es la actual protección jurídico-económica otorgada a la Raicilla, la cual es la certificación que identifica a un producto cuya calidad o características se deben esencial o exclusivamente a un entorno geográfico particular y a sus factores naturales y humanos inherentes, en el cual todo el proceso debe realizarse en el área geográfica especificada (Pérez-Akaki et al., 2021; Marion et al., 2023). La Indicación Geográfica (IG) representa la certificación donde se identifica que la calidad, reputación u otra característica del producto es esencialmente atribuible a su origen geográfico, en la cual solo uno de los pasos del proceso de producción podría realizarse en el área geográfica especificada (Marion et al., 2023). Por otra parte, la Marca Colectiva (MC) es un certificado que se emplea para distinguir en el mercado los productos o servicios de sus miembros con respecto a los productos o servicios de terceros. Su uso está exclusivamente reservado a los miembros de una asociación o sociedad y está sujeto a las reglas determinadas por dichos miembros (Pérez-Akaki et al., 2021).

Las indicaciones geográficas y denominaciones de origen certifican no solo el origen de un producto, sino también especificaciones que garantizan cualidades específicas del mismo. Estos certificados ayudan a comunicar el origen regional de los alimentos a los consumidores, lo cual es muy valorado debido al aumento del comercio mundial de alimentos y la mejora en los niveles de vida, que hacen que conocer el origen geográfico preciso sea un factor clave para consumidores que buscan alimentos de alta calidad (Callao & Ruisánchez, 2018). Esto implica que la información sobre el origen geográfico se vuelve un parámetro crítico que influye en la demanda de alimentos de calidad, reforzando el valor y la diferenciación que estos productos pueden obtener en el mercado. En consecuencia, la adopción de etiquetas de origen puede representar una ventaja competitiva para las pequeñas y medianas empresas dedicadas al sector alimentario (Belletti et al., 2017).

La autenticación implica verificar que un alimento o bebida cumple efectivamente con la descripción y especificaciones indicadas en su etiqueta, lo cual es fundamental para garantizar la calidad y origen del producto. Esto es de gran importancia tanto para los consumidores, interesados en asegurar la autenticidad y calidad de lo que adquieren, como para los productores, quienes buscan proteger su reputación y evitar fraudes o imitaciones (Danezis et al., 2016). La seguridad e inocuidad alimentaria como los sistemas de autenticación y trazabilidad de alimentos y bebidas involucran a múltiples partes interesadas, incluyendo fabricantes y productores, organismos reguladores, proveedores de tecnología y el ámbito académico (Medina et al., 2019).

Sin embargo, a pesar de estas certificaciones (DO, IG y MC) surge la necesidad de verificar el origen, el proceso y la materia prima empleada para la elaboración de alimentos y bebidas, con el fin de evitar productos de imitación u otros similares en el mercado (Pablo-Cano et al., 2024). La adulteración de bebidas alcohólicas es una práctica ilegal, clandestina y fraudulenta que involucra diferentes campos: forense, seguridad alimentaria y control de calidad porque

puede ocurrir en cualquier etapa del proceso de elaboración (Sisco & Dake, 2016).

2.1.3. Evaluación sensorial

El análisis sensorial examina las propiedades (textura, sabor, gusto, apariencia, aroma, etc.) de un producto o alimento a través de los sentidos (vista, olfato, gusto, tacto y oído) de los panelistas. Este tipo de análisis se ha utilizado durante siglos para la aceptación o el rechazo de productos alimenticios (Civille & Oftedal, 2012). Históricamente, se consideraba una metodología que complementaba la seguridad tecnológica y microbiológica al evaluar la calidad de los alimentos. Sin embargo, su importante evolución e impacto en las últimas décadas lo ha posicionado como una de las disciplinas más importantes para la innovación de alimentos y bebidas, garantizando la aceptación del producto final por parte de los consumidores (Ruiz-Capillas & Herrero, 2021).

Las técnicas sensoriales tradicionales, como las evaluaciones discriminatorias, descriptivas, pruebas de preferencia y hedónicas, que aún se utilizan ampliamente en la actualidad, han evolucionado hacia técnicas más nuevas, más rápidas y completas: marque de todo lo que corresponda (CATA), napping (N), perfil flash (PF), etc., todas esas técnicas, con sus ventajas y desventajas, son muy útiles en el desarrollo de nuevos alimentos (Ruiz-Capillas & Herrero, 2021).

Sin embargo, no son solo las características sensoriales las que determinan la aceptación o el éxito de un producto. Factores como los aspectos sociales, el entorno, los conocimientos nutricionales, las dietas específicas, las emociones, la salud, la naturaleza de los productos, el envase, etc., también tienen una influencia muy importante (Marques et al., 2022). Por ello, los desarrolladores de nuevos productos alimenticios deben tener en cuenta las actitudes y expectativas de los consumidores potenciales (Guiné et al., 2020).

Análisis descriptivo cuantitativo (QDA)

El Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA, por sus siglas en inglés) es una de las técnicas clásicas más utilizadas en análisis sensorial, considerada potente, sofisticada y ampliamente aplicada para obtener descripciones cuantitativas y cualitativas detalladas de las características sensoriales de los productos (Lazo et al., 2025; Varela & Ares, 2012). El proceso implica la selección y entrenamiento de un panel especializado (normalmente 8 a 20 panelistas) que genera atributos específicos para describir las similitudes y diferencias entre productos, acuerda procedimientos de evaluación, se entrenan en la misma y finalmente evalúan los productos usando escalas para medir la intensidad de cada atributo (Jaeger et al., 2014). Esta metodología produce datos robustos, consistentes y reproducibles en el tiempo, permitiendo un perfil sensorial detallado de los productos, no obstante, se reconoce que esta técnica puede resultar costosa y demandar mucho tiempo (Jaeger et al., 2017).

El Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) se utiliza extensamente con diversos propósitos, incluyendo el desarrollo y la comparación de productos, el control de calidad y la elucidación de las preferencias del consumidor, entre otros (Mahieu et al., 2020; Oppermann et al., 2017). En destilados de agave, diversas investigaciones han documentado la pertinencia del empleo de esta metodología para la caracterización y evaluación sensorial; como Mozqueda-Balderas et al. (2018), quienes encontraron que los mezcales evaluados se agruparon en tres perfiles sensoriales diferenciados. El mezcal de Tlacolula, Oaxaca, se destacó por sus características de olor a maguey cocido, ceniza y humo, presentando el aroma más intenso entre los evaluados. Los mezcales de Xochihuehuetlán y Zitlala, Guerrero, se caracterizaron por su olor a alcohol y maguey quemado, sabores a químico y residual a alcohol, además de un picor en la cavidad nasal. Finalmente, el mezcal de Totomochapa, Guerrero mostró un perfil sensorial distintivo, con predominancia de olor y sabor dulce, sabor a maguey, sabor agrio y una coloración amarillo verdosa, junto con olores a maguey cocido y alcohol

que le confirieron un aroma global especial y diferente, destacándose favorablemente en comparación con los otros mezcales evaluados.

Álvarez-Ainza et al. (2015) reportaron para el destilado de agave bacanora (*Agave angustifolia* Haw) que el panel sensorial entrenado fue capaz de discriminar ocho perfiles sensoriales diferenciados, los cuales se caracterizaron por atributos distintivos en las dimensiones de aroma, sabor, gusto y sensaciones trigeminales. Entre los descriptores más relevantes identificados se encuentran notas ahumadas, cítricas, de cuero y de paja, presentes tanto en las percepciones olfativas como gustativas. Estas características sensoriales están relacionadas con el tipo de procesamiento artesanal aplicado, que es muy rudimentario actualmente.

2.1.4. Análisis espectroscópicos y cromatográficos

Uno de los enfoques empleados para la autenticación, trazabilidad y control de calidad de bebidas es mediante la huella digital química que identifica de manera única al producto (Cozzolino, 2024). La huella digital es una herramienta clave para asegurar la autenticidad, consistencia y trazabilidad tanto de alimentos como de bebidas. Esta herramienta ha ganado importancia para garantizar la transparencia y sostenibilidad en la industria alimentaria, lo que beneficia directamente a los consumidores y productores (Islam & Cullen, 2021).

En el campo de la autenticación de bebidas, existen múltiples métodos de análisis químicos dirigidos y no dirigidos para la identificación molecular del producto. El primer enfoque se centra en el análisis de un compuesto específico o un grupo de compuestos con características similares, mientras que, en el enfoque no dirigido, el objetivo principal es la discriminación de patrones de compuestos, este es útil para detectar diferencias globales en la composición química y descubrir compuestos marcadores de autenticidad o características específicas de un producto (Llano et al., 2018; Souard et al., 2018). En consecuencia, la huella digital de las bebidas alcohólicas puede ser obtenida a

partir de métodos espectroscópicos y cromatográficos, como el Infrarrojo cercano (NIR) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS). Estas técnicas combinadas con métodos estadísticos multivariados permiten identificar y cuantificar componentes específicos presentes en el producto y detectar diferencias entre muestras (Cozzolino, 2021; Klockmann et al., 2016), así como realizar estudios discriminativos y predictivos (Cortés et al., 2019).

Espectroscopía de infrarrojo (IR)

La espectroscopía de infrarrojo (IR, por sus siglas en inglés) constituye una técnica analítica rápida y de fácil implementación que permite la obtención de información detallada sobre múltiples componentes presentes en la matriz química de destilados de agave y además puede utilizarse para determinar parámetros como el contenido de alcohólico (Johnson et al., 2017; Pontes et al., 2006). La espectroscopía infrarroja se clasifica principalmente en dos regiones espectrales según el rango de longitud de onda o número de onda. La primera es el infrarrojo cercano (NIR), que abarca aproximadamente desde 14,000 hasta 4,000 cm^{-1} . La segunda es el infrarrojo medio (MIR), cuya extensión va aproximadamente desde 4,000 hasta 400 cm^{-1} (Quintero Arenas et al., 2020).

Las bandas en el espectro NIR suelen ser de baja intensidad y las señales correspondientes a grupos químicos específicos son difíciles de interpretar debido a la superposición y solapamiento de picos, como ocurre con el agua y el etanol en muestras de mezcal. Esto hace que los espectros NIR sean menos específicos y reproducibles para análisis detallados. Por otro lado, en la región MIR, las bandas espectrales son más intensas y distintivas, ya que se corresponden con las vibraciones fundamentales de los grupos funcionales, esto permite observar patrones de absorción únicos para cada componente (Power et al., 2021; Quintero Arenas et al., 2020). En resumen, MIR ofrece mayor sensibilidad y especificidad en la identificación de componentes químicos, mientras que NIR es más limitado en ese aspecto debido a la superposición y menor intensidad de las bandas.

Cromatografía de gases acoplado a espectroscopía de masas (GC-MS)

La Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (CG-EM) es una técnica analítica que se basa en dos principios fundamentales para la identificación y cuantificación de compuestos químicos (Sánchez-Fernández et al., 2025):

1. Cromatografía de Gases (CG): Se basa en la separación de los compuestos volátiles presentes en una muestra. Estos compuestos son transportados por un gas acarreador (Helio) a través de una columna capilar donde se separan según su volatilidad y afinidad por la fase estacionaria de la columna.
2. Espectrometría de Masas (EM): Una vez separados, los compuestos se ionizan y sus masas moleculares y fragmentos se analizan mediante un detector de masas. Esto permite identificar los compuestos con base en su espectro de masas único y cuantificarlos con alta sensibilidad y selectividad.

Diversos estudios han reportado que esta combinación permite no solo separar los compuestos químicos complejos de muestras de destilados de agave como el mezcal (Vera-Guzmán et al., 2018), tequila (Ceballos-Magaña et al., 2009) y bacanora (Álvarez-Ainza et al., 2015) sino también identificarlos y cuantificarlos con gran precisión, siendo una herramienta esencial para el análisis de compuestos volátiles para asegurar la autenticidad y calidad de destilados de agave.

2.1.5. Análisis de ciclo de vida en bebidas destiladas

En el contexto actual, la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios ha cobrado una relevancia creciente, impulsando el desarrollo y la aplicación de herramientas que permitan evaluar de manera integral los impactos ambientales asociados a la producción de alimentos y bebidas. En este sentido, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se ha consolidado como una de las metodologías más utilizadas a nivel internacional para cuantificar dichos impactos, al considerar

todas las etapas de un sistema productivo desde un enfoque sistémico (ISO 14040; ISO 14044). Esta metodología permite analizar los flujos de materia y energía involucrados en un proceso, así como traducirlos en indicadores de impacto ambiental, facilitando la identificación de puntos críticos dentro del sistema (Webb et al., 2025).

El ACV se estructura en cuatro fases principales: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario, evaluación de impactos y análisis de interpretación (ISO 14040; ISO 14044). Dependiendo de los límites del sistema, el análisis puede adoptar diferentes enfoques, como “de la cuna a la cuna” (cradle to cradle), “de la cuna a la tumba” (cradle-to-grave), “de la puerta a la tumba” (gate to grave), “de la cuna a la puerta” (cradle to gate) o “puerta a puerta” (gate-to-gate) (Askham et al., 2025). Este último resulta particularmente útil en estudios enfocados en procesos productivos específicos, ya que permite evaluar con mayor precisión las etapas internas de transformación, como ocurre en la producción de bebidas alcohólicas (Askham et al., 2025; Bhattacharyya et al., 2019).

Diversos estudios han aplicado el ACV en bebidas alcohólicas con el fin de identificar las etapas que contribuyen en mayor medida a la carga ambiental total. En general, se ha observado que los impactos ambientales se distribuyen de manera heterogénea a lo largo del sistema productivo, destacando el consumo de energía, el uso de materias primas y los procesos de transformación como los principales factores de impacto (Bhattacharyya et al., 2019; Eriksson et al., 2016; Vázquez-Rowe et al., 2017). Estos estudios han permitido establecer patrones comunes en la industria, así como proponer estrategias de mitigación orientadas a la eficiencia energética, la optimización de procesos y la reducción de emisiones.

En el caso específico de los destilados, el proceso productivo involucra múltiples etapas, como la cocción, fermentación y destilación, las cuales requieren un consumo significativo de energía térmica y recursos naturales. En este contexto, el ACV se convierte en una herramienta clave para identificar las etapas críticas

y evaluar alternativas de mejora que contribuyan a la sostenibilidad del sistema (Cely-Parra et al., 2023). No obstante, a pesar del avance en el estudio de bebidas alcohólicas mediante ACV, los trabajos enfocados en destilados tradicionales mexicanos, como la raicilla, siguen siendo limitados.

La aplicación del ACV en este tipo de productos no solo permite cuantificar su impacto ambiental, sino también generar información relevante para su valorización en el mercado, especialmente en un contexto donde los consumidores muestran un creciente interés por atributos relacionados con la sostenibilidad (Webb et al., 2025). De esta manera, integrar el análisis ambiental con otros enfoques, como la caracterización química, sensorial y el estudio del consumidor, permite construir una visión más completa del producto y fortalecer su posicionamiento dentro de sistemas agroalimentarios sostenibles.

En este sentido, el uso del ACV en la producción de raicilla representa una oportunidad para generar evidencia científica que contribuya tanto a la mejora de los procesos productivos como a la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad, la autenticación y la diferenciación de este destilado tradicional en el mercado.

2.1.6. Valoración económica

El estudio de la valoración económica de un producto constituye una metodología fundamental para estimar la disposición a pagar (DAP) de los consumidores frente a modificaciones o la preservación de determinados atributos asociados a los alimentos, ello en contextos donde se reconoce un proceso de evaluación subjetiva de valor (Rousseau & Vranken, 2013). Esta aproximación permite cuantificar en términos monetarios la importancia relativa que los consumidores asignan a características específicas del producto, facilitando así la comprensión de las preferencias y prioridades en la elección de bienes alimentarios. En este marco, Herrero et al. (2003) conceptualizan la disposición a pagar como la cantidad máxima de recursos monetarios que un individuo estaría dispuesto a

sacrificar para lograr una mejora en la cantidad o calidad de un bien consumido, conservando simultáneamente su nivel inicial de bienestar o utilidad. Este concepto resulta clave para evaluar el valor económico de atributos no observables directamente en el mercado, como pueden ser aspectos ambientales, éticos o de salud, y para orientar políticas o estrategias comerciales que respondan a las preferencias reales del consumidor (Lizin et al., 2022).

Los productos alimenticios y otros bienes de consumo pueden ser descritos mediante un conjunto de atributos específicos que están sujetos a una evaluación subjetiva por parte de los consumidores, lo cual permite modelar y aproximar la función de utilidad individual asociada a dichas ofertas (Cantillo et al., 2020; Lacaze & Lupín, 2007). Esta perspectiva constituye un fundamento teórico esencial para el análisis del comportamiento del consumidor, que se funda como un eje central en múltiples investigaciones, dado que el consumidor representa el agente social fundamental dentro de las cadenas agroalimentarias. En la actualidad, se evidencia la presencia de transformaciones sustanciales en las tendencias y patrones de consumo, caracterizadas por un aumento en la conciencia ambiental y la preocupación por la salud personal (Ricci et al., 2018). Estas nuevas tendencias modifican las preferencias y decisiones de compra, propiciando un crecimiento en la demanda de ciertos productos que exhiben atributos específicos valorados por segmentos particulares de consumidores (Plank & Teichmann, 2018). Así, la identificación y comprensión de estos atributos y sus implicaciones en la satisfacción del consumidor resultan imprescindibles para el diseño de estrategias productivas y comerciales orientadas a la atención de estas demandas emergentes.

La valoración económica puede analizarse mediante diversas metodologías, que la economía clasifica generalmente en dos grandes grupos: técnicas de preferencias reveladas, como los métodos de precios de mercado y precios hedónicos; y técnicas de preferencias declaradas, incluyendo la valoración contingente y los experimentos de elección (Espinal-Monsalve et al., 2014).

Experimentos de elección discreta (EED)

Los experimentos de elección discreta constituyen una herramienta para evaluar la disposición a pagar por un producto determinado a partir de preferencias establecidas. Su objetivo es obtener las preferencias individuales respecto a un bien o servicio en distintos escenarios hipotéticos (Cantillo et al., 2020; Mazzocchi et al., 2019). En esta metodología, los participantes eligen entre dos o más alternativas de un producto o servicio específico, mientras se alteran sistemáticamente los niveles de sus atributos, utilizando un diseño experimental. Estas elecciones proporcionan información detallada sobre la valoración, la cual puede ser posteriormente estimada mediante técnicas de modelado de elección (Cantillo et al., 2020; Gonçalves et al., 2020).

Los EED se emplean para obtener la valoración de las personas sobre un producto o servicio en diferentes campos, algunos estudios se han centrado en evaluar la disposición a pagar de los consumidores por alimentos con certificaciones de sustentabilidad y protecciones de origen (Mazzocchi et al., 2019), sin embargo, muy pocos se han ocupado de bebidas alcohólicas tradicionales y de la influencia que puede tener el proceso de producción, el origen o las ecoetiquetas (Pérez-Akaki et al., 2021).

2.1.7. Procesos cognitivos

Los procesos cognitivos son las operaciones mentales fundamentales que permiten a los seres humanos adquirir, procesar, almacenar y utilizar la información (Schiebler et al., 2025). Según White et al. (2020) en el contexto de la percepción química y la interacción con los alimentos, estos procesos incluyen:

- **Atención:** La capacidad de enfocar y distribuir recursos mentales hacia ciertos estímulos sensoriales, modulando así cómo se perciben olores y sabores. La atención puede afinar la percepción de ciertos elementos de un estímulo complejo y determinar si es agradable o desagradable, afectando también la elección de alimentos.

- **Lenguaje:** Sirve como una herramienta poderosa para influir en la percepción de olores y sabores. Los nombres o descripciones de los alimentos pueden facilitar o incluso distorsionar la experiencia sensorial, influyendo en la aceptación y preferencia de los alimentos.
- **Memoria:** Permite recordar experiencias previas con ciertos sabores y olores, incluso a nivel inconsciente, lo que afecta las respuestas y preferencias posteriores hacia esos alimentos.
- **Aprendizaje:** A través de la exposición y la experiencia, las propiedades hedónicas (agradables o desagradables) de los sabores y olores se adquieren y modifican. Por ejemplo, la mera exposición repetida a ciertos sabores puede aumentar su preferencia, en ausencia incluso de asociaciones conscientes.
- **Metacognición:** Se refiere al conocimiento que la persona tiene sobre sus propias capacidades sensoriales, lo que puede influir indirectamente en la manera en que realiza evaluaciones sensoriales y las interpreta.

Estos procesos cognitivos “top-down” interactúan con la información sensorial “bottom-up” para construir la experiencia completa de la percepción del sabor y aroma en los alimentos, y son esenciales para comprender la complejidad de las respuestas humanas hacia la comida (Nacef et al., 2019).

Influencia de los procesos cognitivos (Top-down y Bottom-up) en la elección de alimentos

La toma de decisiones en la selección y adquisición de productos alimenticios está influenciada por una multiplicidad de factores que interactúan de manera compleja. En el transcurso de la vida cotidiana, los individuos despliegan continuamente procesos de exploración visual, evaluando y analizando la información visual disponible en su entorno para orientar y regular su conducta de forma adaptativa (Theeuwes, 2010). La información visual, captada mediante mecanismos atencionales, constituye un componente fundamental en la

orientación selectiva hacia estímulos relevantes, facilitando la identificación y discriminación de productos alimenticios que cumplen con criterios específicos vinculados a las necesidades, preferencias y objetivos del consumidor (Schiebler et al., 2025). Es bien sabido que los consumidores se ven influenciados por toda la información que rodea al producto de interés (Varela et al., 2010). Además, del estudio de la influencia que tiene la información en el nivel de agrado de un producto, diversos autores han documentado la influencia de los procesos cognitivos (ascendentes y descendentes) en la calidad de experiencia de consumo (Lee et al., 2006; Sinding et al., 2015).

Los procesos ascendentes (bottom-up) reflejan las características del estímulo que incide en los órganos sensoriales del perceptor, por otra parte, los procesos descendentes (top-down) reflejan las creencias, deseos y expectativas del perceptor; y la interacción entre ambos procesos, donde la percepción de un estímulo no solo depende de sus características objetivas, sino también de las expectativas y conceptos que el individuo tiene en mente, esto significa que la experiencia puede ser moldeada tanto por lo que realmente se está consumiendo (bottom-up) como por lo que se espera o se cree sobre ese consumo (top-down) (Lee et al., 2006; Shomstein, 2012).

Los procesos ascendentes (bottom-up) en la ciencia sensorial se enfocan en las propiedades físicas y químicas del alimento, considerando estas características como inherentes al producto mismo. Esta perspectiva refleja la tradición histórica de la ciencia sensorial, originada en un contexto de ciencia alimentaria y marketing (Köster, 2009), donde el énfasis está en describir y medir las cualidades sensoriales objetivas del producto (por ejemplo, aroma, amargor, dulzura, textura). En contraste, el estudio de la percepción y la cognición, que proviene de la psicología, insiste en que la percepción sensorial es inseparable de los procesos cognitivos superiores (top-down), como la memoria, la atención y las expectativas. Desde esta visión, la experiencia sensorial no es una simple recepción pasiva de estímulos, sino que está constantemente modulada por

cómo el cerebro procesa, interpreta y da significado a la información sensorial basándose en experiencias previas y contexto (White et al., 2020).

Por ello, incorporar estos procesos cognitivos en la ciencia sensorial puede aportar nuevas perspectivas para entender las interacciones persona-alimento, superando el enfoque estrictamente centrado en el producto y considerando la compleja naturaleza de la percepción alimentaria humana (Sinding et al., 2015; White et al., 2020).

Emociones en el consumo de alimentos

Actualmente, el estudio de las emociones provocadas por los alimentos es un tema de considerable interés, que también requiere un papel central para la cognición. Prescott (2017) menciona que para comprender plenamente las respuestas emocionales hacia los alimentos no basta con medir solo la experiencia afectiva básica (valencia y activación), sino que también es crucial considerar factores cognitivos, contextuales y diferencias individuales que construyen la experiencia emocional de forma completa.

Es decir, la cognición juega un papel central en cómo se forman y se expresan las emociones frente a los alimentos, pues las experiencias emocionales dependen tanto de la interpretación y evaluación personal como del contexto y experiencia previa del individuo. Por lo tanto, un enfoque científico riguroso en este campo debe integrar tanto las dimensiones afectivas como cognitivas para avanzar en la comprensión y predicción del comportamiento alimentario (Pinto et al., 2020; Schouteten et al., 2017).

Tradicionalmente, las emociones se han medido con una amplia variedad de métodos, siendo los enfoques cognitivos los más utilizados en la investigación científica (Kaneko et al., 2018). Entre ellos, se pueden definir a grandes rasgos dos subgrupos de métodos: los verbales y los gráficos. Los métodos de palabras se basan en la verbalización de la emoción sentida. Por otro lado, las herramientas gráficas se basan en la capacidad humana de atribuir intuitivamente

un significado emocional a los elementos gráficos (Toet et al., 2018), además, requieren un bajo esfuerzo cognitivo (Vidal et al., 2016). Entre ellas, destacan las herramientas gráficas basadas en expresiones, como los emojis faciales, que se consideran universales e intuitivos para expresar emociones (Jaeger et al., 2018) y pueden procesarse más rápido en comparación con las palabras emocionales (Kaneko et al., 2018; Toet et al., 2018), sin embargo, combinar ambos elementos puede mejorar la comprensión y reducir la ambigüedad, lo que puede ayudar a superar barreras lingüísticas y facilitar la comprensión en investigaciones, ya que las palabras ofrecen claridad sobre el significado esperado, mientras que los emojis pueden captar respuestas más espontáneas y no censuradas (Jaeger et al., 2021).

2.2. Marco de referencia

2.2.1. Raicilla

La raicilla es una bebida alcohólica de México, obtenida por destilación de mostos preparados a partir de azúcares extraídos de las “cabezas” o “piñas” maduras y cocidas, provenientes de diferentes agaves (principalmente *Agave maximiliana* Baker, *Agave inaequidens* Koch, *Agave valenciana*, *Agave angustifolia* Haw y *Agave rhodacantha*) y sometidas a fermentación alcohólica (PROY-NOM-257-SE-2021, 2021). Esta bebida cuenta con Denominación de Origen (DO), lo que significa que solo se puede producir en regiones bien definidas y su elaboración debe realizarse conforme lo indicado en la legislación de este país.

La producción se concentra únicamente en el estado de Jalisco, en las regiones costa y sierra (en los municipios de Atenguillo, Mixtlán, Talpa de Allende, San Sebastián del Oeste, Mascota, Guachinango, Atengo, Ayutla, Cuautla, Cabo Corrientes, Chiquilistlán, Juchitlán, Puerto Vallarta, Tecolotlán, Tenamaxtlán y Tomatlán), y en el estado de Nayarit (en el municipio Bahía de Banderas; Declaración General de Protección de La Denominación de Origen “Raicilla”., 2019). Adicionalmente, de acuerdo con el proceso específico utilizado de cocción

del maguey o agave, molienda, fermentación y destilación se obtienen tres categorías de raicilla: Clásica, Artesanal y Ancestral (PROY-NOM-257-SE-2021, 2021).

2.2.2. Composición fisicoquímica

De acuerdo con el PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-257-SE-2021 “Bebidas alcohólicas-Raicilla-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba”, la raicilla debe cumplir con las especificaciones de contenido de alcohol, extracto seco, alcoholes superiores, metanol, furfural, aldehídos, plomo y arsénico descritas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Especificaciones fisicoquímicas.

Especificaciones	Unidades	Mínimo	Máximo
Alcohol volumen a 20 °C	% Alc. Vol.	35	55
Extracto seco	g / L de Mezcal	0	5
Alcoholes superiores	mg / 100 mL de Alcohol anhidro	10	500
Metanol	mg / 100 mL de Alcohol anhidro	30	290
Furfural	mg / 100 mL de Alcohol anhidro	0	5
Aldehídos	mg / 100 mL de Alcohol anhidro	0	35
Plomo (Pb)	mg / L	-	0,5
Arsénico (As)	mg / L	-	0,5

2.2.3. Producción y comercialización de raicilla

La industria de la raicilla en Jalisco ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, reflejado en la expansión tanto en la producción como en la comercialización de esta bebida tradicional. Según el estudio "Radiografía Estadística de la Industria de la raicilla 2024", la producción se concentra principalmente en cuatro municipios: Mixtlán, Mascota, Cabo Corrientes y Atenguillo, que aglutinan el 80.9 % de las empresas dedicadas a la transformación del agave en raicilla. En este contexto, Mixtlán ha emergido como

el principal centro de producción en 2024, desplazando a Mascota que había ocupado esa posición en el año anterior (IIEGJ, 2024).

En cuanto a la comercialización, la oferta se caracteriza principalmente por la categoría de raicilla Artesanal, ofertada por aproximadamente el 82 % de las tabernas, cifra que se ha mantenido estable respecto al año previo (IIEGJ, 2024). Paralelamente, se incrementa la diversidad de productos con la inclusión de raicilla Clásica y raicilla Ancestral, ofrecidas por el 23 % y 24.6 % de los productores respectivamente, evidenciando una dinámica de innovación en las categorías disponibles en el mercado (Nava-Cárdenas et al., 2024).

El comercio exterior representa aún una proporción modesta dentro del total de operaciones de la industria; no obstante, ha mostrado un crecimiento notable. Tan solo entre 2021 y 2022, el valor de las exportaciones se incrementó un 567.9 %, pasando de 64,316 a 429,570 dólares. En el período comprendido de enero a agosto de 2023, este crecimiento continuó, con un aumento del 29.4 % respecto al año anterior. Estados Unidos de América se posiciona como el principal mercado de destino de la raicilla mexicana, lo cual señala oportunidades relevantes de internacionalización para el sector (IIEGJ, 2024).

En síntesis, la industria de la raicilla refleja un proceso de consolidación estructural y de diversificación productiva y comercial, con un fortalecimiento simultáneo de las capacidades locales y una apertura hacia mercados internacionales. Estos elementos sugieren un potencial significativo para el desarrollo sostenible de esta bebida tradicional, siempre bajo criterios de control de calidad y valorización cultural (Pablo-Cano et al., 2024).

2.3. Bibliografía

Álvarez-Ainza, M. L., García-Galaz, A., González-Ríos, H., Prado-Jaramillo, N., & Acedo-Félix, E. (2015). Sensory analysis and minor volatiles compounds of distilled from *Agave angustifolia* Haw (Bacanora). *Biotechnia*, 17(3), 22–29. www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971117005

- Askham, C., Arendt, R., Bachmann, T. M., Dias, L. C., Amadei, A., Scherer, L., Qian, H., Rupcic, L., Steen, B., Santos, J., Motoshita, M., do Carmo, B. B. T., Bjørn, A., Yokoi, R., Laurent, A., Sala, S., Miebs, G., Koffler, C., & Cinelli, M. (2025). Review of weighting methods for life cycle impact assessment under GLAM. *International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02564-2>
- Belletti, G., Marescotti, A., & Touzard, J.-M. (2017). Geographical Indications, Public Goods, and Sustainable Development: The Roles of Actors' Strategies and Public Policies. *World Development*, 98, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.004>
- Bhattacharyya, N., Goodell, A., Rogers, S., & Demond, A. (2019). Environmental impacts of wheat-based vodka production using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 231, 642–648. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.226>
- Callao, M. P., & Ruisánchez, I. (2018). An overview of multivariate qualitative methods for food fraud detection. *Food Control*, 86, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.034>
- Cantillo, J., Martín, J. C., & Román, C. (2020). Discrete choice experiments in the analysis of consumers' preferences for finfish products: A systematic literature review. *Food Quality and Preference*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103952>
- Ceballos-Magaña, S. G., Jurado, J. M., Martín, M. J., & Pablos, F. (2009). Quantitation of twelve metals in tequila and mezcal spirits as authenticity parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1372–1376. <https://doi.org/10.1021/jf803626k>
- Cely-Parra, P. A., Miguel, G. S., & Beltrán, M. (2023). Environmental and economic life cycle assessment of a spanish whisky. 18th International Conference on Environmental Science and Technology. Athens, Greece, 30 August to 2 September 2023.
- Civille, G. V., & Oftedal, K. N. (2012). Sensory evaluation techniques — Make “good for you” taste “good.” *Physiology & Behavior*, 107(4), 598–605. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.04.015>
- Contreras, J. (2019). Alimentación contemporánea entre la globalización y la patrimonialización. *Boletín de Antropología*, 34(58), 30–55. <https://doi.org/10.17533/udea.boan.v34n58a01>
- Cortés, V., Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S., & Talens, P. (2019). Monitoring strategies for quality control of agricultural products using visible and near-infrared spectroscopy: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 85, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.015>

- Cozzolino, D. (2021). The ability of near infrared (NIR) spectroscopy to predict functional properties in foods: Challenges and opportunities. *Molecules*, 26(22). <https://doi.org/10.3390/molecules26226981>
- Cozzolino, D. (2024). Low resolution food fingerprinting: vibrational spectroscopic methods for nondestructive food authentication. *Current Opinion in Food Science*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101229>
- Danezis, G. P., Tsagkaris, A. S., Camin, F., Brusic, V., & Georgiou, C. A. (2016). Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 85, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.02.026>
- Declaración General de Protección de La Denominación de Origen “Raicilla”., Diario Oficial de la Federación (2019). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5564454&fecha=28/06/2019&print=true
- Erick García-Barrón, S., & de Jesús Hernández Ana Luisa Gutiérrez-Salomón Héctor Escalona-Buendía Socorro Josefina Villanueva-Rodríguez, J. B. (2017). Mezcal y Tequila: análisis conceptual de dos bebidas típicas de México. *RIVAR*, 4(12), 138-162.
- Eriksson, O., Jonsson, D., & Hillman, K. (2016). Life cycle assessment of Swedish single malt whisky. *Journal of Cleaner Production*, 112, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.050>
- Espinal-Monsalve, N. E., Gómez-Zapata, J. D., Ramos-Ramírez, A. D., Alzate-Torres, M. C., & Mesa-Zapata, B. (2014). Valoración económica del Museo de Arte Moderno de Medellín. Una aplicación de experimentos de elección. *Ensayos de Economía*, 24(45).
- 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>
- Giannetti, V., Mariani, M. B., Marini, F., Torrelli, P., & Biancolillo, A. (2020). Grappa and Italian spirits: Multi-platform investigation based on GC–MS, MIR and NIR spectroscopies for the authentication of the Geographical Indication. *Microchemical Journal*, 157, 104896. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104896>
- Gonçalves, T., Lourenço-Gomes, L., & Pinto, L. M. C. (2020). Dealing with ignored attributes through an inferred approach in wine choice experiments. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2020.101551>
- Guerrero, L., Claret, A., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Enderli, G., Sulmont-Rossé, C., Hersleth, M., & Guàrdia, M. D. (2012). Cross-cultural conceptualization of the words Traditional and Innovation in a food context

- by means of sorting task and hedonic evaluation. *Food Quality and Preference*, 25(1), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.01.008>
- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Xicola, J., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Zakowska-Biemans, S., Sajdakowska, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Contel, M., Scalvedi, M. L., Granli, B. S., & Hersleth, M. (2009). Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite*, 52(2), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.008>
- Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Barroca, M. J., & Anjos, O. (2020). The link between the consumer and the innovations in food product development. *Foods*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/foods9091317>
- Herrero, L., Bedate, A., & Sanz, J. (2003). Valoración Económica de Bienes Públicos en relación al Patrimonio Cultural de Castilla y León. Propuesta Metodológica y Aplicación Empírica. *Revista de Investigación Económica y Social de Castilla y León*, 6.
- IIEGJ. (2024). Raicilla: una bebida artesanal en expansión. *Strategos Revista Digital del Instituto de Información Estadística y Geográfica*.
- International Organization for Standardization, I. (2006a). *ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- International Organization for Standardization, I. (2006b). *ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- Islam, S., & Cullen, J. M. (2021). Food traceability: A generic theoretical framework. *Food Control*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107848>
- Jaeger, S. R., Cadena, R. S., Torres-Moreno, M., Antúnez, L., Vidal, L., Giménez, A., Hunter, D. C., Beresford, M. K., Kam, K., Yin, D., Paisley, A. G., Chheang, S. L., & Ares, G. (2014). Comparison of check-all-that-apply and forced-choice Yes/No question formats for sensory characterisation. *Food Quality and Preference*, 35, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.02.004>
- Jaeger, S. R., Vidal, L., & Ares, G. (2021). Should emoji replace emotion words in questionnaire-based food-related consumer research? *Food Quality and Preference*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104121>
- Jaeger, S. R., Vidal, L., Kam, K., & Ares, G. (2017). Can emoji be used as a direct method to measure emotional associations to food names? Preliminary investigations with consumers in USA and China. *Food Quality and Preference*, 56, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.09.005>
- Jaeger, S. R., Xia, Y., Lee, P. Y., Hunter, D. C., Beresford, M. K., & Ares, G. (2018). Emoji questionnaires can be used with a range of population

- segments: Findings relating to age, gender and frequency of emoji/emoticon use. *Food Quality and Preference*, 68, 397–410. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.12.011>
- Johnson, S. R., Soprano, S. E., Wickham, L. M., Fitzgerald, N., & Edwards, J. C. (2017). Nuclear magnetic resonance and headspace solid-phase microextraction gas chromatography as complementary methods for the analysis of beer samples. *Beverages*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/beverages3020021>
- Kaneko, D., Toet, A., Brouwer, A.-M., Kallen, V., & van Erp, J. B. F. (2018). Methods for Evaluating Emotions Evoked by Food Experiences: A Literature Review. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00911>
- Klockmann, S., Reiner, E., Bachmann, R., Hackl, T., & Fischer, M. (2016). Food Fingerprinting: Metabolomic Approaches for Geographical Origin Discrimination of Hazelnuts (*Corylus avellana*) by UPLC-QTOF-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(48), 9253–9262. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04433>
- Köster, E. P. (2009). Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective. *Food Quality and Preference*, 20(2), 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.11.002>
- Lacaze, V., & Lupín, B. (2007). La aplicación del Método de Valuación Contingente a la estimación de la disposición a pagar por alimentos diferenciados. Caso de estudio: El pollo fresco orgánico. Tercer Congreso Nacional de Estudiantes de Postgrado de Economía.
- Lazo, O., García-Ortíz, A. L., Pardo, J., & Guerrero, L. (2025). Mezcal Characterization Through Sensory and Volatile Analyses. *Foods*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/foods14030402>
- Lee, L., Frederick, S., & Ariely, D. (2006). Try It, You'll Like It The Influence of Expectation, Consumption, and Revelation on Preferences for Beer. *Psychol Sci*, 17(12). <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01829>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104678>
- Llano, S. M., Muñoz-Jiménez, A. M., Jiménez-Cartagena, C., Londoño-Londoño, J., & Medina, S. (2018). Untargeted metabolomics reveals specific withanolides and fatty acyl glycoside as tentative metabolites to differentiate organic and conventional *Physalis peruviana* fruits. *Food Chemistry*, 244, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.026>

- Mahieu, B., Visalli, M., Thomas, A., & Schlich, P. (2020). Free-comment outperformed check-all-that-apply in the sensory characterisation of wines with consumers at home. *Food Quality and Preference*, 84, 103937. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103937>
- Marion, H., Luisa, M., & Sebastian, R. (2023). Adoption of Geographical Indications and origin-related food labels by smes – A systematic literature review. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2023.100041>
- Marques, C., Correia, E., Dinis, L. T., & Vilela, A. (2022). An Overview of Sensory Characterization Techniques: From Classical Descriptive Analysis to the Emergence of Novel Profiling Methods. *Foods*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/foods11030255>
- Mazzocchi, C., Ruggeri, G., & Corsi, S. (2019). Consumers' preferences for biodiversity in vineyards: A choice experiment on wine. *Wine Economics and Policy*, 8(2), 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2019.09.002>
- Medina, S., Pereira, J. A., Silva, P., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2019). Food fingerprints – A valuable tool to monitor food authenticity and safety. *Food Chemistry*, 278, 144–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.046>
- Mozqueda-Balderas, R., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., & Vargas-Lopez, S. (2018). Evaluación sensorial del mezcal de la localidad de Totomochapa, Tlapa de Comonfort, Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(10), 81–86.
- Nacef, M., Lelièvre-Desmas, M., Symoneaux, R., Jombart, L., Flahaut, C., & Chollet, S. (2019). Consumers' expectation and liking for cheese: Can familiarity effects resulting from regional differences be highlighted within a country? *Food Quality and Preference*, 72, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.10.004>
- Nava-Cárdenas, J. Q., Palacios Rangel, M. I., Ocampo-Ledesma, J. G., Aguilar-Ávila, J., & Ortiz-Martínez, G. (2024). Cadena de valor y comercialización de la raicilla en el municipio de Mascota, Jalisco. *Textual*, 83, 1–40. <https://doi.org/10.5154/r.textual/2023.82.1>
- Oppermann, A. K. L., de Graaf, C., Scholten, E., Stieger, M., & Piqueras-Fiszman, B. (2017). Comparison of Rate-All-That-Apply (RATA) and Descriptive sensory Analysis (DA) of model double emulsions with subtle perceptual differences. *Food Quality and Preference*, 56, 55–68. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.09.010>
- 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 (Switzerland)*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/su16198633>

- Pérez-Akaki, P., Vega-Vera, N. V., Enríquez-Caballero, Y. P., & Velázquez-Salazar, M. (2021). Designation of origin distillates in Mexico: Value chains and territorial development. *Sustainability (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/su13105496>
- Pinto, V. R. A., Teixeira, C. G., Lima, T. S., De Almeida Prata, E. R. B., Vidigal, M. C. T. R., Martins, E., Perrone, Í. T., & de Carvalho, A. F. (2020). Health beliefs towards kefir correlate with emotion and attitude: A study using an emoji scale in Brazil. *Food Research International*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108833>
- Plank, A., & Teichmann, K. (2018). A facts panel on corporate social and environmental behavior: Decreasing information asymmetries between producers and consumers through product labeling. *Journal of Cleaner Production*, 177, 868–877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.195>
- Pontes, M. J. C., Santos, S. R. B., Araújo, M. C. U., Almeida, L. F., Lima, R. A. C., Gaião, E. N., & Souto, U. T. C. P. (2006). Classification of distilled alcoholic beverages and verification of adulteration by near infrared spectrometry. *Food Research International*, 39(2), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.005>
- Power, A. C., Jones, J., NiNeil, C., Geoghegan, S., Warren, S., Currivan, S., & Cozzolino, D. (2021). What's in this drink? Classification and adulterant detection in Irish Whiskey samples using near infrared spectroscopy combined with chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 5256–5263. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11174>
- Prescott, J. (2017). Some considerations in the measurement of emotions in sensory and consumer research. *Food Quality and Preference*, 62, 360–368. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.04.005>
- PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-257-SE-2021. (2021). Bebidas alcohólicas-Raicilla-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba. pp. 1–16. Diario Oficial de la Federación.
- 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>
- Ricci, E. C., Banterle, A., & Stranieri, S. (2018). Trust to Go Green: An Exploration of Consumer Intentions for Eco-friendly Convenience Food. *Ecological Economics*, 148, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.02.010>
- Rousseau, S., & Vranken, L. (2013). Green market expansion by reducing information asymmetries: Evidence for labeled organic food products. *Food Policy*, 40, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.01.006>

- Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2021). Sensory analysis and consumer research in new product development. *Foods*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/foods10030582>
- Sánchez-Fernández, R. E., Pérez-López, A., Morales-Solis, A., Manilla-Tellez, Y., Reyes-Carmona, E. D., & Avila-Urbe, G. (2025). Chemistry of Mezcal: Volatile Profile of Artisanal Mezcal Made from Wild Agaves of Oaxaca. *Foods*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/foods14071222>
- Schiebler, T., Lee, N., & Brodbeck, F. C. (2025). Expectancy-disconfirmation and consumer satisfaction: A meta-analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 54, 91-112. <https://doi.org/10.1007/s11747-024-01078-x>
- Schouteten, J. J., De Steur, H., Sas, B., De Bourdeaudhuij, I., & Gellynck, X. (2017). The effect of the research setting on the emotional and sensory profiling under blind, expected, and informed conditions: A study on premium and private label yogurt products. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 169–186. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11495>
- Shomstein, S. (2012). Cognitive functions of the posterior parietal cortex: top-down and bottom-up attentional control. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnint.2012.00038>
- Silvestri, C., Aquilani, B., Piccarozzi, M., & Ruggieri, A. (2020). Consumer Quality Perception in Traditional Food: Parmigiano Reggiano Cheese. *Journal of International Food and Agribusiness Marketing*, 32(2), 141–167. <https://doi.org/10.1080/08974438.2019.1599754>
- Sinding, C., Coureaud, G., Bervialle, B., Martin, C., Schaal, B., & Thomas-Danguin, T. (2015). Experience shapes our odor perception but depends on the initial perceptual processing of the stimulus. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(5), 1794–1806. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0883-8>
- Sisco, E., & Dake, J. (2016). Detection of low molecular weight adulterants in beverages by direct analysis in real time mass spectrometry. *Analytical Methods*, 8(14), 2971–2978. <https://doi.org/10.1039/c6ay00292g>
- Souard, F., Delporte, C., Stoffelen, P., Thévenot, E. A., Noret, N., Dauvergne, B., Kauffmann, J. M., Van Antwerpen, P., & Stévigny, C. (2018). Metabolomics fingerprint of coffee species determined by untargeted-profiling study using LC-HRMS. *Food Chemistry*, 245, 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.022>
- Stolzenbach, S., Bredie, W. L. P., & Byrne, D. V. (2013). Consumer concepts in new product development of local foods: Traditional versus novel honeys. *Food Research International*, 52(1), 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.030>

- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Toet, A., Kaneko, D., Ushiyama, S., Hoving, S., de Kruijf, I., Brouwer, A.-M., Kallen, V., & van Erp, J. B. F. (2018). EmojiGrid: A 2D Pictorial Scale for the Assessment of Food Elicited Emotions. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02396>
- Varela, P., & Ares, G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. *Food Research International*, 48(2), 893–908. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>
- Varela, P., Ares, G., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2010). Influence of brand information on consumers' expectations and liking of powdered drinks in central location tests. *Food Quality and Preference*, 21(7), 873–880. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.05.012>
- Vázquez-Rowe, I., Cáceres, A. L., Torres-García, J. R., Quispe, I., & Kahhat, R. (2017). Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4369–4383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.136>
- Vera-Guzmán, A. M., Guzmán-Gerónimo, R. I., López, M. G., & Chávez-Servia, J. L. (2018). Volatile compound profiles in mezcal spirits as influenced by agave species and production processes. *Beverages*, 4(1–9). <https://doi.org/10.3390/beverages4010009>
- Vidal, L., Ares, G., & Jaeger, S. R. (2016). Use of emoticon and emoji in tweets for food-related emotional expression. *Food Quality and Preference*, 49, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.12.002>
- Webb, E., Burgess, P. J., Pexas, G., & McKnight, C. J. (2025). The life cycle assessment of trees outside woodlands: a systematic review of methodological approaches. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 30, 2725–2744. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02559-z>
- White, T. L., Thomas-Danguin, T., Olofsson, J. K., Zucco, G. M., & Prescott, J. (2020). Thought for food: Cognitive influences on chemosensory perceptions and preferences. *Food Quality and Preference*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103776>

3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y SENSORIAL DE RAICILLAS PARA DISCRIMINAR ESPECIES DE AGAVE, ORÍGENES GEOGRÁFICOS Y PROCESOS DE MANUFACTURA

RESUMEN

La raicilla es un destilado de agave con Denominación de Origen cuya diversidad química y sensorial depende de la especie utilizada, la región de producción y las prácticas tradicionales de cocción, fermentación y destilación. El objetivo de este estudio fue caracterizar seis muestras de raicilla, pertenecientes a las categorías ancestral y artesanal, elaboradas a partir de *Agave angustifolia* Haw y *A. maximiliana* Baker en las regiones costa y sierra del estado de Jalisco, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos, compuestos volátiles, análisis sensorial descriptivo y aceptabilidad del consumidor, así como analizar la relación entre estas variables mediante técnicas multivariadas. Los parámetros fisicoquímicos mostraron variabilidad asociada al tipo de agave y al proceso de manufactura. El contenido alcohólico y el extracto seco se mantuvieron dentro de los límites establecidos en el PROY-NOM-257-SE-2021. Los compuestos volátiles acetaldehído, metanol, n-propanol y acetato de etilo revelaron diferencias significativas entre tabernas, sin embargo, se mantuvieron dentro de los rangos permitidos. Sensorialmente, atributos como aroma a agave, ahumado, ardiente, sabor amargo y notas alcohólicas diferenciaron las muestras. La aceptabilidad fue mayor en las raicillas producidas con *Agave angustifolia* Haw en la región costa. El análisis PLSR evidenció relaciones consistentes entre variables químicas y sensoriales, particularmente entre el grado alcohólico y los atributos de alcohol, así como entre el acetaldehído y el dulzor, lo que confirma la influencia de la composición química en la percepción sensorial del producto.

Palabras clave: análisis descriptivo cuantitativo, cromatografía de gases, destilado de agave.

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Director de Tesis: Dr. Anastacio Espejel García.

PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY CHARACTERIZATION OF RAICILLAS TO DISCRIMINATE AGAVE SPECIES, GEOGRAPHICAL ORIGINS, AND MANUFACTURING PROCESSES

ABSTRACT

Raicilla is an agave distillate with Denomination of Origin whose chemical and sensory diversity depends on the agave species used, the production region, and traditional practices of cooking, fermentation, and distillation. The objective of this study was to characterize six raicilla samples, belonging to the ancestral and artisanal categories, produced from *Agave angustifolia* Haw and *A. maximiliana* Baker in the Coastal and mountain regions of the state of Jalisco, through the evaluation of physicochemical parameters, volatile compounds, descriptive sensory analysis, and consumer acceptability, as well as to analyze the relationships among these variables using multivariate techniques. Physicochemical parameters showed variability associated with the agave species and manufacturing process. Alcohol content and dry extract remained within the limits established by PROY-NOM-257-SE-2021. The volatile compounds acetaldehyde, methanol, n-propanol, and ethyl acetate showed significant differences among distilleries; however, all values were within the permitted ranges. Sensory attributes such as agave aroma, smoky, burning, bitter taste, and alcoholic notes differentiated the samples. Acceptability was higher for raicillas produced from *Agave angustifolia* Haw in the Coastal region. PLSR analysis revealed consistent relationships between chemical and sensory variables, particularly between alcohol content and alcoholic attributes, as well as between acetaldehyde and sweetness, confirming the influence of chemical composition on the sensory perception of the product.

Keywords: quantitative descriptive analysis, gas chromatography, agave distillate.

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Postgraduate Program en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Thesis Director: Dr. Anastacio Espejel García.

3.1. Introducción

La raicilla es una bebida tradicional mexicana, obtenida de la destilación de mostos fermentados de los azúcares extraídos de las “cabezas” o “piñas” maduras y cocidas de diversas especies de agave, principalmente *Agave maximiliana* Baker, *A. inaequidens* Koch, *A. valenciana*, *A. angustifolia* Haw y *A. rhodacantha* (PROY-NOM-257-SE-2021, 2021). Aunque presenta similitudes fisicoquímicas con destilados de agave, tales como el mezcal y el tequila; la diversidad de materias primas y de procesos de elaboración le confiere a la raicilla un perfil sensorial distintivo (Carreon-Alvarez et al., 2025). De acuerdo con las prácticas específicas de cocción, molienda, fermentación y destilación, la raicilla se clasifica en tres categorías productivas: clásica, artesanal y ancestral. Su producción está protegida por una Denominación de Origen (DO), lo que restringe su elaboración a regiones geográficas definidas y establece lineamientos técnicos obligatorios conforme a la legislación mexicana vigente; en este sentido, la producción de la raicilla se concentra en dos regiones centrales del estado de Jalisco, costa y sierra (Declaración General de Protección de La Denominación de Origen “Raicilla”.., 2019).

La presencia de múltiples especies de agave y las variaciones en prácticas de cocción, molienda, fermentación y destilación contribuyen a una amplia diversidad de perfiles sensoriales, lo cual es comparable a la variabilidad observada en otros destilados de agave como el mezcal, donde la especie, el terroir y el proceso han demostrado influir significativamente en las composiciones volátiles y en las percepciones sensoriales (Lazo et al., 2025; Vera-Guzmán et al., 2018).

En las bebidas alcohólicas, el aroma primario está determinado por la materia prima utilizada; en el caso de los destilados de agave, este se asocia principalmente con la especie de agave empleada. Por su parte, el aroma secundario se origina durante las etapas de fermentación, destilación y, en algunos casos, maduración del producto (De León-Rodríguez et al., 2006; Peña-

Alvarez et al., 2004; Sánchez-Fernández et al., 2025). El perfil aromático está conformado por una amplia diversidad de compuestos volátiles, entre los que se incluyen compuestos mayoritarios presentes en concentraciones relativamente altas, como el etanol, el metanol y otros alcoholes superiores, algunos de los cuales pueden resultar tóxicos, por lo que su concentración debe ser controlada conforme a las normas oficiales vigentes (Acosta-García et al., 2025; Ávila-Reyes et al., 2025). Asimismo, existen compuestos minoritarios presentes en bajas concentraciones, tales como ésteres, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, ácidos grasos, furanos y terpenos, los cuales, a pesar de su baja abundancia, desempeñan un papel fundamental en la construcción del aroma y sabor característicos de los destilados, debido a los efectos sinérgicos que se generan a partir de su interacción (De León-Rodríguez et al., 2006; Lachenmeier et al., 2005; Quintero Arenas et al., 2020; Vera-Guzmán et al., 2010). Sin embargo, la calidad de estas bebidas no depende únicamente del cumplimiento de los límites normativos, sino también de su aceptación por parte del consumidor, la cual está directamente relacionada con la percepción sensorial generada por la interacción de los compuestos volátiles y no volátiles en el sistema sensorial humano (Barajas-Ramírez et al., 2024; Siebert et al., 2018; Tešević et al., 2005).

El entendimiento de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de bebidas alcohólicas es fundamental para diferenciar productos auténticos de imitación, para caracterizar su calidad y para comprender factores tales como, la biología del agave, la microbiota de fermentación, las condiciones geográficas y tecnología utilizada influyen en el perfil final de estos destilados (Cozzolino, 2024; García-Barrón, 2023). Estudios previos han demostrado el valor de integrar análisis instrumentales con evaluación sensorial descriptiva para discriminar entre categorías de destilados de agave y correlacionar características químicas con percepciones sensoriales (López-Aguilar et al., 2025; Villanueva-Rodríguez & Escalona-Buendia, 2012). Sin embargo, existe una escasez considerable en la literatura, con respecto a la raicilla, particularmente en relación con la caracterización integral de muestras del destilado, producidas con distintas

especies de agave, en diferentes orígenes geográficos y bajo distintos procesos de manufactura.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar fisicoquímica y sensorialmente una selección representativa de raicillas, con el fin de identificar atributos que permitan discriminar efectos de dos especies de agave, producidas en dos zonas geográficas representativas, bajos los procesos de elaboración artesanal y ancestral, los cuales proporcionarán una base científica para la autenticación, diferenciación de producto y mejor comprensión del papel de estos factores en la diversidad sensorial de la raicilla.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Muestras de raicillas

Las raicillas utilizadas en este estudio se obtuvieron de la "Zona Denominación de Origen Raicilla"; las características de cada muestra, incluida la región de origen, proceso de manufactura y especie de agave se presentan en el Cuadro 2. Los 18 destilados analizados fueron de producción comercial, por consiguiente, no hubo injerencia en las condiciones de elaboración. Las seis muestras fueron proporcionadas directamente por los productores y/o por el Consejo Mexicano Promotor de la Raicilla A.C.; para cada destilado se recolectaron tres botellas de 750 mL procedentes de distintos lotes (n = 18).

Cuadro 2. Características de producción de las raicillas estudiadas.

Muestras	Año de muestreo	Región	Proceso	Especie
RR-ATC	2023	Costa	Artesanal	<i>A. angustifolia</i> Haw
LV-AAC	2023	Costa	Ancestral	<i>A. angustifolia</i> Haw
DC-AAC	2023	Costa	Ancestral	<i>A. angustifolia</i> Haw
DG-MTS	2023	Sierra	Artesanal	<i>A. maximiliana</i> Baker
LD-MTS	2023	Sierra	Artesanal	<i>A. maximiliana</i> Baker
TS-MTS	2023	Sierra	Artesanal	<i>A. maximiliana</i> Baker

Las muestras fueron conservadas a 20 °C en un entorno oscuro, en botellas herméticamente selladas; al momento de abrir las botellas se redujo al mínimo la exposición al aire para evitar alteraciones fisicoquímicas, con el propósito de cumplir con los estándares establecidos y asegurar la comparabilidad con otras bebidas alcohólicas (NMX-V-013-NORMEX-2019, 2019; NMX-V-017-NORMEX-2018, 2018; PROY-NOM-257-SE-2021, 2021). Las determinaciones se realizaron a una presión atmosférica aproximada de 77 kPa, correspondiente a una altitud de ~2,250 msnm (Texcoco, Estado de México).

3.2.2. Análisis fisicoquímico

Determinación de pH

El pH se determinó utilizando un potenciómetro Orion 410A (Thermo Scientific Orion, Saint Paul, MN, EUA). El equipo se calibró con soluciones tampón estándar (pH 4.0 y 7.0), de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Las mediciones se efectuaron introduciendo el electrodo en un recipiente con la muestra, asegurando la estabilización de la lectura antes del registro. La medición se realizó por triplicado (una botella por repetición). Todas las determinaciones se realizaron a 20 ± 2 °C, verificándose la temperatura mediante un termómetro (Carreon-Alvarez et al., 2025).

Determinación de la Densidad

La densidad de las muestras se determinó siguiendo el procedimiento descrito por Carreon-Alvarez et al. (2025). Se empleó un medidor de densidad DSA 5000 (Anton Paar, Graz, Austria), el cual opera mediante el principio de tubo en U oscilante con control automático de temperatura. Antes de cada sesión analítica, el instrumento se calibró utilizando agua destilada, la calibración se verificó confirmando que la lectura del agua a 20 °C correspondiera a 0.9982 g/cm³, dentro de la tolerancia establecida por el equipo. Las muestras se homogeneizaron suavemente antes del análisis y se introdujeron en la celda de medición empleando una jeringa desgasificada para evitar la formación de

burbujas. Las mediciones se realizaron a 20 °C, temperatura regulada automáticamente por el equipo. Cada lectura se registró únicamente después de que el oscilador alcanzara estabilidad, conforme al criterio interno del instrumento. Para cada muestra se realizaron tres repeticiones, los valores finales se expresaron en g/cm³.

Contenido alcohólico (% Alc. Vol.)

El contenido alcohólico (% Alc. Vol.) de las muestras se determinó mediante el método volumétrico, utilizando un alcoholímetro Gay-Lussac TDM ROBSAN No. CAT010020 calibrado a 20 °C (fabricado por Laboratorio de México, México), manteniendo la temperatura de las muestras de raicilla a 20 °C ± 2 °C, conforme a lo establecido en la norma NMX-V-013-NORMEX-2019. Cada muestra se transfirió con cuidado a una probeta de vidrio, evitando la formación de burbujas y minimizando la exposición al aire. Posteriormente, el alcoholímetro se introdujo lentamente hasta permitir su libre flotación sin tocar las paredes del cilindro. Una vez estabilizado, la lectura del menisco se registró en la escala correspondiente del instrumento. Todas las mediciones se efectuaron por triplicado para cada una de las muestras.

Determinación de extracto seco y cenizas

Las determinaciones de extracto seco y cenizas se realizaron conforme al método gravimétrico establecido en la NMX-V-017-NORMEX-2018. En ambos casos, se emplearon cápsulas previamente lavadas, secadas y llevadas a una estufa a 100 ± 5 °C, hasta alcanzar masa constante. Tras enfriar en desecador durante una hora se registró la masa inicial (M_v). Para cada análisis, se transfirió una alícuota de la muestra directamente a la cápsula, registrándose nuevamente el peso para obtener la masa de la muestra por diferencia gravimétrica. Dado que la muestra es un destilado alcohólico (raicilla), el volumen equivalente de la alícuota (V, mL) se determinó dividiendo la masa de la muestra entre su densidad

previamente medida. Cada determinación (extracto seco y cenizas) se realizaron por triplicado para cada una de las muestras.

Extracto seco: Las muestras se evaporaron primero en baño María para eliminar el etanol y posteriormente se secaron en estufa a 100 ± 5 °C hasta alcanzar masa constante (variación ≤ 2 mg entre pesadas consecutivas). La masa final (Me) se registró una vez enfriada en desecador. El extracto seco se calculó empleando la ecuación indicada en la norma:

$$Es = \frac{[Me - Mv] \times 1000}{V} \quad (1)$$

Es = Cantidad de extracto seco, expresado en g/l.

Me = Peso de la capsula, crisol o charola más extracto seco en g.

Mv = Peso de la cápsula, crisol o charola vacía en g.

V = Volumen de la muestra empleada en ml.

1000 = Factor de conversión a litros.

Cenizas: Para la determinación de cenizas, después de la evaporación inicial en baño María, las cápsulas se sometieron a calcinación en mufla a 525 ± 25 °C hasta obtener cenizas blancas o gris claras y masa constante (variación ≤ 2 mg). Tras enfriar en desecador, se registró la masa final (Mc). La cantidad de cenizas se calculó mediante:

$$C = \frac{[Mc - Mv] \times 10^3}{V} \quad (2)$$

C = Cantidad de cenizas en g/l.

Mc = Peso de la capsula o crisol más cenizas, en g.

Mv = Peso de la cápsula o crisol, en g.

V = Volumen de la muestra empleada en ml.

1000 = Factor de conversión a gramos por litro.

3.2.3. Determinación de compuestos volátiles

El análisis de compuestos volátiles se realizó con el objetivo de cuantificar el contenido de metanol, acetaldehído, n-propanol y acetato de etilo en seis muestras de raicilla. Para ello se emplearon dos métodos cromatográficos, seleccionados en función de las características fisicoquímicas de cada analito.

Método 1: La determinación de metanol, acetaldehído y n-propanol se realizó mediante cromatografía de gases utilizando un equipo PerkinElmer Autosystem XL (PerkinElmer, Waltham, MA, EUA) equipado con un detector de ionización de flama (FID) y una columna capilar SP-2380 (30 m × 0.25 mm ID); las condiciones cromatográficas consistieron en una temperatura de inyector y detector de 200 °C, helio como gas de arrastre a 25 mL/min, y un programa de horno de 45 °C (1 min), seguido de un incremento de 15 °C/min hasta 150 °C y mantenimiento por 5 min.

Método 2: El acetato de etilo se cuantificó mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) en un sistema GCMS-QP2010 SE (Shimadzu, Kyoto, Japón) equipado con una columna Rxi-5Sil MS (30 m × 0.25 mm ID), operado en modo scan con helio como gas de arrastre (36.5 cm/s de velocidad lineal), una temperatura de la fuente de iones de 200 °C y una interfase a 200 °C, confirmándose la identidad del compuesto con base en sus espectros de masas y tiempos de retención.

La cuantificación de todos los analitos, obtenidos por los métodos anteriores, se llevó a cabo mediante curvas de calibración externas preparadas con estándares de referencia, metanol (Sigma Aldrich) de 99.8 %, acetaldehído (Fluka) de 99.0 %, 1-propanol (JT Baker) de 99.9 % y acetato de etilo (Sigma Aldrich) de 99.8 % de pureza. Los resultados de metanol, acetaldehído, propanol y acetato de etilo se reportaron en mg/100 mL de alcohol anhidro.

3.2.4. Análisis sensorial

Selección de panelistas

La selección de panelistas se realizó mediante un análisis secuencial utilizando una prueba triangular, con el propósito de identificar individuos con adecuada capacidad de discriminación dentro de un grupo inicial de 24 participantes (Hernández-Montes, 2007). El número de juicios correspondiente a las distintas probabilidades de acierto; $p = 0$ (n_0 , no habilidad), $p = 1$ (n_1 , habilidad infalible), $p = p_0$ (n_{p0} , habilidad máxima inaceptable) y $p = p_1$ (n_{p1} , habilidad mínima aceptable), así como los límites de rechazo (líneas inferior y superior), se determinaron con $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.10$ y una proporción esperada de discriminadores del 50 %, siguiendo el procedimiento descrito por Pedret et al. (2003). Bajo estos parámetros, se obtuvieron los valores $n_0 = 4$, $n_1 = 5$, $n_{p0} = 9$ y $n_{p1} = 11$. La selección final de panelistas se efectuó con base en estos criterios, panelista rechazado aquel que presentó cuatro juicios incorrectos consecutivos o cuyos resultados se ubicaron en o por debajo del límite de rechazo; panelista aceptado aquel que alcanzó cinco juicios correctos consecutivos o que superó la línea de aceptación establecida. Quedando finalmente 15 jueces en el panel, con edades comprendidas entre 20 y 35 años, siendo 60 % hombres y 40 % mujeres.

Perfil descriptivo

El perfil descriptivo se obtuvo mediante la técnica de Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA, por sus siglas en inglés), desarrollada en cuatro etapas: generación y consenso de atributos, definición de referencias, entrenamiento y evaluación final, todas coordinadas por un líder de panel. Para la generación de atributos, se presentaron al panel cuatro muestras representativas de raicilla y se solicitó elaborar una lista de descriptores sensoriales que permitieran distinguir y caracterizar a las muestras. Posteriormente, mediante discusión y consenso, el panel depuró y unificó los términos propuestos, obteniéndose un total de 15 atributos sensoriales que conformaron el perfil descriptivo final.

Los estándares utilizados como referencias sensoriales fueron evaluados individualmente por cada juez y posicionados en una escala de intervalo de una línea de 15.4 cm de longitud, con puntos de anclaje ubicados a 1.25 cm hacia adentro de cada extremo. La posición final asignada a cada referencia correspondió al promedio aritmético de las posiciones señaladas por los jueces. Los estándares de referencia empleados para cada atributo sensorial evaluado en las raicillas se muestran en el Cuadro 3.

El entrenamiento de los jueces se llevó a cabo a lo largo de 10 sesiones programadas, cada una con una duración de dos horas. Durante las sesiones, los jueces realizaron evaluaciones monádicas de las muestras de raicilla, empleando un formato estandarizado que incluía las escalas de los descriptores sensoriales y sus correspondientes referencias. A lo largo del proceso se registró y analizó el desempeño individual de cada juez, así como el funcionamiento global del panel, con el fin de asegurar la consistencia, discriminabilidad y repetibilidad de las evaluaciones (Lawless & Heymann, 2010; Tabary et al., 2021). En total, el panel recibió 20 horas de entrenamiento distribuidas en un periodo de cinco semanas, con una frecuencia de dos sesiones por semana.

La evaluación final se realizó en el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Universidad Autónoma Chapingo, en cabinas individuales bajo iluminación tipo luz de día y temperatura controlada (22 °C). Cada juez tuvo acceso a las referencias, agua y galletas habaneras clásicas (Gamesa®, México) para la neutralización del paladar. Se sirvieron 15 mL de cada raicilla en vasos de vidrio tipo shot de 29.5 mL (conocidos localmente como “caballitos”) cubiertos con vidrio de reloj codificados con números aleatorios de tres dígitos (Daute et al., 2021), las muestras fueron balanceadas y aleatorizadas, y se presentaron de forma monádica a cada uno de los jueces (Torres-Salas & Hernández-Montes, 2021). La evaluación se realizó en tres repeticiones independientes, llevadas a cabo en días consecutivos, con una duración total acumulada de nueve horas.

Cuadro 3. Atributos, definiciones y estándares de referencia generados por el panel para el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) de raicillas.

Atributo	Definición	Referencia	
		Baja	Alta
Piernas/lágrimas	Formación de gotas que se adhieren y fluye por la pared del vaso tras la agitación del destilado.	45 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 2.6 cm.	20 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 11.2 cm.
Aroma ahumado	Aroma asociado al proceso de ahumado durante la cocción de las piñas de agave.	Queso provolone Marchesotti, Texcoco (1 g). Valor en escala = 1.9 cm.	Queso provolone Marchesotti, Texcoco (9 g). Valor en escala = 12.4 cm.
Aroma a agave	Aroma que evoca al agave.	5 mL de concentrado de infusión de agave (Yerbatex®) en 1 L de agua. Valor en escala = 3.1 cm.	20 mL de concentrado de infusión de agave (Yerbatex®) en 1 L de agua. Valor en escala = 13.9 cm.
Aroma a alcohol	Aroma característico del alcohol etílico.	25 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 3.8 cm.	45 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 13.1 cm.
Aroma cítrico	Aroma asociado a la cáscara de cítricos, específicamente de naranja.	Cáscara de naranja Valencia (2 g). Valor en escala = 1.4 cm.	Cáscara de naranja Valencia (10 g). Valor en escala = 11.3 cm.
Aroma amaderado	Aroma que evoca a madera.	Viruta de madera (5 g) en 1 L de alcohol etílico al 45 %. Valor en escala = 4.1 cm.	Viruta de madera (15 g) en 1 L de alcohol etílico al 25 %. Valor en escala = 11.5 cm.

Cuadro 3. Atributos, definiciones y estándares de referencia generados por el panel para el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) de raicillas (Continuación).

Atributo	Definición	Referencia	
		Baja	Alta
Astringencia	Sensación química de sequedad en boca o contracción de los tejidos de la misma.	0.2 % de sulfato de aluminio (Sigma-Aldrich®) en agua. Valor en escala = 3.2 cm.	10 % de sulfato de aluminio (Sigma-Aldrich®) en agua. Valor en escala = 12.9 cm.
Acidez	Sensación básica de sabor producida por los ácidos.	0.2 % de ácido ascórbico (Laboratorios Laitz, México) en agua. Valor en escala = 1.9 cm.	7.5 % de ácido ascórbico (Laboratorios Laitz, México) en agua. Valor en escala = 13.6 cm.
Dulzor	Percepción de uno de los gustos básicos: dulce.	0.5 % de azúcar morena de caña (Zulka®) en agua. Valor en escala = 1.2 cm.	1.8 % de azúcar morena de caña (Zulka®) en agua. Valor en escala = 10.7 cm.
Picor	Sensación química del picor característico del alcohol.	25 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 3.5 cm.	45 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 12.7 cm.
Ardiente	Sensación química de recalentamiento en la cavidad bucal. No causada por temperatura.	Mezcal Espadín 400 Conejos® ajustado 25 % Alc. Vol. Valor en escala = 3.8 cm.	Mezcal Espadín 400 Conejos® 38 % Alc. Vol. Valor en escala = 12.2 cm.
Sabor a agave	Aroma retronasal que evoca al agave.	5 mL de concentrado de infusión de agave (Yerbatex®) en 1 L de agua. Valor en escala = 3 cm.	20 mL de concentrado de infusión de agave (Yerbatex®) en 1 L de agua. Valor en escala = 13.4 cm.

Cuadro 3. Atributos, definiciones y estándares de referencia generados por el panel para el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) de raicillas (Continuación).

Atributo	Definición	Referencia	
		Baja	Alta
Sabor a alcohol	Aroma retronasal característico del alcohol etílico en destilados de agave.	25 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 4.1 cm.	45 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 14 cm.
Sabor amargo	Sensación básica de sabor producida por la cafeína.	Solución de cafeína (Productos químicos Monterrey, México) al 0.04 %. Valor en escala = 1.5 cm.	Solución de cafeína (Productos químicos Monterrey, México) al 6 %. Valor en escala = 3.5 cm. Valor en escala = 12.8 cm.
Sabor residual a alcohol	Persistencia del aroma retronasal del alcohol en la cavidad bucal.	25 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 3.8 cm.	45 % de alcohol etílico grado alimenticio (ALMEX®) en agua. Valor en escala = 14.2 cm.

Nivel de agrado

La aceptabilidad global de las raicillas se evaluó mediante una prueba afectiva utilizando una escala hedónica de 9 puntos: en el que 1 correspondió a “me disgusta extremadamente” y 9 a “me gusta extremadamente”. La evaluación se aplicó a un total de 120 consumidores habituales de bebidas alcohólicas regionales, seleccionados por conveniencia en el municipio de Mascota, Jalisco, México. Cada participante evaluó las muestras de forma monádica en un espacio controlado, siguiendo un orden de presentación aleatorizado para minimizar efectos de posición y fatiga sensorial. Las muestras se sirvieron en vasos de vidrio (caballitos) codificados con números aleatorios de tres dígitos. Al inicio, se les indicó a los consumidores que enjuagaran su boca con agua entre muestras, para evitar efectos residuales.

3.2.5. Análisis estadístico

Variables fisicoquímicas y compuestos volátiles

Los datos instrumentales de pH, densidad, contenido alcohólico, extracto seco, cenizas, acetaldehído, metanol, n-propanol y acetato de etilo se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar. Cuando el efecto de tratamiento resultó significativo, se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para la comparación de medias ($p < 0.05$). El procesamiento estadístico se realizó con SAS versión 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Análisis Descriptivo Cuantitativo

Los datos obtenidos en la evaluación final del QDA se analizaron mediante un ANOVA bajo un diseño de parcelas divididas, consistente con la estructura experimental utilizada. En este diseño, las raicillas correspondieron a las parcelas mayores y los jueces a las parcelas menores (Hernández-Montes, 2007; Jauregui-García et al., 2024). Dado que los jueces constituyen una fuente

identificable de variación, se trataron como bloques. La reproducibilidad del panel se evaluó mediante la significancia del efecto de repeticiones ($p \geq 0.05$).

El desempeño del panel para cada descriptor se examinó según la significancia de la interacción Juez*Raicilla ($p \leq 0.05$). Para aquellos atributos con interacción significativa, se generaron gráficos de interacción para diferenciar interacciones de magnitud e interacciones cruzadas. Cuando se identificó interacción cruzada, se eliminaron los jueces responsables y los datos depurados fueron nuevamente analizados siguiendo el mismo modelo estadístico (Hernández-Montes, 2007; Mozqueda-Balderas et al., 2018). Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba LSD ($p < 0.05$). Todos los análisis fueron realizados con SAS versión 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA).

Nivel de agrado

Los datos de nivel de agrado se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), donde los consumidores se consideraron como bloques (fuente de variación) y las raicillas como tratamientos, asumiendo independencia entre observaciones. Cuando se detectaron diferencias significativas entre muestras ($p < 0.05$), las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD). Todos los análisis se efectuaron con SAS versión 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Con el fin de sintetizar e interpretar globalmente el perfil sensorial, los descriptores que mostraron diferencias significativas entre muestras se representaron mediante un mapa de preferencia externo, integrando simultáneamente las puntuaciones de las raicillas, las cargas de cada atributo y el nivel de agrado (Manoso-Martínez et al., 2020). Esta representación se generó en XLSTAT 2019 (Lumivero, Denver, CO, USA).

Relación entre variables fisicoquímicas y sensoriales

Para explorar la relación entre las variables fisicoquímicas (variables independientes) y los atributos sensoriales (variables dependientes), se aplicó una regresión de mínimos cuadrados parciales tipo 2 (PLS-2) utilizando XLSTAT 2019 (Lumivero, Denver, CO, USA). La calidad del modelo se evaluó mediante los parámetros R^2X acumulado, R^2Y acumulado y Q^2 acumulado. El parámetro Q^2 acumulado refleja la capacidad predictiva del modelo y debe presentar valores positivos para considerarse aceptable (Shmueli et al., 2019). El R^2Y acumulado indica la proporción de varianza explicada en las variables dependientes por los primeros componentes, mientras que el R^2X acumulado representa la varianza explicada en las variables independientes (Jauregui-García et al., 2024; Tenenhaus et al., 2005).

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Variables fisicoquímicas de raicillas

Las propiedades fisicoquímicas de las seis raicillas evaluadas evidenciaron diferencias asociadas al tipo de agave, proceso de elaboración y región de origen (Cuadro 4). Estas variaciones son consistentes con la naturaleza artesanal y multivarietal de los destilados tradicionales mexicanos, los cuales presentan alta heterogeneidad en su composición debido a factores biológicos, tecnológicos y geográficos (Sánchez-Fernández et al., 2025). Los valores de pH oscilaron entre 3.46 y 3.95, situándose dentro de los rangos típicos reportados para destilados de agave (3.0-4.5) (Carreon-Alvarez et al., 2025), aun cuando la normativa oficial no establece un valor obligatorio. Las raicillas producidas con *Agave maximiliana* Baker (región sierra) presentaron los valores más altos de pH, lo cual podría atribuirse a una composición diferencial de ácidos orgánicos en este agave, así como a las condiciones de fermentación espontánea propias de la sierra, caracterizadas por temperaturas más bajas y fermentaciones más largas, lo que reduce la acumulación de ácidos volátiles fuertes (De León-Rodríguez et al.,

2008; Vera-Guzmán et al., 2018). En contraste, los valores más bajos en las muestras de la región costa (*A. angustifolia* Haw) coinciden con fermentaciones más rápidas y temperaturas ambientales superiores, condiciones que favorecen la producción de ácidos orgánicos por levaduras y bacterias lácticas presentes en ecosistemas de agave tropicales (Jara-Servin et al., 2025).

Cuadro 4. Variables fisicoquímicas de raicillas.

Muestra	pH	Densidad (g/cm ³)	% Alc. Vol.	Extracto seco (g/L)	Cenizas (g/L)
TS-MTS	3.95 ± 0.02 a ^z	0.95507 ± 0.0012 ab	38.80 ± 0.20 e	0.1213 ± 0.03 b	0.0168 ± 0.02 a
LD-MTS	3.86 ± 0.02 b	0.95180 ± 0.0011 b	39.09 ± 0.20 e	0.2449 ± 0.09 a	0.0167 ± 0.02 a
DG-MTS	3.79 ± 0.01 c	0.95830 ± 0.0030 a	39.67 ± 0.11 d	0.0812 ± 0.01 b	0.0068 ± 0.01 a
LV-AAC	3.57 ± 0.02 d	0.93655 ± 0.0000 cd	44.46 ± 0.15 c	0.0628 ± 0.02 b	0.0198 ± 0.02 a
DC-AAC	3.55 ± 0.01 d	0.93989 ± 0.0046 c	46.76 ± 0.15 a	0.1608 ± 0.08 ab	0.0570 ± 0.04 a
RR-ATC	3.46 ± 0.01 e	0.93528 ± 0.0016 d	45.50 ± 0.19 b	0.1426 ± 0.07 ab	0.0365 ± 0.01 a

^z Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de la mínima diferencia significativa (LSD) ($p \leq 0.05$).

La densidad, aunque no regulada por normas oficiales, mostró un intervalo de 0.93528 a 0.95830 g/cm³. En destilados, la densidad se relaciona principalmente con el contenido alcohólico: densidades menores corresponden a bebidas con mayor % Alc. Vol., como se observó en las muestras de *Agave angustifolia* Haw (costa). Este comportamiento concuerda con la relación inversa entre densidad y graduación alcohólica descrita para mezcales y otros destilados tradicionales (NMX-V-013-NORMEX-2019, 2019; NOM-070-SCFI-2016, 2016).

Con base al contenido alcohólico, todas las muestras cumplieron con el rango establecido en el PROY-NOM-257-SE-2021 (35-55 % Alc. Vol.), con valores de 38.80 a 46.76 % Alc. Vol. Las raicillas ancestrales de la costa (DC-AAC y LV-AAC) presentaron los valores más elevados, lo cual podría derivarse de prácticas tradicionales como la “segunda destilación” o cortes de cabezas y colas diferenciados, que generalmente incrementan la concentración alcohólica (Vera-Guzmán et al., 2018). Asimismo, el uso de hornos de pozo y fermentaciones abiertas en estas regiones pudieran asociarse a perfiles más intensos y

graduaciones relativamente elevadas (Carreon-Alvarez et al., 2025; Vera-Guzmán et al., 2018). La cocción en horno de pozo favorece a una mayor hidrólisis de fructanos, incrementando la disponibilidad de azúcares fermentables en el mosto y, por ende, el potencial de producción de etanol. A su vez, las fermentaciones abiertas, caracterizadas por una microbiota nativa diversa y tiempos más prolongados, pueden promover una conversión más completa de azúcares (De León-Rodríguez et al., 2008). Por otro lado, las muestras de *A. maximiliana* Baker (sierra) presentaron graduaciones moderadas, lo que coincide con la menor concentración de azúcares fermentables en esta especie silvestre y con la influencia de prácticas taberneras locales (Cachúa-Torres et al., 2025). Finalmente, la eficiencia en la destilación y el manejo de los cortes podrían contribuir a concentrar el etanol en la fracción central, lo que podría explicar las diferencias observadas en el contenido alcohólico final entre regiones y procesos de elaboración.

Los valores de extracto seco se ubicaron dentro del rango permitido por el PROY-NOM-257-SE-2021 (0-5 g/L), con un rango de 0.0628 a 0.2449 g/L. Aunque los destilados tradicionalmente contienen bajos niveles de sólidos no volátiles (NOM-006-SCFI-2012, 2012; NOM-070-SCFI-2016, 2016; NOM-168-SCFI-2004, 2004), las diferencias observadas sugieren influencia del tipo de agave y grado de arrastre o transporte de compuestos no volátiles durante la destilación (Quintero Arenas et al., 2020). Finalmente, las cenizas se encontraron en un rango de 0.0068 a 0.0570 g/L, y aunque este parámetro no está regulado en normas para destilados, ofrece información sobre residuos minerales derivados del jugo de agave y las condiciones de producción (De León-Rodríguez et al., 2006); la muestra DC-AAC presentó el valor más alto, posiblemente asociado al uso de técnicas ancestrales que implican mayor contacto del mosto con materiales terrosos, piedras volcánicas o equipos rústicos, que suelen incrementar el arrastre de minerales durante la cocción o fermentación.

3.3.2. Compuestos volátiles mayoritarios

Las concentraciones de acetaldehído, metanol, n-propanol y acetato de etilo en las muestras de raicilla (Cuadro 5) difirieron significativamente entre las tipologías de producción ($p < 0.05$); proceso (artesanal vs ancestral), región de origen (sierra vs costa) y especie de agave empleada en su elaboración (*Agave angustifolia* Haw vs *Agave maximiliana* Baker). Estas diferencias reflejan la influencia combinada de la fermentación, la composición química del agave y las condiciones térmicas de la destilación, factores determinantes en la formación de congéneres en bebidas tradicionales de agave (López Aguilar et al., 2024; Solís-García et al., 2017). En general, todas las muestras cumplieron con los intervalos establecidos por el PROY-NOM-257-SE-2021 y NOM-168-SCFI-2004, lo que indica que, a pesar de las diferencias tecnológicas, los productores mantienen prácticas seguras de destilación.

Cuadro 5. Promedios y desviaciones estándar del contenido de Acetaldehído, Metanol, n-Propanol y Acetato de Etilo (mg/100 mL alcohol anhidro) de seis muestras de raicillas.

Muestra	Acetaldehído	Metanol	n-Propanol	Acetato de Etilo
DC-AAC	12.15 ± 0.18 ab ^z	103.25 ± 5.47 b	37.76 ± 0.31 d	42.83 ± 0.37 e
LV-AAC	13.21 ± 0.75 a	125.99 ± 7.76 a	60.51 ± 1.64 a	92.92 ± 4.58 b
RR-ATC	5.99 ± 0.64 d	54.84 ± 5.13 c	42.13 ± 2.85 c	112.80 ± 6.56 a
DG-MTS	12.00 ± 0.77 b	55.73 ± 5.65 c	42.38 ± 1.20 c	58.14 ± 1.18 d
LD-MTS	10.11 ± 0.55 c	41.22 ± 2.39 d	56.57 ± 3.06 b	43.05 ± 1.67 e
TS-MTS	10.19 ± 0.90 c	62.78 ± 4.49 c	27.49 ± 2.01 e	73.21 ± 2.07 c
Norma	0 – 35	30 – 290	10-500	2 - 200

^z Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de la mínima diferencia significativa (LSD) ($p \leq 0.05$).

El acetaldehído, generado principalmente durante la fermentación alcohólica y favorecido por condiciones oxidativas, presentó valores mayores en las raicillas ancestrales de la costa (LV-AAC y DC-AAC). Este compuesto aporta notas verdes y punzantes, y en niveles moderados contribuye a notas frutales (Lazo et al., 2025; Molina-Guerrero et al., 2007). El metanol, originado por la hidrólisis de

pectinas durante la cocción y fermentación, fue más elevado en raicillas ancestrales elaboradas con *Agave angustifolia* Haw (LV-AAC y DC-AAC), especie con mayor contenido de pectinas. Aunque el metanol no aporta características sensoriales directas (líquido incoloro y con un ligero olor similar al del etanol), su concentración es un indicador clave del proceso y producto final, ya que es un componente no deseado, pues presenta un efecto neurotóxico en humanos (De León-Rodríguez et al., 2006; Vera-Guzmán et al., 2010, 2018).

En el contenido de n-propanol, las diferencias observadas entre muestras no siguieron un patrón que permitiera atribuir las claramente a un factor específico del proceso. Este alcohol superior se forma principalmente vía la ruta de Ehrlich a partir del catabolismo de aminoácidos durante la fermentación (De León-Rodríguez et al., 2006; Vera-Guzmán et al., 2010, 2018), y su producción depende de variables como la disponibilidad de nitrógeno, la temperatura y la dinámica microbiana. En sistemas tradicionales como la raicilla, donde predominan fermentaciones abiertas y microbiotas no controladas (Arrizón et al., 2007); pequeñas variaciones en estas condiciones pueden inducir fluctuaciones en la síntesis de alcoholes superiores, lo que podría explicar la ausencia de un patrón consistente claramente asociado con la especie, la región de origen o un proceso específico de elaboración.

Por otro lado, el acetato de etilo muestra las mayores variaciones entre muestras, lo que indica que su concentración está influenciada tanto por las condiciones de fermentación (actividad de las levaduras, disponibilidad de etanol y ácido acético) como por la manera en que se realizó la separación de las fracciones durante la destilación (cortes de cabezas, cuerpo y colas). Este éster en concentraciones moderadas es responsable de conceder notas aromáticas a floral/frutal, vinagre agrio y anís afrutado, al producto final (Lazo et al., 2025); pero cuando el acetato de etilo se encuentra en niveles elevados, puede generar aromas tipo solvente o adhesivo, percibidos como defectos en el producto. En conjunto, los perfiles observados evidencian la influencia del proceso, región de origen y el agave

empleado sobre la composición volátil y, por ende, sobre el carácter aromático de la raicilla.

3.3.3. Análisis descriptivo cuantitativo y aceptabilidad global

El panel generó 15 descriptores para las raicillas, a través del QDA: un atributo de apariencia (piernas/lágrimas), cinco atributos de aroma (aroma ahumado, aroma agave, aroma alcohol, aroma cítrico y aroma amaderado), seis atributos de sabor (acidez, dulzor, sabor agave, sabor alcohol, sabor amargo y sabor residual alcohol), y tres atributos trigeminales (astringencia, picor y ardiente). Seis de los descriptores generados coinciden con lo reportado por López-Aguilar et al. (2025), quienes realizaron una caracterización sensorial mediante QDA en destilados de agave del sur de México (mezcales ancestrales y artesanales oaxaqueños) elaborados con las especies *A. potatorum* Zucc, *A. angustifolia* Haw y *A. karwinskii* Zucc, en la cual los 11 atributos descritos por el panel fueron: cítricos, fermentado, floral, ahumado, barro y solvente (aroma), frutal, ácido y amargo (sabor) y finalmente ardiente y astringente (trigeminales). Estas similitudes y diferencias reflejan la variabilidad intrínseca de los destilados de agave, la cual está determinada principalmente por la diversidad de especies de agave empleadas como materia prima, así como por las particularidades tecnológicas de los procesos de producción utilizados (García-Barrón, 2023).

El análisis de varianza obtenido para cada uno de los descriptores evaluados se muestra en el Cuadro 6. La interpretación de los resultados del QDA debe realizarse de manera cuidadosa, considerando las fuentes de variación asociadas a los tratamientos, los jueces y las repeticiones, con el propósito de asegurar la obtención de un perfil sensorial confiable y reproducible (Jauregui-García et al., 2024). En este contexto, el desempeño del panel se evaluó mediante la interacción Raicilla–Juez y el efecto de las repeticiones ($p \geq 0.05$), lo que indica una adecuada consistencia entre jueces y una buena repetibilidad de las mediciones (Longo et al., 2018; Tabary et al., 2021). De los atributos evaluados para la raicilla, 13 presentaron interacción cruzada entre raicilla y Juez

(aroma ahumado, aroma agave, aroma alcohol, aroma cítrico, aroma amaderado, astringencia, acidez, dulzor, ardiente, sabor agave, sabor alcohol, sabor amargo, sabor residual alcohol). Por otra parte, el picor no presentó interacción significativa, sin embargo, este atributo no ayudó a diferenciar a las muestras de raicilla ($p > 0.05$).

Cuadro 6. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los análisis de varianza de los atributos evaluados durante el QDA de raicillas, con el panel completo ($n = 15$).

Atributo	Raicilla (g.l. = 5)		Juez (g.l. = 14)		Repetición (g.l. = 2)		Raicilla * Juez (g.l. = 70)		Raicilla * Repetición (g.l. = 10)	
	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
Piernas/lágrimas	6.85	0.0051	3.88	< 0.0001	0.76	0.4711	0.87	0.7408	0.68	0.7407
Aroma ahumado	9.88	0.0013	3.67	< 0.0001	0.21	0.8084	2.19	< 0.0001	0.71	0.7121
Aroma agave	19.82	< 0.0001	4.48	< 0.0001	0.74	0.4768	2.24	< 0.0001	0.47	0.9059
Aroma alcohol	108.73	< 0.0001	11.65	< 0.0001	0.72	0.4864	5.88	< 0.0001	0.97	0.4748
Aroma cítrico	1.04	0.4433	2.38	0.0049	0.37	0.6934	1.50	0.0182	2.08	0.0282
Aroma amaderado	96.88	< 0.0001	3.91	< 0.0001	0.41	0.6633	4.40	< 0.0001	0.74	0.6821
Astringencia	62.04	< 0.0001	4.91	< 0.0001	0.42	0.6566	3.24	< 0.0001	1.10	0.3656
Acidez	0.76	0.5994	3.25	0.0001	0.09	0.9128	1.33	0.0456	0.97	0.4705
Dulzor	3.97	0.0303	4.14	< 0.0001	2.51	0.0841	1.95	0.0003	0.73	0.6944
Picor	0.77	0.5925	6.51	< 0.0001	0.62	0.5414	1.15	0.2293	0.66	0.7609
Ardiente	48.67	< 0.0001	4.94	< 0.0001	2.97	0.0538	2.90	< 0.0001	0.68	0.7399
Sabor agave	40.84	< 0.0001	15.85	< 0.0001	0.10	0.9052	3.26	< 0.0001	0.85	0.5827
Sabor alcohol	108.8	< 0.0001	4.08	< 0.0001	1.83	0.1637	2.97	< 0.0001	0.38	0.952
Sabor amargo	39.81	< 0.0001	3.55	< 0.0001	1.08	0.3427	2.13	< 0.0001	1.04	0.4154
Sabor residual alcohol	37.59	< 0.0001	4.45	< 0.0001	1.70	0.1853	1.67	0.0041	1.15	0.3282

Para los atributos que presentaron interacción cruzada se procedió con la eliminación de jueces causantes de esta, quedando al menos siete jueces en cada atributo. El Cuadro 7 muestra el análisis de varianza de los 13 atributos que inicialmente presentaron interacción cruzada; y al eliminar algunos jueces la interacción ya no fue significativa. De estos atributos, el aroma cítrico y la acidez no permitieron diferenciar a las muestras de raicilla ($p > 0.05$).

Cuadro 7. Significancias de las fuentes de variación y sus interacciones obtenidas de los análisis de varianza de los atributos evaluados durante el QDA de raicillas, con eliminación de jueces.

Atributo	Raicilla (g.l. = 5)			Juez		Repetición (g.l. = 2)		Raicilla * Juez	
	F	Valor p	g.l.	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
Aroma ahumado	7.62	0.0034	8	2.13	0.04	0.23	0.7939	1.47	0.0634
Aroma agave	23.11	< 0.0001	10	4.07	< 0.0001	0.63	0.5347	1.42	0.0641
Aroma alcohol	49.09	< 0.0001	6	1.75	0.121	0.19	0.8235	1.24	0.2293
Aroma cítrico	0.6	0.7009	12	1.91	0.038	0.63	0.535	1.34	0.079
Aroma amaderado	42.78	< 0.0001	10	2.23	0.0203	0.5	0.6049	1.31	0.1186
Astringencia	43.57	< 0.0001	6	5.33	0.0001	2.53	0.0864	1.34	0.1585
Acidez	0.3	0.9029	12	2.73	0.0023	0.22	0.8008	1.26	0.1314
Dulzor	6.4	0.0064	8	3.39	0.0018	3.06	0.0513	1.33	0.1332
Ardiente	67.15	< 0.0001	9	0.79	0.622	0.85	0.4322	1.37	0.0927
Sabor agave	20.65	< 0.0001	10	10.4	< 0.0001	0.22	0.8062	1.2	0.2081
Sabor alcohol	54.05	< 0.0001	10	3.85	0.0002	1.51	0.2258	1.28	0.1376
Sabor amargo	30.49	< 0.0001	12	3.12	0.0006	0.77	0.4671	1.37	0.0679
Sabor residual alcohol	31.66	< 0.0001	13	3.84	< 0.0001	1.36	0.2603	1.25	0.1343

Las comparaciones de medias de las intensidades de los atributos sensoriales que diferenciaron significativamente a las raicillas se muestran en el Cuadro 8. Las mayores intensidades de los atributos de aroma ahumado, ardiente, sabor alcohol y sabor residual a alcohol permitieron diferenciar sensorialmente a las raicillas producidas con *Agave angustifolia* Haw en la región costa, de las producidas en la región sierra de *Agave maximiliana* Baker. En este mismo sentido, las menores intensidades de los atributos aroma agave, sabor amargo y sabor residual alcohol permitieron diferenciar significativamente a las raicillas producidas artesanalmente con *Agave maximiliana* Baker de la región sierra, con las producidas en la región costa.

En las comparaciones de medias del atributo piernas/lágrimas se formaron cuatro grupos. El primer grupo, caracterizado, por mayor formación y flujo más lento de las lágrimas en la pared del vaso, estuvo conformado por DC-AAC y LD-MTS; el segundo grupo se formó por las raicillas LD-MTS, LV-AAC y RR-ATC; el tercer grupo por LV-AAC, RR-ATC y TS-MTS; mientras que el grupo con menor

formación y flujo más rápido estuvo integrado por RR-ATC, TS-MTS y DG-MTS. Para el descriptor aroma alcohol se formaron cuatro grupos: las raicillas RR-ATC y LV-AAC presentaron las mayores intensidades, la muestra TS-MTS presentó la menor intensidad, y finalmente las muestras DC-AAC, DG-MTS y LD-MTS presentaron valores intermedios de intensidad.

Cuadro 8. Perfil descriptivo de raicillas; comparaciones de medias de las intensidades de sus atributos significativos ($p < 0.05$).

Atributo	DC-AAC	LV-AAC	RR-ATC	LD-MTS	TS-MTS	DG-MTS
Piernas/lágrimas	9.79 a ^z	8.39 bc	8.19 bcd	9.33 ab	7.39 cd	7.13 d
Aroma ahumado	7.58 ab	8.01 a	7.36 ab	5.42 d	6.67 bc	6.08 dc
Aroma agave	9.52 ab	9.99 a	9.00 b	7.11 c	7.76 c	7.40 c
Aroma alcohol	7.53 b	8.92 a	9.14 a	6.79 c	5.43 d	6.95 bc
Aroma amaderado	5.09 c	7.46 a	5.98 b	4.87 c	4.88 c	3.83 d
Astringencia	10.37 b	10.98 ab	11.40 a	8.63 c	7.22 d	7.1 d
Dulzor	7.68 a	8.07 a	5.41 b	7.30 a	7.37 a	8.03 a
Ardiente	10.21 a	9.82 a	9.78 a	5.49 c	6.72 b	7.25 b
Sabor agave	10.30 a	9.21 ab	9.10 b	6.78 c	5.71 c	9.75 ab
Sabor alcohol	9.99 a	10.14 a	10.74 a	6.57 bc	6.28 c	7.19 b
Sabor amargo	8.20 b	9.29 a	7.50 b	5.12 c	5.51 c	4.63 c
Sabor residual alcohol	9.86 a	9.39 a	9.07 a	6.11 b	5.88 b	6.67 b

^z Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de la mínima diferencia significativa (LSD) ($p \leq 0.05$).

La astringencia fue un descriptor que permitió diferenciar significativamente a las raicillas en cuatro grupos; el primero conformado por RR-ATC y LV-AAC; el segundo por LV-AAC y DC-AAC; el tercer grupo por la raicilla LD-MTS; y el cuarto grupo conformado por TS-MTS y DG-MTS. El Aroma amaderado permitió agrupar a las raicillas en cuatro grupos bien diferenciados, siendo las raicillas LV-AAC y DG-MTS las que presentaron la mayor y la menor intensidad,

respectivamente. Finalmente, el menor dulzor diferenció a la raicilla RR-ATC del resto.

El Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) se considera una técnica robusta y ampliamente validada, con alto rigor estadístico, que permite obtener perfiles sensoriales detallados y comparables entre muestras (Daute et al., 2021). No obstante, también se reconoce como una metodología relativamente rígida y demandante en tiempo, debido al proceso de selección y entrenamiento intensivo requerido para los panelistas (Næs et al., 2017). En este estudio, la aplicación del QDA permitió identificar 12 descriptores sensoriales significativos que contribuyeron a la diferenciación de las raicillas evaluadas, evidenciando la complejidad sensorial de este destilado. En contraste, López García et al. (2025) reportaron que, en mezcales oaxaqueños, el uso de la técnica de Perfil Flash (PF) permitió discriminar las muestras empleando únicamente seis descriptores, lo que sugiere que, si bien metodologías más rápidas pueden ser efectivas para estudios exploratorios, el QDA ofrece una caracterización sensorial más exhaustiva y precisa, especialmente útil para productos con alta variabilidad como los destilados de agave.

La evaluación de nivel de agrado (Cuadro 9) muestra diferencias claras entre las raicillas, mostrando un mayor agrado por las muestras elaboradas con *Agave angustifolia* Haw de la región costa; la raicilla LV-AAC obtuvo la mayor aceptabilidad (8.6 ± 0.61), seguida de RR-ATC (8.4 ± 0.69) y DC-AAC (8.0 ± 0.79), todas dentro de la categoría de “gustó mucho”, lo que sugiere que estos perfiles sensoriales caracterizados previamente por intensidades elevadas de notas a aroma ahumado, ardiente, sabor alcohol y sabor residual alcohol son mayormente preferidos por los consumidores. En contraste, las raicillas producidas artesanalmente con *Agave maximiliana* Baker en la región sierra mostraron calificaciones significativamente menores: DG-MTS (7.4 ± 0.85) y TS-MTS (7.2 ± 0.89) se ubicaron en un nivel de aceptabilidad moderado, mientras

que LD-MTS (5.9 ± 1.31) presentó el menor agrado dentro de la categoría de indiferencia.

Cuadro 9. Nivel de agrado para raicillas del Estado de Jalisco

Taberna	Nivel de agrado
LV-AAC	8.6 ± 0.61 a ^z
RR-ATC	8.4 ± 0.69 a
DC-AAC	8.0 ± 0.79 b
DG-MTS	7.4 ± 0.85 c
TS-MTS	7.2 ± 0.89 c
LD-MTS	5.9 ± 1.31 d

^z Medias de jerarquizaciones con letra distinta indican diferencia estadística (LSD, $p \leq 0.05$).

Para relacionar los descriptores sensoriales significativos, el nivel de agrado y las muestras de raicillas se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP). Los dos primeros componentes, explican el 79.92 % de la variabilidad de los datos (Figura 1), lo cual indica una adecuada representación de la estructura sensorial del conjunto de muestras. Este valor fue superior al reportado por (Álvarez-Ainza et al., 2015) en destilados de agave del norte de México (bacanora del estado de Sonora elaborada con *Agave angustifolia* Haw), quienes explicaron el 52.02 % de la variabilidad, así como lo informado por López-Aguilar et al. (2025) en destilados de agave del sur de México (mezcales oaxaqueños), donde los dos primeros componentes explicaron el 69.98 %. Estos resultados sugieren que, en el caso de la raicilla, los atributos sensoriales evaluados presentan una estructura más concentrada y consistente, lo que permite una mejor discriminación de las muestras a partir de un menor número de componentes principales.

El componente principal uno explica el 69.85 % (valor propio = 9.08) y separa a las raicillas elaboradas con *Agave angustifolia* Haw de la región costa (LV-AAC, DC-AAC y RR-ATC) de raicillas elaboradas con *Agave maximiliana* Baker en la región sierra (LD-MTS, TS-MTS y DG-MTS); este componente estuvo

relacionado con los descriptores aroma ahumado, aroma agave, astringencia, ardiente, sabor alcohol, sabor amargo, sabor residual alcohol y la aceptabilidad global ($\cos^2 > 0.771$). Este eje puede interpretarse como un gradiente de intensidad y tipicidad del destilado, donde valores positivos reflejan perfiles sensoriales más complejos, intensos y mejor valorados por los consumidores.

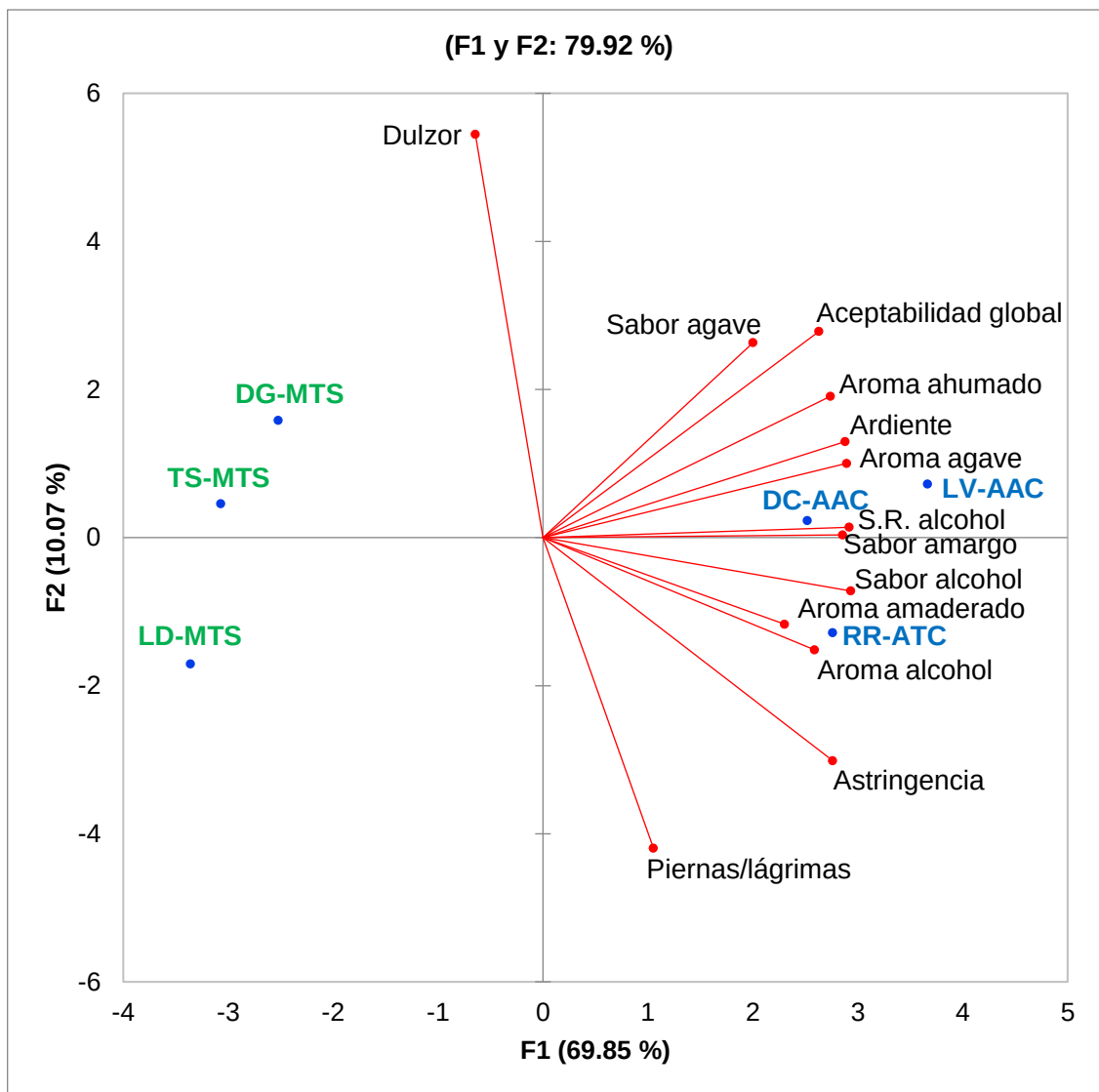


Figura 1. Análisis de componentes principales de los descriptores sensoriales evaluados y la aceptabilidad global.

En este sentido, las muestras de raicilla LV-AAC, DC-AAC y RR-ATC se ubicaron claramente en el cuadrante positivo de F1, asociándose estrechamente con la

aceptabilidad global y con atributos característicos del agave. Esto confirma que la preferencia del consumidor está fuertemente vinculada a perfiles sensoriales intensos pero balanceados, coherentes con los resultados de aceptabilidad global (Cuadro 9). Por el contrario, las muestras LD-MTS, TS-MTS y DG-MTS se localizaron en valores negativos de F1, mostrando una menor asociación con los atributos clave de calidad sensorial y aceptabilidad, lo que concuerda con sus menores calificaciones hedónicas.

El componente principal dos explica el 10.07 % (valor propio = 1.30), estuvo principalmente asociado al dulzor ($\cos^2 = 0.476$) y en menor medida con el descriptor de piernas/lágrimas. En general, los resultados del ACP indican que el nivel de agrado de las raicillas se basa principalmente en la intensidad sensorial y la tipicidad asociada al proceso de producción, más que en atributos sensoriales aislados. Estos hallazgos resaltan la relevancia de los métodos de procesamiento ancestrales y artesanales para generar perfiles sensoriales más acordes con las preferencias del consumidor.

3.3.4. Relación entre variables fisicoquímicas y sensoriales

El análisis de regresión por mínimos cuadrados parciales de tipo dos (PLS-2) se llevó a cabo utilizando los atributos sensoriales como variables dependientes y los parámetros fisicoquímicos como variables independientes. Para verificar la calidad del modelo se examinó que, tanto las variables fisicoquímicas como las sensoriales, presentaran una correlación mayor a 0.5 para alguno de los dos primeros componentes principales (Siebert et al., 2018; Tenenhaus et al., 2005). Bajo este criterio, las variables n-propanol y piernas/lágrimas presentaron coeficientes de correlación inferiores a 0.5 en ambos componentes, por lo que fueron excluidas del modelo. El análisis PLS-2 se ejecutó nuevamente sin estas variables, con el fin de mejorar la robustez, interpretabilidad y capacidad explicativa del modelo final (Cuadro 10 y Cuadro 11). Los parámetros de calidad del modelo indicaron un buen desempeño predictivo y explicativo; para los componentes uno y dos se obtuvieron, respectivamente, valores acumulados de

Q^2 de 0.596 y 0.643, R^2Y de 0.738 y 0.842, y finalmente R^2X de 0.511 y 0.753 (Cuadro 10). Los parámetros de calidad del modelo obtenido en este estudio fueron superiores a los reportados por López-Aguilar et al. (2025), quienes desarrollaron un modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales para relacionar variables sensoriales y químicas en mezcales oaxaqueños. En dicho estudio, tras la eliminación de variables con baja correlación (pH, aroma cítrico, sabor ácido y astringente), se reportaron valores de Q^2 acumulada de -0.128 y -0.046, R^2Y acumulada de 0.282 y 0.571, y R^2X acumulada de 0.603 y 0.772 para los componentes uno y dos, respectivamente. En contraste, los valores obtenidos en el presente trabajo evidencian una mayor capacidad predictiva y explicativa del modelo, lo que sugiere una relación más consistente entre las variables fisicoquímicas y sensoriales de las raicillas evaluadas.

Cuadro 10. Parámetros de calidad del modelo de regresión por mínimos cuadrados parciales tipo dos, entre variables sensoriales y fisicoquímicas de raicillas.

Estadístico ^z	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Q^2 acumulada	0.596	0.643	0.569	0.642
R^2Y acumulada	0.738	0.842	0.875	0.950
R^2X acumulada	0.511	0.753	0.944	0.978

^z Q^2 acumulada indica la capacidad predictiva del modelo, estimada por validación cruzada; R^2Y y R^2X acumulada representan la varianza explicada acumulada en las matrices Y y X, respectivamente. Valores elevados de Q^2 (>0.5) sugieren buena capacidad predictiva.

El Cuadro 11 muestra que, para el componente principal uno, las variables con mayores correlaciones fueron pH, densidad, % Alc. Vol., aroma ahumado, aroma agave, astringencia, ardiente, sabor alcohol, sabor amargo y sabor residual alcohol; para el componente principal dos, las variables con mayores correlaciones fueron acetaldehído y dulzor.

La Figura 2 presenta el mapa de correlaciones entre las variables sensoriales y fisicoquímicas de las raicillas evaluadas, las cuales se localizan predominantemente próximas a la elipse de correlación, lo que indica que el modelo describe de manera adecuada la estructura de covariación entre ambos

conjuntos de variables y explica satisfactoriamente sus relaciones (Jauregui-García et al., 2024; Siebert et al., 2018). El grado alcohólico (% Alc. Vol.) se relacionó con los atributos sensoriales a sabor alcohol, aroma alcohol, ardiente y sabor residual alcohol, y fueron ubicados en el lado positivo del componente principal uno; las raicillas DG-MTS, TS-MTS y LD-MTS se ubicaron del lado opuesto a estos atributos y se relacionaron mayormente con la densidad y el pH, este comportamiento es consistente con la relación inversa entre densidad y graduación alcohólica (NMX-V-013-NORMEX-2019, 2019; NOM-070-SCFI-2016, 2016).

Cuadro 11. Matriz de correlaciones de las variables con los componentes uno y dos obtenida del análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales tipo dos entre variables sensoriales y fisicoquímicas de raicillas.

Variable	Componente 1	Componente 2
pH	-0.944	0.167
Densidad	-0.949	0.186
% Alc. Vol.	0.968	-0.043
Extracto seco	-0.317	-0.540
Cenizas	0.701	-0.176
Acetaldehído	-0.053	0.978
Metanol	0.705	0.671
Acetato de Etilo	0.523	-0.372
Aroma ahumado	0.920	0.226
Aroma agave	0.960	0.230
Aroma alcohol	0.833	-0.175
Aroma amaderado	0.726	0.071
Astringencia	0.916	-0.236
Dulzor	-0.269	0.949
Ardiente	0.974	0.101
Sabor agave	0.657	0.251
Sabor alcohol	0.982	-0.104
Sabor amargo	0.939	0.192
Sabor residual alcohol	0.977	0.089
Aceptabilidad global	0.881	0.156

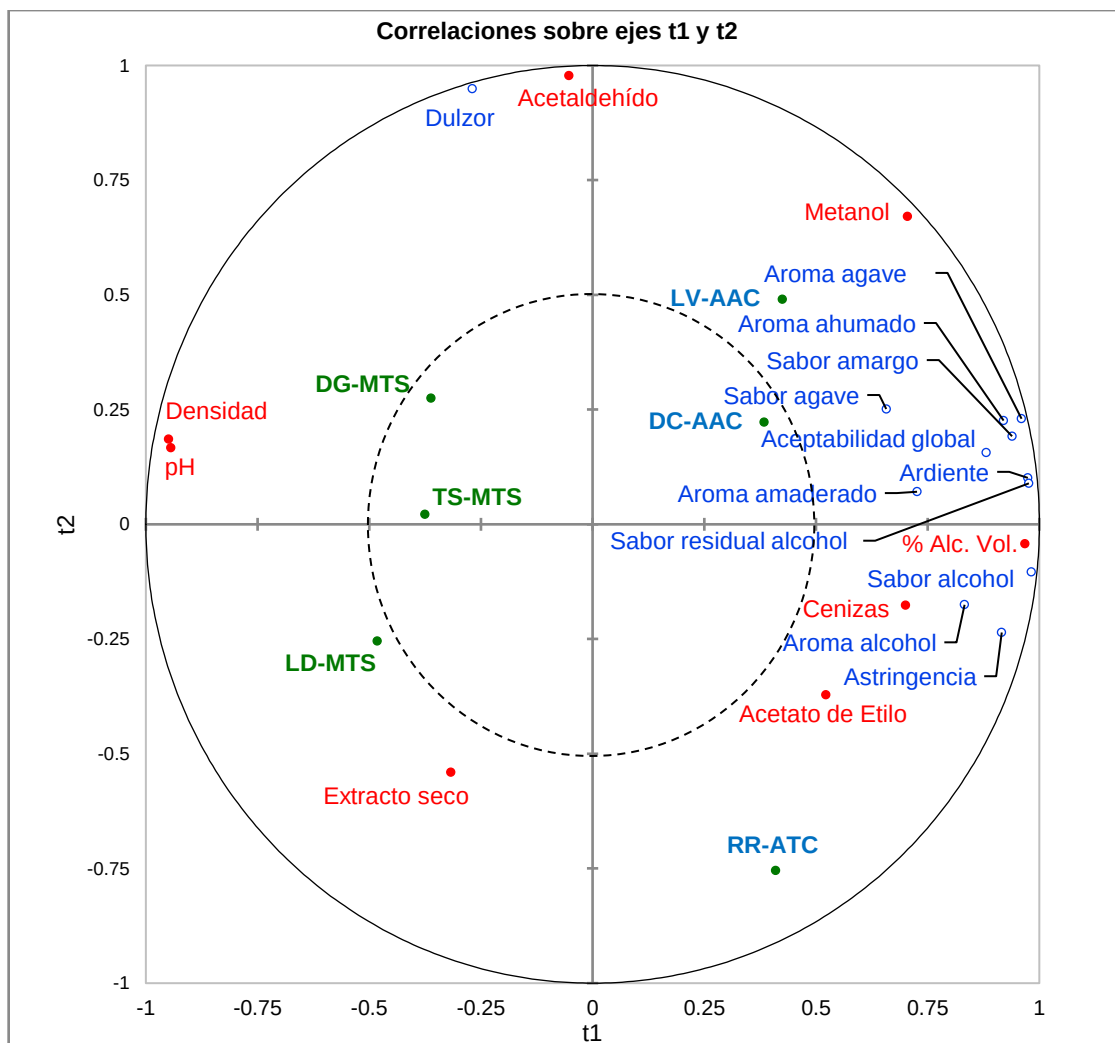


Figura 2. Análisis por mínimos cuadrados parciales tipo dos entre variables sensoriales y fisicoquímicas.

El acetaldehído se asoció positivamente con el atributo de dulzor, lo que respalda su contribución a la generación de notas frutales dulces (Lazo et al., 2025; Molina-Guerrero et al., 2007); ambas variables se localizaron en el lado opuesto de la muestra RR-ATC, la cual presentó la menor intensidad de dulzor en el análisis descriptivo cuantitativo. La proximidad de los atributos aroma ahumado, aroma a agave y sabor amargo en el cuadrante superior derecho sugiere una correlación positiva entre ellos, lo que probablemente refleja la acción conjunta de compuestos químicos generados durante los procesos térmicos aplicados al agave. De manera similar, la agrupación de sensación ardiente y sabor residual

alcohólico indica una asociación común con el contenido de etanol y la estimulación trigeminal, más que una redundancia descriptiva entre términos sensoriales. En este contexto, López-Aguilar et al. (2025) reportaron que los alcoholes superiores, particularmente propanol, 1-butanol y 2-butanol, se asociaron significativamente con el atributo ardiente en mezcal elaborado a partir de *A. angustifolia*, lo que respalda la contribución de compuestos alcohólicos volátiles a este tipo de percepción sensorial.

3.4. Conclusiones

La caracterización de las raicillas evidenció variabilidad fisicoquímica y sensorial, atribuible principalmente a la especie de agave utilizada, la región de origen y a los procesos de elaboración, en menor medida. Aunque todas las muestras cumplieron con los límites normativos, para los principales compuestos volátiles mayoritarios; se observaron diferencias significativas en variables clave como densidad, contenido alcohólico, extracto seco y descriptores sensoriales. El QDA permitió identificar atributos discriminantes asociados al carácter típico de la raicilla, destacando notas a agave, ahumado, dulzor, amargo, ardiente y sensaciones alcohólicas. Las raicillas elaboradas mediante procesos ancestrales mostraron perfiles más complejos y balanceados, lo que se reflejó en un mayor nivel de agrado, por parte de los consumidores.

El análisis PLS-2 confirmó relaciones entre la composición química y la percepción sensorial, particularmente entre el grado alcohólico y los atributos de alcohol, así como entre el acetaldehído y el dulzor, lo que sugiere que estos compuestos desempeñan un papel relevante en la construcción del perfil sensorial del producto. En conjunto, la información resalta que la calidad sensorial de la raicilla es el resultado de la interacción entre factores químicos, biológicos y tecnológicos, y subrayan la importancia de preservar los procesos tradicionales como elementos clave para mantener la tipicidad, diversidad sensorial y el valor cultural de este destilado.

3.5. Bibliografía

- Acosta-García, E. D., Páez-Lerma, J. B., Martínez-Prado, M. A., & Soto-Cruz, N. O. (2025). Volatile compound analysis in mezcal based on multiple extraction/concentration methods, deconvolution software, and multivariate analysis. *Food Control*, 168, 110852. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110852>
- Álvarez-Ainza, M. L., García-Galaz, A., González-Ríos, H., Prado-Jaramillo, N., & Acedo-Félix, E. (2015). Sensory analysis and minor volatile compounds of distilled from *Agave angustifolia* Haw (Bacanora). *Biotechnia*, 17(3), 22–29. www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971117005
- Arrizón, J., Arizaga, J. J., Hernandez, R. E., Estarrón, M., & Gschaedler, A. (2007). Production of volatile compounds in Tequila and Raicilla musts by different yeasts isolated from Mexican agave beverages. *ACS Symposium Series*, 946, 167–177. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0946.ch014>
- Ávila-Reyes, S. V., Jiménez-Aparicio, A. R., Melgar-Lalanne, G., Fajardo-Espinoza, F. S., & Hernández-Sánchez, H. (2025). Mezcal: A Review of Chemistry, Processing, and Potential Health Benefits. *Foods*, 14(8), 1408. <https://doi.org/10.3390/foods14081408>
- Barajas-Ramírez, J. A., Pardo-Núñez, J., Aguilar-Raymundo, V. G., & Gutiérrez-Salomón, A. L. (2024). Influence of taste sensitivity on preference and sensory perception of mezcal. *Food Research International*, 181, 114125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114125>
- Cachúa-Torres, A., Andrade González, I., Chávez Rodríguez, A., & López Muraira, I. G. (2025). Identificación de ecotipos de *Agave maximiliana* Baker y su diferencia en la producción de biomasa y azúcares reductores totales. *Revista Bio Ciencias*. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1725>
- Carreon-Alvarez, A., Zurita, F., Carreon-Alvarez, C., Sanchez-Tizapa, M., Huerta, H., Tepale, N., & Morán-Lázaro, J. P. (2025). Preliminary Study for Raicilla Authentication by PCA and Cluster on Some Physicochemical Properties. *Beverages*, 11(4), 107. <https://doi.org/10.3390/beverages11040107>
- Cozzolino, D. (2024). Low resolution food fingerprinting: vibrational spectroscopic methods for nondestructive food authentication. *Current Opinion in Food Science*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101229>
- Daute, M., Jack, F., Baxter, I., Harrison, B., Grigor, J., & Walker, G. (2021). Comparison of Three Approaches to Assess the Flavour Characteristics of Scotch Whisky Spirit. *Applied Sciences*, 11(4), 1410. <https://doi.org/10.3390/app11041410>
- 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>
- De León-Rodríguez, A., González-Hernández, L. , Barba de la Rosa, A. P., Escalante-Minakata, P., & López, M. G. (2006). Characterization of Volatile Compounds of Mezcal, an Ethnic Alcoholic Beverage Obtained from Agave salmiana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1337–1341. <https://doi.org/10.1021/jf052154>
- Declaración General de Protección de La Denominación de Origen “Raicilla”., Diario Oficial de la Federación 1 (2019). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5564454&fecha=28/06/2019&print=true
- García-Barrón, S. E. (2023). Caracterización sensorial del mezcal: desde los aromas hasta las preferencias. *Los agaves y sus derivados: Tendencias científicas, uso sostenible y patrimonio*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.
- Hernández-Montes, A. (2007). *Evaluación sensorial de productos agroalimentarios*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Jara-Servin, A., Alcaraz, L. D., Juarez-Serrano, S. I., Espinosa-Jaime, A., Barajas, I., Morales, L., DeLuna, A., Hernández-López, A., & Mancera, E. (2025). Microbial Communities in Agave Fermentations Vary by Local Biogeographic Regions. *Environmental Microbiology Reports*, 17(1). <https://doi.org/10.1111/1758-2229.70057>
- Jauregui-García, C. Z., Hernández-Montes, A., Espejel-García, A., Hernández-Rodríguez, L., & Barrera-Rodríguez, A. I. (2024). Caracterización sensorial de vino tinto Shiraz de Parras, Coahuila, México. *Acta Universitaria*, 34, 1–20. <https://doi.org/10.15174/au.2024.4182>
- Lachenmeier, D. W., Richling, E., López, M. G., Frank, W., & Schreier, P. (2005). Multivariate analysis of FTIR and ion chromatographic data for the quality control of tequila. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 2151–2157. <https://doi.org/10.1021/jf048637f>
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food*. Principles and practices. (2nd ed.). Springer.
- Lazo, O., García-Ortíz, A. L., Pardo, J., & Guerrero, L. (2025). Mezcal Characterization Through Sensory and Volatile Analyses. *Foods*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/foods14030402>
- Longo, R., Blackman, J. W., Antalick, G., Torley, P. J., Rogiers, S. Y., & Schmidtke, L. M. (2018). Volatile and sensory profiling of Shiraz wine in response to alcohol management: comparison of harvest timing versus technological approaches. *Food Research International*, 109, 561–571. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.057>

- 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-García, S. Y., Espejel-García, A., Hernández-Montes, A., Hernández-Rodríguez, L., & Barrera-Rodríguez, A. I. (2025). Caracterización sensorial para la diferenciación de mezcal ancestral de dos zonas productoras de Oaxaca, México. *Polibotánica*, 60(30). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.60.27>
- López-Aguilar, R., Hernández-Núñez, E., Hernández-Montes, A., & Herbert-Pucheta, J. E. (2025). Volatile composition and sensory profiles of ancestral and artisanal mezcals from Oaxaca, Mexico obtained from *Agave potatorum*, *Agave angustifolia*, and *Agave karwinskii*. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-025-06470-1>
- Manso-Martínez, C., Sáenz-Navajas, M. P., Hernández, M. M., & Menéndez, C. M. (2020). Sensory profiling and quality assessment of wines derived from Graciano × Tempranillo selections. *LWT*, 127, 109394. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109394>
- Molina-Guerrero, J. A., Botello-Álvarez, J. A. ;, & Estrada-Baltazar, J. E. ; (2007). Compuestos volátiles en mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(1), 41–50. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62060106>
- Mozqueda-Balderas, R., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., & Vargas-Lopez, S. (2018). Evaluación sensorial del mezcal de la localidad de Totomochapa, Tlapa de Comonfort, Guerrero, México. *Agroproductividad*, 11(10), 81–86.
- Næs, T., Berget, I., Liland, K. H., Ares, G., & Varela, P. (2017). Estimating and interpreting more than two consensus components in projective mapping: INDSCAL vs. multiple factor analysis (MFA). *Food Quality and Preference*, 58, 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.11.012>
- NMX-V-013-NORMEX-2019. (2019). Norma Mexicana - NMX-V-013-NORMEX-2019 - Bebidas alcohólicas-determinación del contenido alcohólico (por ciento de alcohol en volumen a 20 °C) (% alc. vol.)-métodos de ensayo (prueba). In Diario Oficial de la Federación.
- NMX-V-017-NORMEX-2018. (2018). Norma Mexicana - NMX-V-017-NORMEX-2018 - Bebidas alcohólicas-determinación de extracto seco y cenizas-métodos de ensayo (prueba). Diario Oficial de La Federación.
- NOM-006-SCFI-2012. (2012). NORMA Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012, Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones. In Diario Oficial de la Federación.

- NOM-070-SCFI-2016. (2016). NORMA Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. In Diario Oficial de la Federación.
- NOM-168-SCFI-2004. (2004). NORMA Oficial Mexicana NOM-168-SCFI-2004, Bebidas alcohólicas-Bacanora-Especificaciones de elaboración, envasado y etiquetado. In Diario Oficial de la Federación.
- Pedret, R., Sanier, L., García, I., & Morell, A. (2003). *Investigació de Mercats I*. UOC.
- Peña-Alvarez, A., Díaz, L., Medina, A., Labastida, C., Capella, S., & Vera, L. E. (2004). Characterization of three Agave species by gas chromatography and solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1027(1–2), 131–136. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.10.082>
- PROYECTO de Norma Oficial MexicanaPROY-NOM-257-SE-2021. (2021). Bebidas alcohólicas-Raicilla-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba. (pp. 1–16). Diario Oficial de la Federación.
- 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>
- Sánchez-Fernández, R. E., Pérez-López, A., Morales-Solis, A., Manilla-Tellez, Y., Reyes-Carmona, E. D., & Avila-Urbe, G. (2025). Chemistry of Mezcal: Volatile Profile of Artisanal Mezcal Made from Wild Agaves of Oaxaca. *Foods*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/foods14071222>
- Shmueli, G., Sarstedt, M., Hair, J. F., Cheah, J.-H., Ting, H., Vaithilingam, S., & Ringle, C. M. (2019). Predictive model assessment in PLS-SEM: guidelines for using PLSpredict. *European Journal of Marketing*, 53(11), 2322–2347. <https://doi.org/10.1108/EJM-02-2019-0189>
- Siebert, T. E., Barker, A., Pearson, W., Barter, S. R., de Barros Lopes, M. A., Darriet, P., Herderich, M. J., & Francis, I. L. (2018). Volatile Compounds Related to ‘Stone Fruit’ Aroma Attributes in Viognier and Chardonnay Wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11), 2838–2850. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05343>
- Solís-García, A., Rivas-García, P., Bravo-Sánchez, M. G., Escamilla-Alvarado, C., Botello-Álvarez, J. E., & Rico-Martínez, R. (2017). Methanol production Kinetics during agave cooking for mezcal industry. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(3), 827–834.
- Tabary, C., Miège, M., Brémaud, D., Carvalho, L., & Vincenzi, F. (2021). A tool to help the panel leader to best monitor a sensory panel performance. *Journal of Sensory Studies*, 36(1). <https://doi.org/10.1111/joss.12613>

- Tenenhaus, M., Pagès, J., Ambroisine, L., & Guinot, C. (2005). PLS methodology to study relationships between hedonic judgements and product characteristics. *Food Quality and Preference*, 16(4), 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.05.013>
- Tešević, V., Nikićević, N., Jovanović, A., Djoković, D., Vujisić, L., Vučković, I., & Bonić, M. (2005). Volatile Components from Old Plum Brandies. *Food Technology and Biotechnology*, 43(4).
- Torres-Salas, V., & Hernández-Montes, A. (2021). Respuestas emocionales en consumidores de queso de Zacazonapan y probabilidad de consumo durante maduración. *Agrociencia*, 55(3), 243–259. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2416>
- 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>
- Vera-Guzmán, A. M., Guzmán-Gerónimo, R. I., López, M. G., & Chávez-Servia, J. L. (2018). Volatile compound profiles in mezcal spirits as influenced by agave species and production processes. *Beverages*, 4(1–9). <https://doi.org/10.3390/beverages4010009>
- Villanueva-Rodriguez, S., & Escalona-Buendia, H. (2012). Tequila and mezcal: sensory attributes and sensory evaluation. *Alcoholic Beverages*, 359–378. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857095176.3.359>

4. IDENTIFICACIÓN QUIMIOMÉTRICA DE LA RAICILLA, UNA BEBIDA DESTILADA TRADICIONAL MEXICANA, MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO Y CROMATOGRAFÍA DE GASES

RESUMEN

La raicilla es una bebida alcohólica originaria de México obtenida a través de un proceso de elaboración similar al tequila y al mezcal. La raicilla posee un perfil químico complejo definido por compuestos volátiles y propiedades fisicoquímicas que determinan sus características sensoriales, cuya producción se concentra en el estado de Jalisco, en las regiones costa y sierra. El objetivo de este estudio fue discriminar y autenticar raicillas por especie de agave, origen geográfico y proceso de manufactura mediante variables fisicoquímicas, espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (SPME-GC-MS) analizadas por métodos de estadística uni y multivariable. Los resultados muestran que las variables fisicoquímicas estudiadas ($^{\circ}\text{Bx}$, $n\text{D}$ y $\% \text{ Alc. Vol.}$) no fueron suficientes para diferenciar a las raicillas. Sin embargo, el modelo de PLS-DA desarrollado a partir de los espectros de FT-NIR permitió discriminar a las raicillas, principalmente por proceso de manufactura (ancestral, artesanal y clásica), lo que demuestra su potencial para detectar diferencias químicas asociadas con el proceso de elaboración de este tipo de bebidas alcohólicas. Por otra parte, la SPME-GC-MS permitió identificar 35 compuestos volátiles, tales como, alcoholes, ésteres, ácidos, furanos, terpenos, aldehídos, entre otros, que en su conjunto otorgan las propiedades sensoriales únicas a esta bebida alcohólica. Los resultados confirman que la composición química de la raicilla se ve influenciada por la materia prima, región de origen de producción y el proceso de manufactura empleado. Sin embargo, es deseable incluir un conjunto de muestras mayor para establecer la validación y la capacidad predictiva de estos modelos.

Palabras clave: Quimiometría, bebidas alcohólicas, agave, FT-NIR, GC-MS, PCA, PLS-DA.

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Director de Tesis: Dr. Anastacio Espejel García.

CHEMOMETRIC FINGERPRINTING OF RAICILLA, A TRADITIONAL MEXICAN DISTILLED BEVERAGE, USING NEAR- INFRARED SPECTROSCOPY AND GAS CHROMATOGRAPHY

ABSTRACT

Raicilla is an alcoholic beverage originating in Mexico, obtained through a production process similar to tequila and mezcal. Raicilla has a complex chemical profile defined by volatile compounds and physicochemical properties that determine its sensory characteristics. Its production is concentrated in the state of Jalisco, in the coastal and mountain regions. The objective of this study was to discriminate and authenticate raicillas by agave species, geographical origin, and manufacturing process using physicochemical variables, near-infrared spectroscopy (FT-NIR), and gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS), analyzed by univariate and multivariate statistical methods. The results show that the physicochemical variables studied ($^{\circ}\text{Bx}$, $n\text{D}$, and % Alc. Vol.) were not sufficient to differentiate raicillas. However, the PLS-DA model developed from FT-NIR spectra allowed the differentiation of raicillas primarily by manufacturing process (ancestral, artisanal, and traditional), demonstrating its potential for detecting chemical differences associated with the production process of this type of alcoholic beverage. Furthermore, SPME-GC-MS allowed the identification of 35 volatile compounds, such as alcohols, esters, acids, furans, terpenes, aldehydes, among others, which together provide the unique sensory properties of this alcoholic beverage. The results confirm that the chemical composition of raicilla is influenced by the raw material, region of origin of production, and the manufacturing process employed. However, it is desirable to include a larger sample set to establish the validation and predictive capacity of these models.

Keywords: Chemometrics, alcoholic beverages, agave, FT-NIR, CG-MS, PCA, PLS-DA.

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Postgraduate Program en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Thesis Director: Dr. Anastacio Espejel García.

4.1. Introducción

La raicilla es una bebida alcohólica de México, obtenida por destilación de mostos preparados a partir de azúcares extraídos de las “cabezas” o “piñas” maduras y cocidas, provenientes de diferentes agaves (principalmente *Agave maximiliana* Baker, *Agave inaequidens* Koch, *Agave valenciana*, *Agave angustifolia* Haw y *Agave rhodacantha*) que fueron sometidas a un proceso de fermentación alcohólica. A pesar de que esta bebida posee características fisicoquímicas similares al mezcal y al tequila, el tipo de materias primas empleadas en su elaboración le confiere propiedades sensoriales distintivas (Carreon-Alvarez et al., 2025). Adicionalmente, de acuerdo con el proceso específico utilizado de cocción del maguey o agave, molienda, fermentación y destilación se obtienen tres categorías de raicilla: Clásica, Artesanal y Ancestral. De hecho, la raicilla cuenta con Denominación de Origen (DO), lo que significa que solo se puede producir en regiones bien definidas y su elaboración debe realizarse conforme lo indicado en la legislación de este país (PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-257-SE-2021, 2021).

De esta forma, la producción de la raicilla se concentra en el estado de Jalisco, en las regiones costa y sierra (en los municipios de Atenguillo, Mixtlán, Talpa de Allende, San Sebastián del Oeste, Mascota, Guachinango, Atengo, Ayutla, Cuautla, Cabo Corrientes, Chiquilistlán, Juchitlán, Puerto Vallarta, Tecolotlán, Tenamaxtlán y Tomatlán), y en el estado de Nayarit (en el municipio Bahía de Banderas) (Declaración General de Protección de La Denominación de Origen “Raicilla”, 2019; Pablo-Cano et al., 2024).

Lamentablemente, a pesar de contar con una DO, la adulteración de este tipo de bebidas alcohólicas es una práctica ilegal, clandestina y fraudulenta que involucra aspectos tanto de seguridad alimentaria como de control de calidad, porque puede ocurrir en cualquier etapa del proceso de elaboración (Sisco & Dake, 2016). Por ello, surge la necesidad de verificar el origen y tipo de agave, así como el proceso de elaboración con el fin de evitar productos de imitación u otros

similares en el mercado. Además, debe referirse que tanto la seguridad e inocuidad alimentaria como los sistemas de autenticación y trazabilidad de bebidas involucran a múltiples partes interesadas, incluyendo fabricantes y productores, organismos reguladores, proveedores de tecnología y el ámbito académico (Medina et al., 2019). Esta interconexión genera un entorno colaborativo esencial para el desarrollo de nuevas aplicaciones en el ámbito de la huella digital alimentaria y los sistemas de autenticación y trazabilidad (Fritsche, 2018). Desde esta perspectiva multidisciplinaria, uno de los enfoques empleados para la autenticación, trazabilidad y control de calidad de bebidas es mediante la huella digital química que identifica de manera única al producto (Cozzolino, 2024). De hecho, esta herramienta es clave para asegurar la autenticidad, consistencia y trazabilidad tanto de alimentos como de bebidas, por lo que ha ganado importancia para garantizar la transparencia y sostenibilidad en la industria alimentaria, lo que beneficia directamente a los consumidores y productores (Islam & Cullen, 2021).

En el campo de la autenticación de bebidas, existen múltiples métodos de análisis quimiométricos dirigidos y no dirigidos para la identificación molecular del producto. El primer enfoque se centra en el análisis de un compuesto específico o un grupo de compuestos con características similares, mientras que, en el enfoque no dirigido, el objetivo principal es la discriminación de patrones de compuestos, este es útil para detectar diferencias globales en la composición química y descubrir compuestos marcadores de autenticidad o características específicas de un producto (Llano et al., 2018; Souard et al., 2018). En consecuencia, la huella digital química de las bebidas alcohólicas puede ser obtenida a partir de métodos espectroscópicos y cromatográficos, como el Infrarrojo cercano (NIR) y Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS). Estas técnicas combinadas con métodos estadísticos multivariados permiten identificar y cuantificar componentes específicos presentes en el producto y detectar diferencias entre muestras (Cozzolino, 2021;

Klockmann et al., 2016), así como realizar estudios discriminativos y predictivos basados en análisis quimiométrico dirigido y no dirigido (Cortés et al., 2019).

Actualmente existen pocos trabajos orientados a investigar la autenticación de raicillas producidas en los estados de Jalisco y Nayarit. En ese sentido, el objetivo de nuestra investigación fue desarrollar un método de análisis químico combinado con quimiometría que permita diferenciar raicillas por especie de agave, origen geográfico y proceso de manufactura. Estos esfuerzos son una base inicial para proporcionar estrategias de caracterización y autenticación de la raicilla elaborada con *Agave maximiliana* Baker y *Agave angustifolia* Haw, un destilado de relevancia económica y cultural que aún carece de métodos consolidados para validar su origen y producción.

4.2. Materiales y métodos

4.2.1. Muestras de raicilla

Las raicillas utilizadas en este estudio fueron pertenecientes a la “Zona Denominación de Origen Raicilla” (Figura 3), las características de los productos (especie de agave, proceso de elaboración, municipio y región de origen) se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Características de las raicillas estudiadas.

Raicilla	Agave	Proceso	Municipio	Región
LV-AAC	<i>angustifolia</i> Haw	Ancestral	Cabo Corrientes	Costa
DC-AAC	<i>angustifolia</i> Haw	Ancestral	Cabo Corrientes	Costa
XO-ATC	<i>angustifolia</i> Haw	Artesanal	Puerto Vallarta	Costa
RR-ATC	<i>angustifolia</i> Haw	Artesanal	Cabo Corrientes	Costa
LJ-ACS	<i>angustifolia</i> Haw	Clásica	Ayutla	Sierra
LD-MTS	<i>maximiliana</i> Baker	Artesanal	Mascota	Sierra
TS-MTS	<i>maximiliana</i> Baker	Artesanal	Mascota	Sierra
CA-MTS	<i>maximiliana</i> Baker	Artesanal	Mixtlán	Sierra
DG-MTS	<i>maximiliana</i> Baker	Artesanal	San Sebastián del Oeste	Sierra

Todos los destilados integrados en el estudio se producen de forma comercial, por lo cual los autores no presentaron control sobre el proceso de elaboración de

los productos. Las bebidas analizadas fueron proporcionadas directamente por los productores y/o por el Consejo Mexicano Promotor de la Raicilla A.C. De esta forma se recolectaron dos botellas de 750 mL de diferentes lotes para cada destilado.

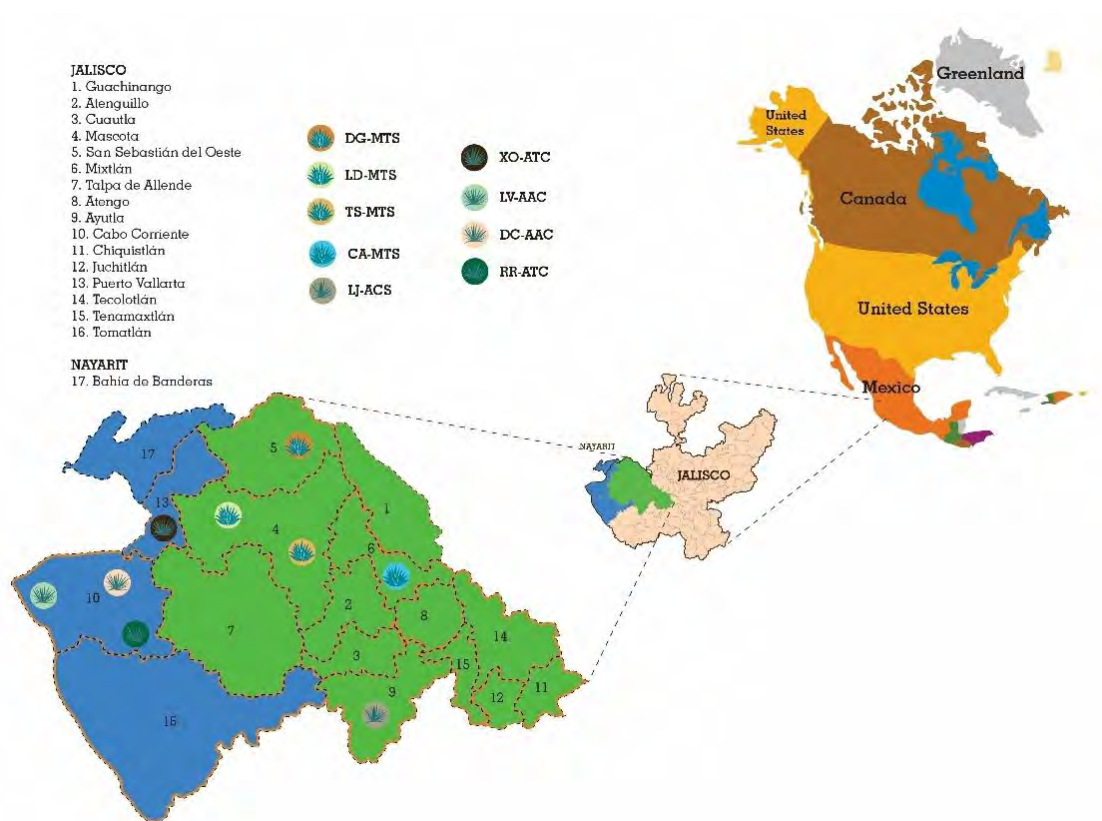


Figura 3. Ubicación de las tabernas productoras de raicilla seleccionados para realizar el presente estudio.

4.2.2. Refractometría: grados Brix (°Bx) y el índice de refracción (nD)

La medición de los grados Brix y el índice de refracción se realizó mediante refractometría, usando un refractómetro digital Sper Scientific LTB 300035 (Arizona, USA). Para esta determinación se calibró el equipo con agua destilada y posteriormente se colocó 400 µL de muestra sobre la superficie del refractómetro y se registraron las lecturas directas para ambos parámetros (°Bx y nD). Cada parámetro fue analizado por triplicado para cada muestra.

4.2.3. Espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR)

Se utilizó un espectrómetro Multipurpose Analyser (Bruker, Alemania) para la obtención de espectros FT-NIR de las muestras de raicilla. Las muestras de raicillas (sin diluir) se colocaron en un vial de 8 mm de diámetro (IN430, Bruker Optik GmbH, Alemania) para la obtención del espectro. Las mediciones se realizaron en el intervalo de número de onda (wavenumber) de 12,500 cm^{-1} a 3,600 cm^{-1} con resolución de 7.7144 cm^{-1} , número de barrido de 64, a temperatura ambiente (21.1-21.4 °C), humedad relativa de 32-33 % y presión ambiental, utilizando el módulo de compartimento de muestra (sample compartment) para mediciones de transmisión de muestras líquidas. El dispositivo fue controlado mediante el software OPUS Base Package versión 7.8 (Bruker, Alemania). Cada muestra se analizó por triplicado.

4.2.4. Contenido alcohólico por FT-NIR

A partir de los espectros FT-NIR de las muestras de raicilla se estimó el contenido alcohólico (expresado en porcentaje, % Alc. Vol., con desviación estándar) utilizando el paquete calibración B-Food-Alcoholic_Beverages de Bruker Optics GmbH. La adecuada determinación del contenido alcohólico se estableció con un valor de índice de distancia de Mahalanobis < 1 como criterio de aceptación.

4.2.5. Identificación de compuestos volátiles

La identificación de compuestos volátiles se determinó para una muestra de cada raicilla ($n = 9$) por microextracción en fase sólida (SPME) en el espacio de cabeza (HS) y cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), técnica referida como HS-SPME-GC-MS. Para ello, se midieron 5 mL de muestra en un vial de vidrio de 22 mL con tapa rosca con septa de PTFE/silicón. La muestra se colocó en agitación a 250 rpm. Enseguida, se introdujo la fibra en la fase de vapor (headspace) por 1 hora. La fibra utilizada está compuesta de Divinylbenzene/Carbon wide range/Polydimethylsiloxane (DVB/CWR/PDMS, 10

mm, 50/30 μm , Supelco Bellefonte, PA, EE. UU.). Para realizar el análisis, la fibra se acondicionó por 15 min a 180 °C antes de cada inyección.

Después de la extracción, la fibra se insertó en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases (GC) Agilent 7890B (Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, EE. UU.) acoplado a un detector selectivo de masas (MSD) Agilent 5977A (Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, EE. UU.) a 180 °C. Posteriormente, la desorción de los compuestos fue realizada por 15 minutos en modo splitless. La columna empleada fue DB-WAX Ultra Inert (60m x 250 μm x 0.25 μm), usando helio como gas acarreador con flujo de 1 mL min⁻¹. La temperatura del horno se programó inicialmente a 40 °C durante 4 min, después se incrementó a razón de 5 °C min⁻¹ hasta alcanzar los 100 °C y posteriormente, se programaron incrementos de 10 °C min⁻¹ hasta los 200 °C.

Las condiciones del detector selectivo de masas fueron las siguientes: energía de ionización electrónica (EI) de 70 eV, intervalo de detección de 30 a 550 uma, velocidad de barrido de 13.8 espectros/s, temperatura de la cámara de ionización de 200 °C y temperatura de la línea de transferencia de 250 °C. La adquisición y procesamiento de datos se realizaron con el software MassHunter Workstation versión 6.0 (Agilent Technologies, Inc. 2014, Santa Clara, CA, EE. UU.). Cada muestra se analizó una sola vez, y se utilizaron blancos con viales sin muestra y viales con etanol-agua al 40 % v/v.

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). Además, se calcularon los índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/). El índice experimental debió coincidir (± 10 unidades) con el de la literatura para asegurar la identificación correcta del compuesto (Sánchez-Fernández et al., 2025).

Finalmente, para el análisis estadístico multivariable se consideraron como criterio límite solo aquellos compuestos que se encontraron en al menos dos de las nueve muestras (es decir los compuestos que aparecieron solo una vez no se consideraron).

4.2.6. Pre-procesamiento y análisis estadístico

Variables fisicoquímicas (°Bx, nD y % Alc. Vol.)

Los valores obtenidos de °Bx, nD y % Alc. Vol. para las nueve muestras de raicillas fueron analizados por separado con un diseño completamente al azar. Las variables que presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$), se sometieron a comparaciones múltiples de medias mediante el método de la diferencia mínima significativa de Fisher (LSD). Para realizar este análisis estadístico univariable se empleó el programa SAS versión 9.0 (SAS, Institute Inc., Cary, NC, E.U.A).

Espectroscopía FT-NIR

Los datos FT-NIR se conformaron inicialmente por una matriz de 54 columnas y 1154 filas, los cuales fueron sometidos a un pretratamiento que incluyó primera y segunda derivada de Savitzky-Golay (polinomio de orden tres con puntos de simetría siete) en el software MestReNova versión 14.3.0 (Mestrelab Research, S.L., España). Este procedimiento permitió obtener una matriz de datos más robusta y apta para el análisis multivariado discriminativo. Posteriormente, se eliminaron de la matriz de datos las regiones correspondientes a las bandas de absorción del agua, resultando intervalos finales de números de onda de 3,656.61-3,949.76, 5,353.78-6,248.65, 7,151.23-11,394.14 cm^{-1} , lo que condujo a una nueva matriz conformada por 54 columnas y 707 filas (muestras x variables).

La matriz de datos FT-NIR fue sometida a procedimientos estadísticos multivariados utilizando el software MetaboAnalyst 6.0. El procesamiento de los datos incluyó una etapa de autoescalado. Se implementaron los modelos de

componentes principales (PCA) y análisis discriminante por mínimos cuadrados parciales (PLS-DA), para agrupar las raicillas según la especie de agave utilizada en su producción (*angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker), región de origen de producción (costa y sierra) y proceso de elaboración (ancestral, artesanal y clásica). Posteriormente, se llevó a cabo una etapa de validación cruzada para determinar el número óptimo de componentes a partir de la bondad de ajuste (R^2), la bondad de predicción (Q^2) y Accuracy, buscando el valor máximo para cada uno y así asegurar la calidad de cada modelo. Adicionalmente, la capacidad discriminatoria del modelo de PLS-DA se evaluó con una prueba de permutaciones, con una distancia de separación B/W y un conjunto de 1000 permutaciones con un nivel de confianza de al menos 95 %.

Compuestos volátiles por HS-SPME-GC-MS

Se aplicó análisis estadístico multivariado (PCA y PLS-DA) con la plataforma Metaboanalyst 6.0 a la matriz de datos provenientes de las 9 muestras analizadas y los 35 compuestos identificados (muestras x variables) del análisis HS-SPME-GC-MS, el procesamiento de los datos incluyó normalización por mediana y autoescalado. Para la integración de los grupos se consideró el área del pico de cada compuesto identificado, la especie de agave (*angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker) y el origen geográfico de la raicilla (costa y sierra).

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Grados Brix, índice de refracción y contenido alcohólico

En el Cuadro 13 se muestra las concentraciones de °Bx, nD y % Alc. Vol. en raicillas ancestrales, artesanales y clásicas elaboradas a partir de *Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker, en las regiones costa y sierra del estado de Jalisco. Los valores de °Bx y nD se encontraron en un intervalo de 14.0 a 16.5 y 1.3541 a 1.3581 respectivamente. Por otra parte, el contenido alcohólico de las raicillas, dentro del intervalo de 37 a 47 % Alc. Vol., permitió evidenciar el cumplimiento con los límites establecidos por la legislación mexicana (PROY-

NOM-257-SE-2021), donde especifica que el contenido alcohólico para estas bebidas debe ser de 35 a 55 % Alc. Vol.

Cuadro 13. Grados Brix (°Bx), índice de refracción (nD) y porcentaje de alcohol (% Alc. Vol.).

Raicilla	°Bx	nD	% Alc. Vol.
DC-AAC	16.5 ± 0.1 a ^z	1.3581 ± 0.0001 a	46.66 ± 0.09 a
RR-ATC	15.6 ± 0.1 c	1.3568 ± 0.0001 c	45.14 ± 0.89 b
LV-AAC	15.9 ± 0.1 b	1.3571 ± 0.0001 b	44.18 ± 0.06 b
DG-MTS	14.6 ± 0.1 e	1.3551 ± 0.0000 e	41.88 ± 2.52 c
LJ-ACS	14.4 ± 0.1 f	1.3548 ± 0.0001 g	39.98 ± 0.09 d
LD-MTS	14.7 ± 0.0 d	1.3552 ± 0.0001 d	39.06 ± 0.06 de
TS-MTS	14.6 ± 0.1 e	1.3550 ± 0.0001 f	38.90 ± 0.05 e
XO-ATC	14.4 ± 0.1 f	1.3547 ± 0.0001 g	38.39 ± 0.74 ef
CA-MTS	14.0 ± 0.1 g	1.3541 ± 0.0001 h	37.76 ± 0.05 f

^z Medias con letra diferente dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El análisis de varianza univariable para cada variable físico-química mostró diferencia significativa entre las muestras de raicillas ($p < 0.05$), a pesar de ello, en la comparación de medias no se presentó un agrupamiento entre las muestras en ninguna de las tres categorías (especie de agave empleada en su producción, región de origen y proceso de manufactura), lo que apunta a que estas variables no son suficientes para clasificar adecuadamente las muestras en estas categorías. Recientemente, Carreon-Alvarez et al. (2025) reportaron un estudio preliminar para la autenticación de raicillas, producido en dos regiones centrales de Jalisco, en función de algunas propiedades fisicoquímicas (pH, conductividad, contenido alcohólico, sólidos totales, viscosidad, velocidad del sonido, índice de refracción y densidad). Sin embargo, no se observó una separación clara entre las muestras de raicilla de la sierra y costa de Jalisco. Finalmente, es importante mencionar que, aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, las raicillas de la región de la sierra mostraron un pH más ácido, una conductividad más alta y una mayor densidad, lo que podría estar relacionado con diferencias en el proceso de producción y al origen del producto.

Por otra parte, existen reportes que asocian el contenido alcohólico con el proceso de producción, materia prima empleada en su producción y región de origen de elaboración. Particularmente, en nuestro grupo de trabajo Jauregui-García et al. (2024), encontraron que el contenido alcohólico es un factor de distinción que se asocia con vinos Shiraz de distintos viñedos (procesos de manufactura diferentes) y altitudes (origen geográfico) en la región de Parras, Coahuila, México. Por lo que se esperaba que estas variables permitieran hacer una clasificación en el caso de las raicillas. No obstante, la evidencia experimental anteriormente aquí mostrada indica que las variables fisicoquímicas °Bx, nD y % Alc. Vol. contribuyen a la caracterización de la raicilla, pero no son concluyentes para autenticarlas o clasificarlas según su especie de agave empleada en su producción, región de origen y proceso de manufactura.

Por ello, fue necesario realizar un análisis quimiométrico más profundo, como la espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR) y la identificación de compuestos volátiles mediante microextracción en fase sólida y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (SPME-GC-MS), de forma independiente. Este enfoque integrado permitiría capturar mejor la complejidad química de la raicilla, facilitando la diferenciación y clasificación precisa de las muestras basándose en su perfil volátil y sus propiedades fisicoquímicas, lo cual es fundamental para garantizar la autenticidad, calidad y trazabilidad del producto.

4.3.2. Espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR)

Las muestras de raicilla se sometieron a espectroscopía de infrarrojo cercano (FT-NIR) en la región de $12,500\text{ cm}^{-1}$ a $3,600\text{ cm}^{-1}$. La asignación de bandas se basó en estudios previos reportados en la literatura (Pontes et al., 2006; Quintero Arenas et al., 2020). Se encontró que los espectros de las nueve muestras de raicilla analizadas son muy similares entre sí y presentan picos y bandas asociados a grupos funcionales que revelan la composición química global de esta bebida (Figura 4A).

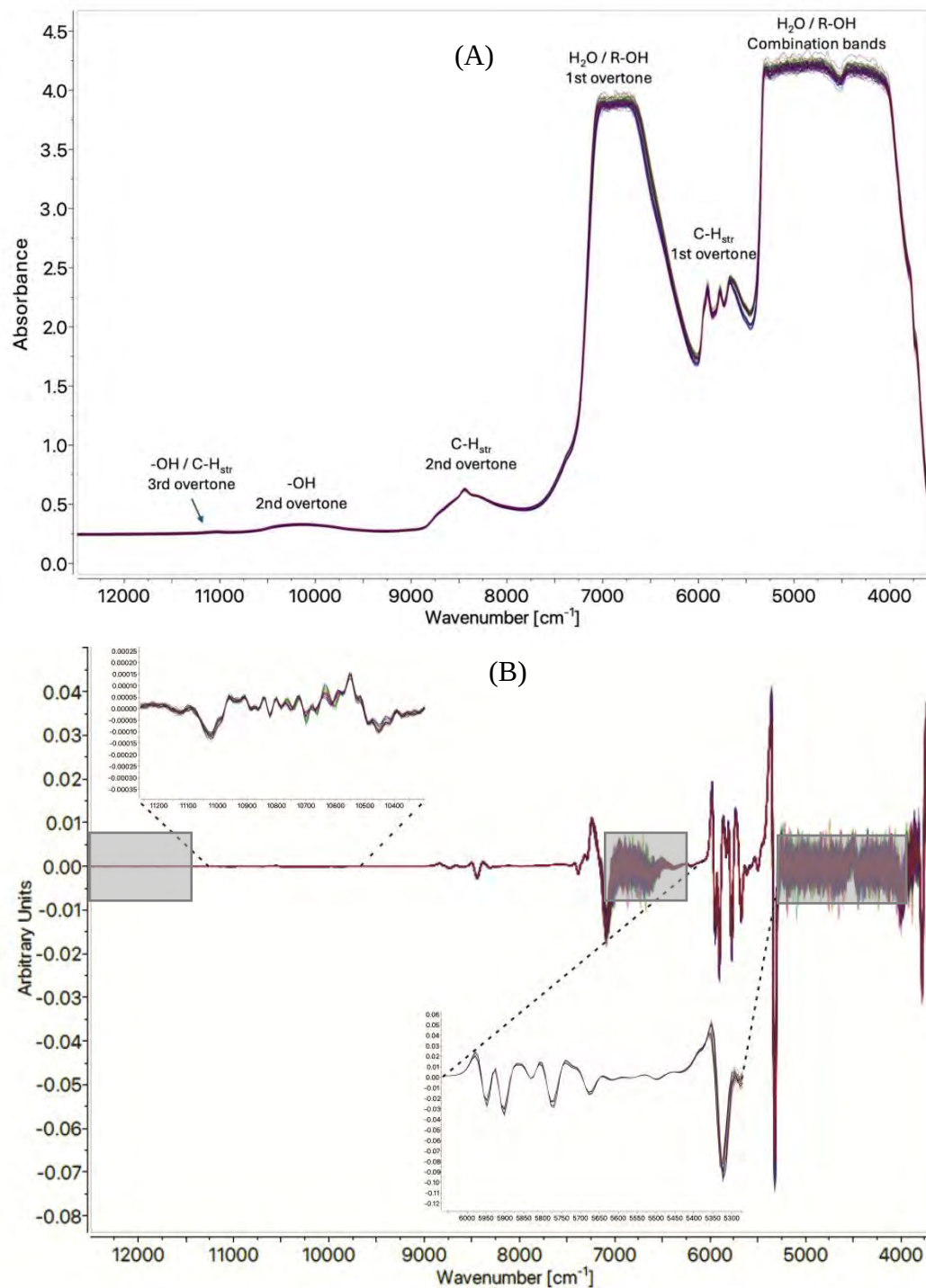


Figura 4. Espectros de infrarrojo cercano de muestras de raicillas analizadas: (A) Espectros crudos, (B) Segunda derivada, las regiones sombreadas corresponden a las regiones que fueron excluidas en el análisis quimiométrico.

Modelo de clasificación basado en especie de agave

Después del pretratamiento de datos previamente indicado, los datos espectrales fueron sometidos a un análisis de componentes principales, como una primera prueba de clasificación (data not shown). Posteriormente, se realizó un segundo análisis que se describe a continuación. La Figura 5 (A y B) muestra las gráficas de puntuaciones y cargas basadas en el Análisis Discriminante de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-DA) de la matriz de datos NIR de raicillas producidas con *Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker. La distribución de las cargas muestra una homogeneidad de los valores, lo cual está asociado con modelos fiables y robustos (López Aguilar et al., 2024). La validación cruzada nos permitió evaluar el poder predictivo y la precisión del modelo (Ghosh et al., 2020), la medida de bondad de predicción (Q², Figura 5C) muestra que el modelo de cuatro componentes es el óptimo, alcanzando el 65.5 % de la varianza acumulada, en donde el primer componente explicó 46.6 %, el segundo 6.2 %, el tercero 10.4 % y el cuarto 2.3 % de la varianza.

A pesar de que en la gráfica de puntuaciones muestra visualmente dos grupos de raicillas (*Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker), los ensayos de permutación asumen que no hay discriminación entre el par de grupos formados aleatoriamente (Westerhuis et al., 2008), ya que el valor *p* observado no es significativo al presentar un 68.9 % de permutaciones incorrectas (ver el resultado mostrado en Anexo 1); con $p = 0.689$) (Chong, Wishart, et al., 2019; Chong, Yamamoto, et al., 2019). Este resultado indica que la aparente separación visual entre los dos grupos no puede confirmarse estadísticamente como una discriminación real y fiable entre las muestras basándose en este análisis de permutaciones. Este hallazgo estadístico indica que la diferenciación puede no ser robusta y podría ser resultado de la variabilidad dentro del conjunto de datos en lugar de diferencias químicas genuinas (Szymańska et al., 2012).

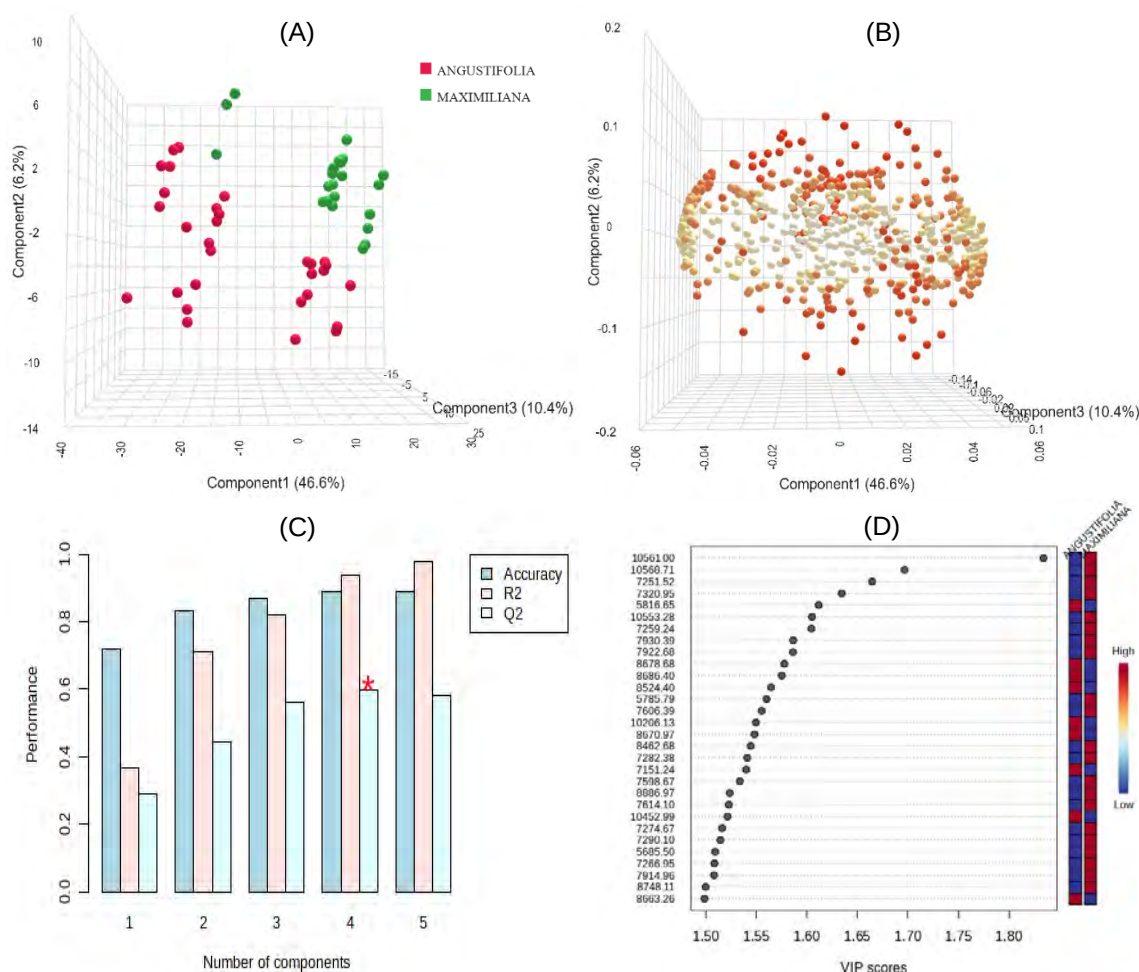


Figura 5. (A) Gráficos de scores, (B) loadings, (C) validación cruzada y (D) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante espectroscopia NIR, clasificados por especie de agave.

Es importante mencionar que la discriminación correcta de la especie de agave empleada para la elaboración de raicillas permite verificar la autenticidad del producto y su verdadero origen botánico, evitando adulteraciones o mezclas fraudulentas. Esto es crucial para asegurar que una raicilla etiquetada y producida con una determinada especie de agave cumpla con dicha especificación (Carreon-Alvarez et al., 2025). Por ello, el resultado aquí mostrado sugiere que deben explorarse otras herramientas analíticas que permitan diferenciar características químicas de raicillas elaboradas con diferentes

especies de agave, así como también incrementar el número de muestras analizadas.

Modelo de clasificación basado en región de origen de producción

La Figura 6 (A y B) muestra las gráficas de puntuaciones y cargas basadas en el Análisis Discriminante de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-DA) de la matriz de datos NIR de raicillas catalogadas de acuerdo con la zona geográfica de producción y altura sobre el nivel del mar, obteniéndose dos categorías de raicilla; raicilla de la costa y raicilla de la sierra de los estados de Jalisco y Nayarit como lo refiere la normativa en México (PROYECTO de Norma Oficial MexicanaPROY-NOM-257-SE-2021, 2021). La distribución amplia de las cargas en el espacio tridimensional del modelo de PLS-DA denota que las variables espectrales contribuyen balanceadamente a la separación de los grupos, evitando que una o pocas variables dominen el modelo (Anjos et al., 2022). Esta homogeneidad en la contribución de las variables espectrales implica que los modelos pueden captar patrones representativos y generalizables de las diferencias químicas entre raicillas de diferente región de origen.

La medida de bondad de predicción (Q^2 , Figura 6C) muestra que el modelo de cinco componentes es el más adecuado, obteniendo el 66.6 % de la varianza acumulada, el primer componente explicó 46.7 %, el segundo 6.4 %, el tercero 9.9 %, el cuarto 2.4 % y el quinto 1.2 % de la varianza. Pese a que la gráfica de puntuaciones muestra visualmente dos grupos separados de raicillas (costa y sierra), los ensayos de permutación asumen que no hay discriminación entre el par de grupos formados aleatoriamente (Westerhuis et al., 2008), al presentar un 99.5 % de permutaciones incorrectas (ver el resultado mostrado Anexo 2; con $p = 0.995$). Por lo tanto, aunque una separación visual pueda sugerir diferencias, la validación estadística es crucial para evitar conclusiones erróneas sobre la calidad y robustez del modelo de discriminación (Pesarin & Salmaso, 2010). Estas limitaciones han sido detectadas previamente, por ejemplo, Cozzolino et al. (2011) encontraron que para vinos australianos y neozelandeses en

condiciones ambientales muy similares (por ejemplo, en términos de suelo y clima), esto causaba que ciertas características del vino fueran muy similares, lo que dificulta la clasificación precisa basada en la espectroscopía (UV-Vis, NIR y MIR) y análisis multivariado. Por ello, cuando las regiones productoras son muy cercanas o tienen condiciones similares, las diferencias espectrales pueden ser menores, afectando la precisión de la clasificación geográfica del producto.

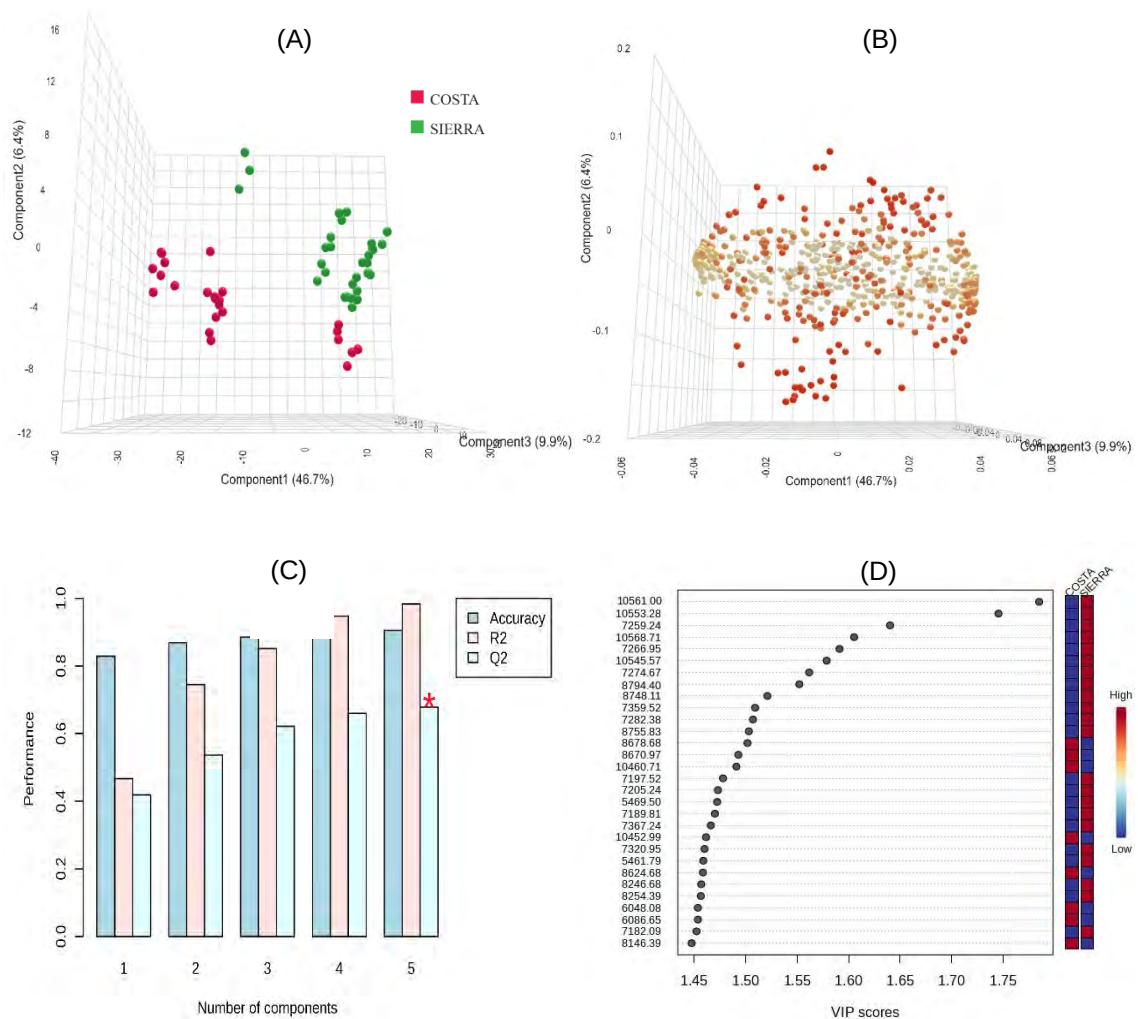


Figura 6. (A) Gráficos de scores, (B) loadings, (C) validación cruzada y (D) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante espectroscopia NIR, clasificados por región de producción.

Modelo de clasificación basado en proceso de manufactura

En la Figura 7 (A y B) muestra las gráficas de puntuaciones y cargas basadas en el Análisis Discriminante de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-DA) de la matriz de datos NIR de raicillas catalogadas de acuerdo con el proceso específico utilizado en la cocción del maguey o agave, molienda, fermentación y destilación, obteniéndose tres categorías de raicilla; raicilla clásica, raicilla artesanal y raicilla ancestral como se indica en la normativa mexicana (PROYECTO de Norma Oficial MexicanaPROY-NOM-257-SE-2021, 2021). La distribución de las cargas muestra una homogeneidad de los valores, lo cual nos permite obtener modelos fiables y robustos, la medida de bondad de predicción (Q^2 , Figura 7C) muestra que el modelo de dos componentes es el mejor, alcanzando un 60.2 % de la varianza acumulada, el primer componente explicó 44.6 % y el segundo 15.6 % de la varianza. Si bien el número óptimo de componentes es 2, lo que implicaría representar el grafico de marcadores en dos dimensiones se optó por incluir en la Figura 7 A el tercer componente para tener una representación gráfica similar a las mostradas en la Figura 5A y Figura 6A.

En contraste con los modelos de clasificación basados en especie de agave y región de origen de producción, el rendimiento durante la prueba de permutación fue significativo para el modelo basado en proceso de manufactura (ver el resultado mostrado en Anexo 3; con $p = 0.002$). Los valores estadísticos (Q^2 y valor p) indican la capacidad del modelo para diferenciar los grupos, lo que se traduce en diferencias en las características espectrales (Formosa et al., 2020). Este resultado refleja que las diferencias químicas de las muestras de raicillas derivadas del proceso de manufactura empleado (ancestral, artesanal y clásica) pueden ser diferenciadas por espectroscopía FT-NIR. Es importante resaltar que la aplicación de herramientas estadísticas multivariadas permitió una clara diferenciación de las muestras de raicilla, lo que refuerza el valor de los compuestos químicos clave para garantizar la autenticidad y el cumplimiento de las normas regulatorias (Uríčková & Sádecká, 2015). Estos hallazgos son

coincidentes con los resultados reportados por López-Aguilar et al. (2021) donde comparan perfiles metabolómicos obtenidos por espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) en mezcales de los estados de Oaxaca, Puebla y San Luis Potosí, este análisis permitió discriminar con buenos resultados los procesos de manufactura utilizados (ancestral y artesanal).

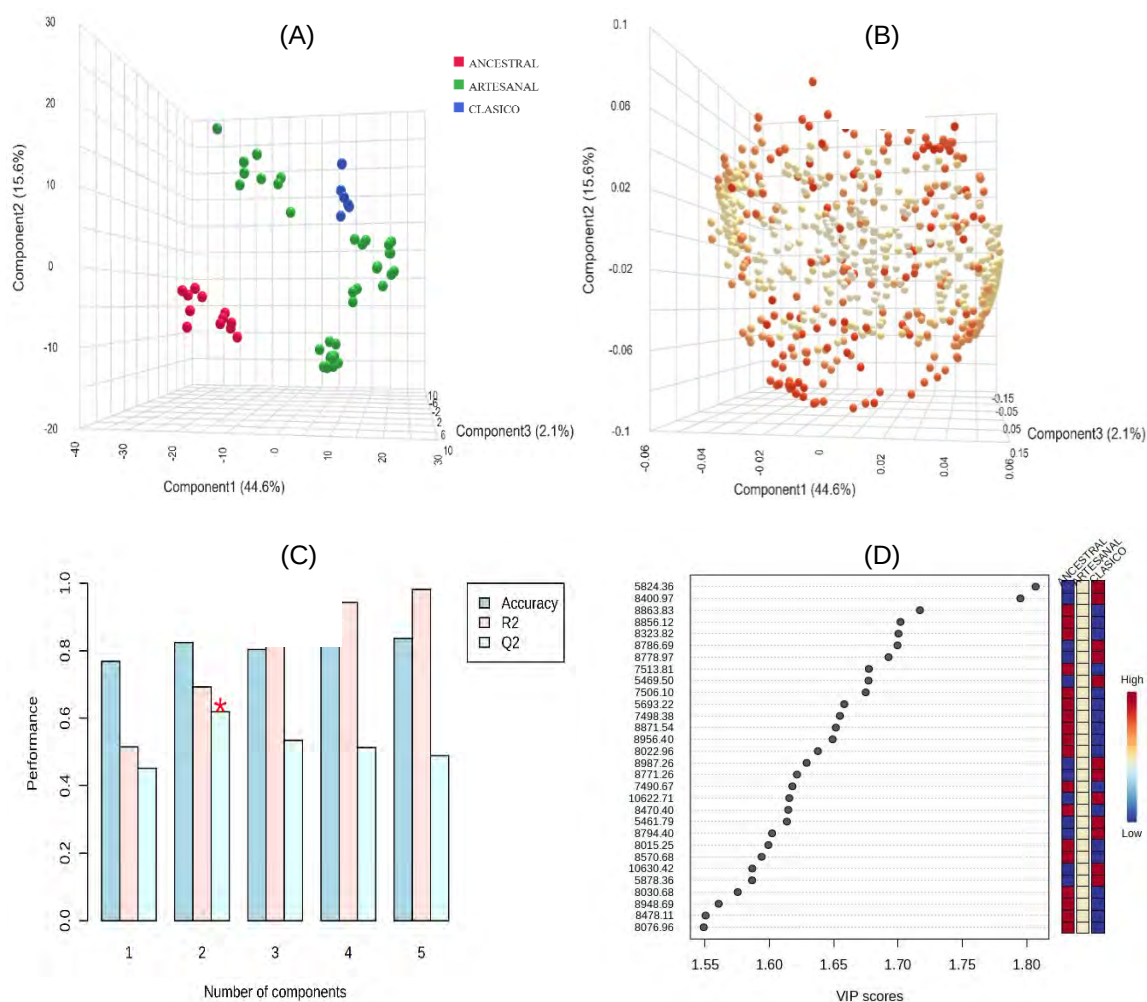


Figura 7. (A) Gráficos de scores, (B) loadings, (C) validación cruzada y (D) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante espectroscopia NIR, clasificados por proceso de elaboración.

Los resultados aquí obtenidos demuestran la utilidad y el potencial de FT-NIR para detectar diferencias químicas asociadas con el proceso de elaboración de bebidas alcohólicas. Sin embargo, en el caso de la evaluación aquí presentada

es deseable incluir un conjunto de muestras más amplio para establecer la validación y la capacidad predictiva de este modelo.

4.3.3. Identificación de compuestos volátiles por GC-MS mediante HS-SPME

El método de GC-MS basado en una preparación de muestra por HS-SPME proporciona información muy detallada sobre los compuestos volátiles presentes tanto de alta como de baja concentración en diversos tipos de matrices agroalimentarias (Johnson et al., 2017; Kleinová & Klejdus, 2014). La Figura 8 presenta un cromatograma de una muestra de raicilla representativa (LV-AAC), que revela una clara resolución de los compuestos comunes de alcoholes, ésteres, ácidos, furanos, terpenos, aldehídos, entre otros, lo que permite la identificación de múltiples compuestos que en su conjunto están asociados con las propiedades aromáticas y de sabor de esta bebida alcohólica. La identificación de los diversos compuestos fue verificada a través de los índices de Kovats con los datos disponibles en la literatura (ver en Anexo 4).

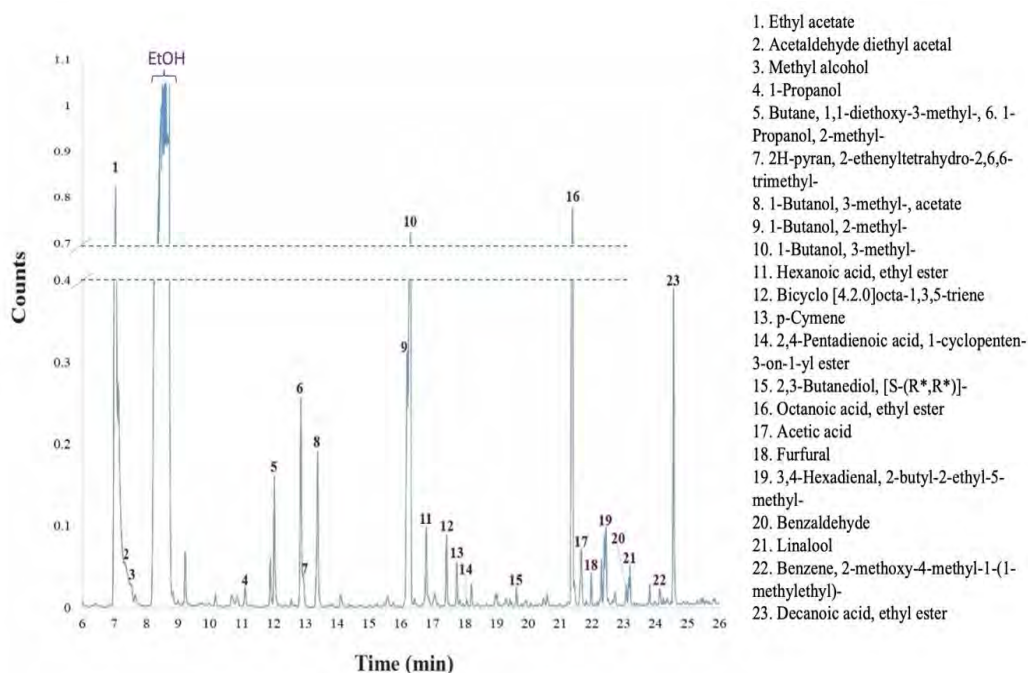


Figura 8. Identificación de compuestos volátiles en el cromatograma (HS-SPME-GC-MS) de una muestra seleccionada de raicilla (LV-AAC).

Modelo de clasificación basado en especie de agave

Con la finalidad de evaluar de manera preliminar, si la HS-SPE-GC-MS es una técnica adecuada para la clasificación de la raicilla por su especie de agave, se realizó un análisis estadístico multivariable basado en PLD-DA, tomando como input las áreas de los diversos compuestos identificados. La Figura 9 (A y B) muestra las gráficas de puntuaciones y cargas basadas en el PLS-DA de la matriz de datos GC-MS de raicillas producidas con *Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker. La medida de bondad de predicción (Q^2 , Figura 10A) muestra que el modelo de tres componentes explica el 56 % de la varianza acumulada, el primer componente explicó 20.8 %, el segundo 20.9 % y el tercero 14.3 % de la varianza, no obstante, debido al limitado número de muestras no fue factible realizar un análisis de permutaciones, ya que los valores- p obtenidos pueden ser menos confiables estadísticamente (Chong, Wishart, et al., 2019). El PLS-DA sugiere que es posible discriminar a las raicillas por especie de agave, lo que indica que han sido correctamente agrupadas o clasificadas por el modelo (Figura 10A). Las elipses representan regiones de confianza al 95 % alrededor de los grupos de muestras, por lo que la inclusión dentro de estas refleja homogeneidad y similitudes químicas significativas dentro del mismo grupo o categoría (Fitzgerald & Edwards, 2023). Este enfoque estadístico permitió visualizar la agrupación natural de las muestras y evaluar la consistencia dentro de un grupo, lo cual fue útil para distinguir entre diferentes especies de agaves utilizadas para la elaboración de la raicilla.

Los metabolitos que muestran las puntuaciones VIP más contribuyentes ($VIP \geq 1$) para la discriminación de las raicillas por especie de agave (*Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker) en el modelo PLS-DA fueron: Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene; 3,4-Hexadienal, 2-butyl-2-ethyl-5-methyl-; Propanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester; 1,6-Heptadien-4-ol, 4-propyl-; Benzene, 2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)-; 2,4-Hexadienoic acid, ethyl ester; Acetic acid; 2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-; Furfural y Ethyl Acetate (Figura 10B).

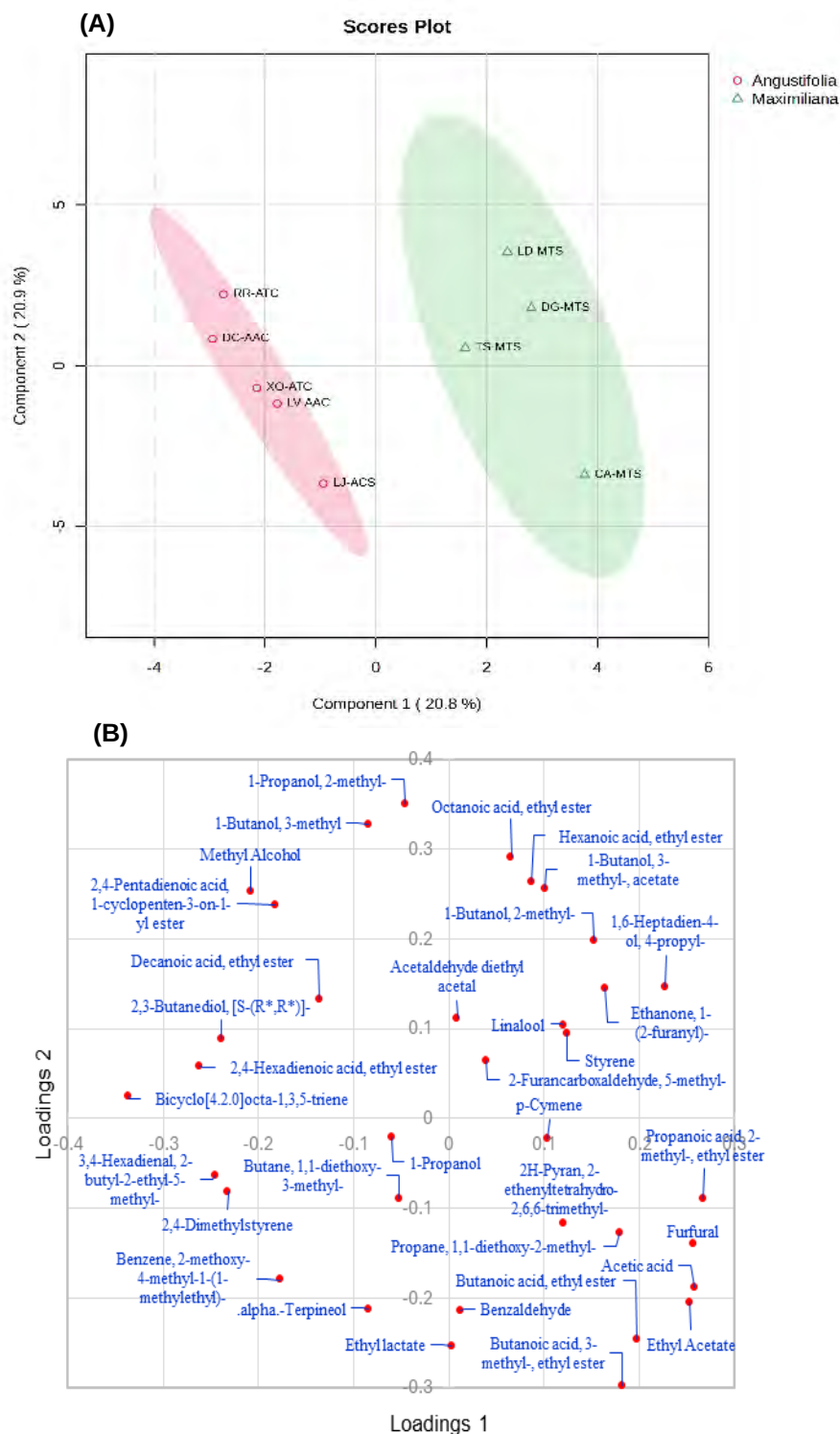


Figura 9. (A) Gráficos de scores y (B) loadings de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por especie de agave.

Estos resultados indican la utilidad de la CG para identificar los compuestos volátiles clave que contribuyen a la autenticidad y calidad del producto, y que potencialmente podrían ser usados para construir modelos predictivos robustos en la trazabilidad y caracterización de raicillas. Sin embargo, es necesario ampliar el análisis incluyendo mayor número de muestras para poder validar estos hallazgos. Por otra parte, la escala de color a la derecha de la Figura 10B, muestra las variaciones en la concentración de metabolitos volátiles dentro de los dos grupos de raicillas (*Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker), específicamente, indica cuáles metabolitos están aumentados o tienen una mayor presencia en cada grupo. De esta forma, fueron identificados compuestos clave que contribuyen a las diferencias aromáticas y sensoriales entre las raicillas tales como Ethyl Acetate; Furfural; Acetic acid; 1,6-Heptadien-4-ol, 4-propyl- y Propanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester. Este conjunto de compuestos característicos tuvo una mayor intensidad de área y $VIP \geq 1$ en raicillas elaboradas con la especie de *Agave maximiliana* Baker. Este hallazgo coincide con la identificación de Ethyl Acetate, Furfural y Acetic acid reportados por Sánchez et al. (2025) en destilados de agave del sur de México (mezcales oaxaqueños) elaborados con *Agave potatorum*, *angustifolia* Haw, *marmorata* Roezl y *karwinskii* Zucc.

De hecho, Vera-Guzmán et al. (2018) reportaron que para mezcales oaxaqueños producidos con *Agave angustifolia* Haw y *Agave potatorum* Zucc, el Ethyl Acetate, Furfural y Acetic acid presentaron los valores promedio de concentración más bajos en *Agave angustifolia* Haw, resultado que coincide con las observaciones de la disminución del área del pico aquí reportadas. Es relevante referir que el Ethyl Acetate es producido por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* mediante la acción de la enzima acetil alcohol transferasa y es la responsable de conferir sabores y aromas frutales a las bebidas alcohólicas (Molina-Guerrero et al., 2007; Osorio-Monsalve et al., 2016).

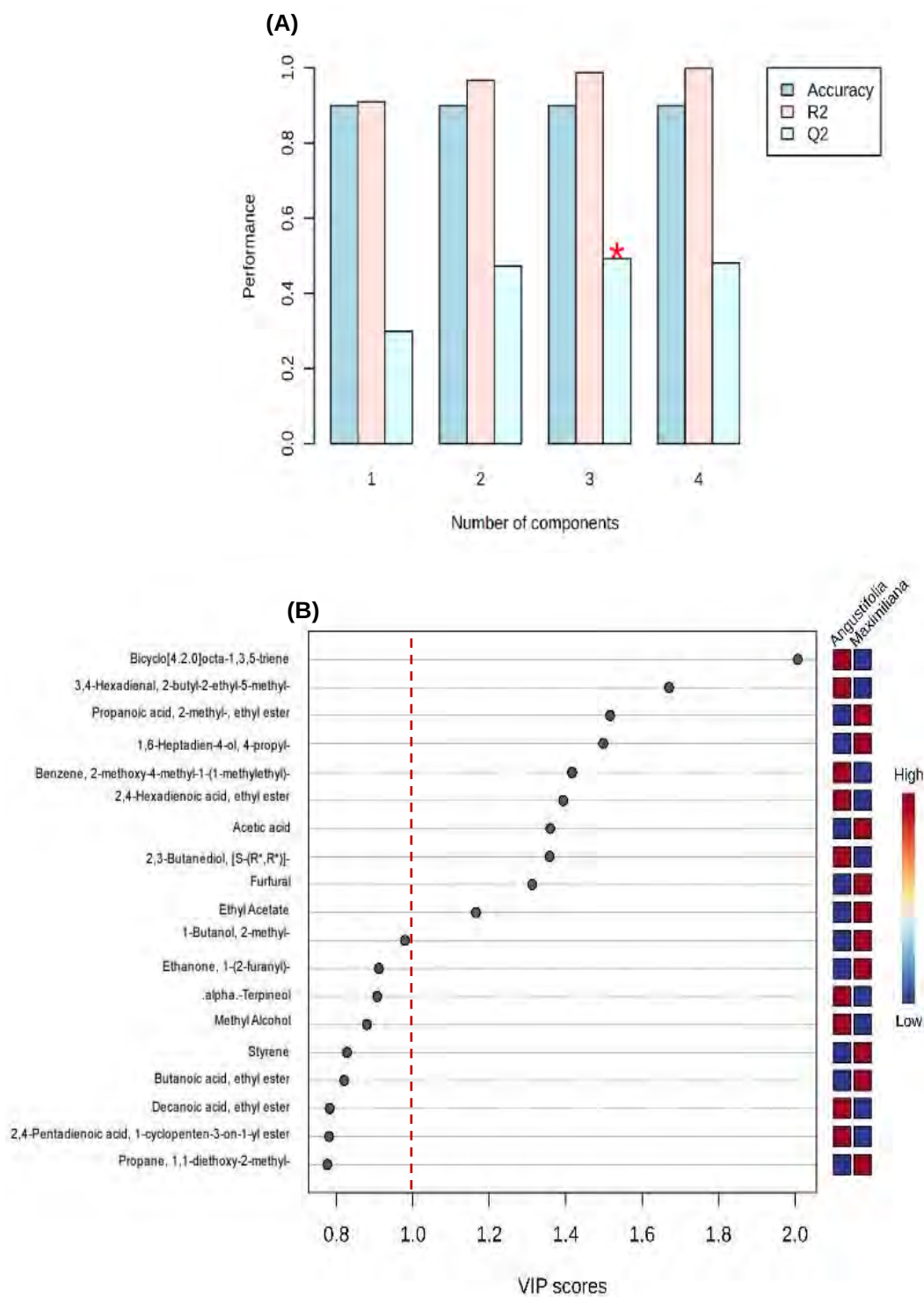


Figura 10. (A) Gráficos de validación cruzada y (B) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por especie de agave.

Por otra parte, De León – Rodríguez et al. (2006) y Sánchez et al. (2025) mencionan que el Furfural se genera durante los procesos térmicos que ocurren en las fases de cocción y destilación de las piñas de agave, como resultado de la degradación térmica de los azúcares presentes, este compuesto aporta notas aromáticas florales y frutales al perfil sensorial del producto final. Respecto a las directrices indicadas por el PROY-NOM-257-SE-2021, esta normativa establece que el contenido de Furfural en raicillas debe estar entre 0 – 5 mg/100 mL de alcohol anhidro, por lo que es deseable llevar a cabo estudios posteriores para cuantificar este compuesto y asegurar el cumplimiento de la legislación Mexicana. El Acetic acid se origina por la reacción de Maillard que ocurre durante la cocción de las piñas de agave, este metabolito contribuye con una nota aromática característica a vinagre en los destilados de agave (Molina-Guerrero et al., 2007), motivo por el cual los productores ponen particular atención en el proceso de cocción para regular su acumulación y asegurar la calidad sensorial de la raicilla.

Por otra parte, para raicillas elaboradas con *Agave angustifolia* Haw los compuestos con mayor intensidad de área y VIP ≥ 1 fueron 2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-; 2,4-Hexadienoic acid, ethyl ester; Benzene, 2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)-; 3,4-Hexadienal, 2-butyl-2-ethyl-5-methyl- y Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene. A la fecha no existen reportes de la identificación de estos compuestos en destilados elaborados a partir de *Agave angustifolia* Haw. De esta manera, el análisis por GC-MS de raicillas producidas en México resalta la necesidad de realizar estudios posteriores para describir de forma amplia el perfil químico de compuestos volátiles en este tipo de bebidas. Este tipo de estudios permitiría verificar la composición química de estas bebidas en relación con el origen, el proceso y el agave empleado para su elaboración con el fin de evitar productos de imitación u otros similares en el mercado. Así como proponer los compuestos volátiles diferenciadores de la raicilla respecto a otros destilados de agave.

La Figura 11 muestra un mapa de calor para los metabolitos principales seleccionados por la puntuación VIP de PLS-DA, que contribuyen significativamente al aroma y sabor de las raicillas, así como su distribución en las dos diferentes especies de agave, la agrupación jerárquica se realizó solo en los compuestos, mientras que las muestras de raicillas se ordenaron según su especie de agave. La distinción en color se asocia con diferencias de intensidad del área del pico, a partir del análisis de GC-MS, el color rojo indica una intensidad alta o una concentración elevada del metabolito, mientras que el color azul indica niveles bajos o disminuidos. Los tonos blancos representan valores intermedios entre el máximo y el mínimo. Los metabolitos Ethyl Acetate; Furfural; Acetic acid y Propanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester son los más intensos en la raicilla CA-MTS, 1,6-Heptadien-4-ol, 4-propyl- se encuentra en intensidades altas en DG-MTS y está presente en proporciones moderadas en LD-MTS y TS-MTS. En cambio, el Furfural y el Acetic acid se encuentran en relaciones de áreas bajas en las raicillas TS-MTS y DG- MTS, respectivamente.

Por otra parte, los metabolitos 2,4-Hexadienoic acid, ethyl ester; 2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]- y Benzene, 2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)- son los más intensos en las raicillas DC-AAC, RR-ATC y XO-ATC, respectivamente. Asimismo, los metabolitos Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene y 3,4-Hexadienal, 2-butyl-2-ethyl-5-methyl- se encuentran presentes en intensidades moderadas en las raicillas RR-ATC y LV-AAC, respectivamente. Estos resultados son consistentes con los encontrados en la Figura 10B, donde las raicillas elaboradas con *Agave angustifolia* Haw difieren de metabolitos presentes en raicillas de *Agave maximiliana* Baker.

En consecuencia, la presencia conjunta de los metabolitos volátiles en las muestras analizadas contribuye a que esas raicillas tengan un perfil aromático distintivo en comparación de otros destilados como el mezcal y el tequila que son producidos en zonas geográficas cercanas, que podrían tener concentraciones diferentes de estos compuestos. Esto forma parte de la variabilidad natural de la

raicilla debido a las diferentes especies de agave empleados para su elaboración y procesos de producción.

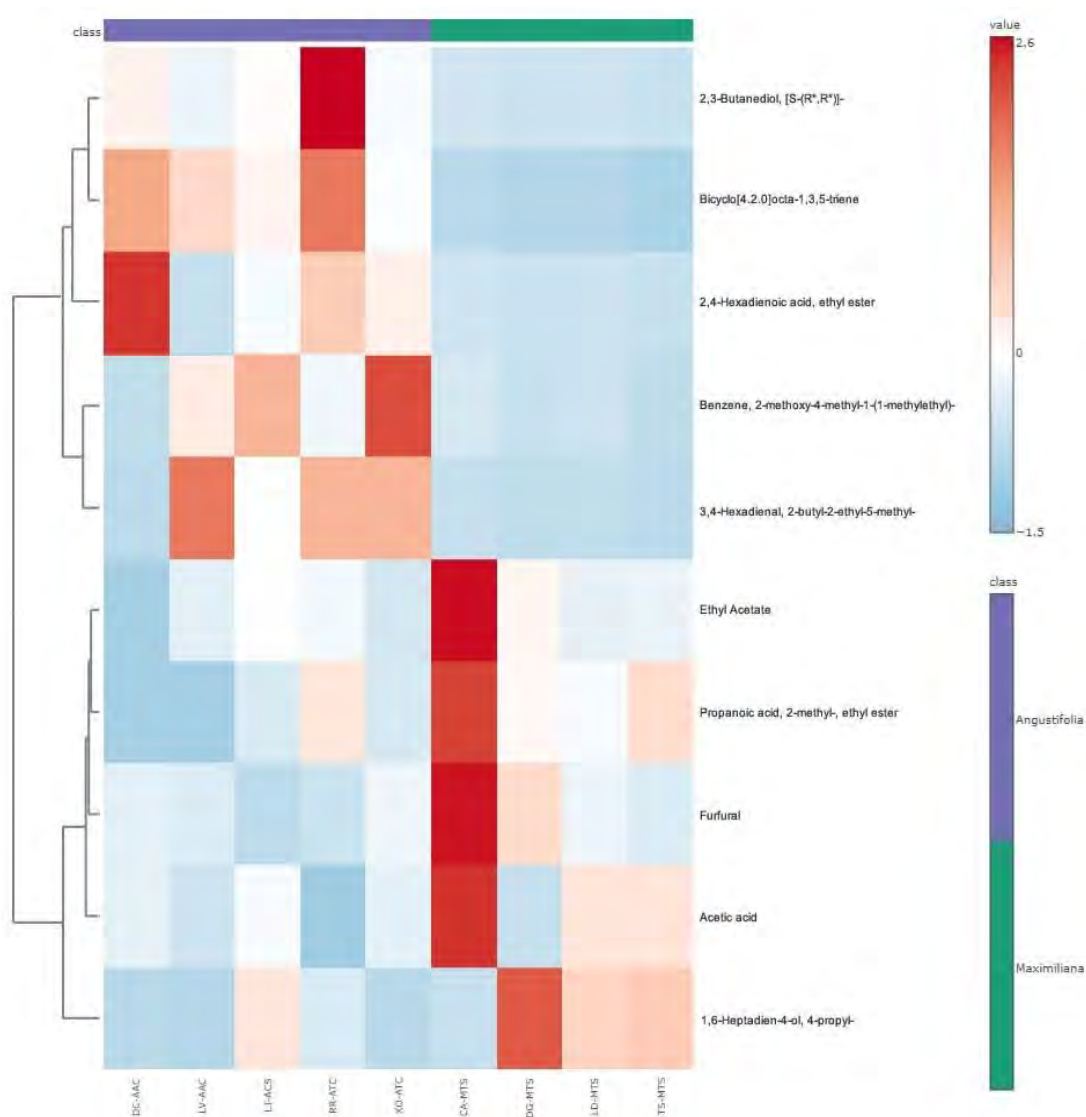


Figura 11. Mapa de calor para los 10 metabolitos principales seleccionados por la puntuación VIP de PLS-DA ($VIP \geq 1$), clasificados por agave: *angustifolia* y *maximiliana*.

Modelo de clasificación basado en región de origen de producción

La Figura 12 (A y B) presenta los gráficos de puntuaciones y cargas derivados del Análisis Discriminante de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-DA) aplicados a la matriz de datos obtenida mediante GC-MS de raicillas elaboradas en las

regiones costa y sierra del estado de Jalisco. La medida de bondad de predicción (Q^2 , Figura 13 A) indica que el modelo de cuatro componentes explica el 67.3 % de la varianza acumulada; el primer componente aporta un 22.2 %, el segundo un 22.6 %, el tercero un 12.3 % y el cuarto un 10.2 % de la varianza. Como se refirió previamente en la sección 3.3.1, debido al número limitado de muestras no fue posible realizar un análisis de permutaciones. El PLS-DA permitió discriminar a las raicillas por región de origen, lo que sugiere que han sido correctamente agrupadas o clasificadas por el modelo (Figura 12A), esto refleja homogeneidad y similitudes químicas significativas dentro del mismo grupo o categoría.

En la Figura 13B se muestra los metabolitos que manifiestan las puntuaciones VIP más contribuyentes ($VIP \geq 1$) para la discriminación de las raicillas por región de origen (costa y sierra) y cuales están aumentados o tienen mayor presencia en cada grupo. Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene; 3,4-Hexadienal, 2-butyl-2-ethyl-5-methyl-; 2,4-Hexadienoic acid, ethyl ester; Decanoic acid, ethyl ester; 2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-; Methyl Alcohol y 2,4-Pentadienoic acid, 1-cyclopenten-3-on-1-yl ester fueron los metabolitos característicos con mayor intensidad de área en raicillas provenientes de la región costa de Jalisco, elaboradas con la especie de *Agave angustifolia* Haw. Este hallazgo coincide con la identificación de Decanoic acid, ethyl ester y Methyl Alcohol reportados por Álvarez-Ainza et al. (2015) en destilados de agave del norte de México (bacanora del estado de Sonora) elaborado con *Agave angustifolia* Haw. El Decanoic acid, ethyl ester es el responsable de otorgar notas aromáticas a grasa, seco, amaderado y terroso al mezcal (Molina-Guerrero et al., 2007), en cambio, el Methyl Alcohol evoca aromas dulces, Quintero-Arenas et al. (2020) mencionan que la producción de Methyl Alcohol en destilados de agave es inherente a la fermentación alcohólica, ya que se produce a partir de la pectina y la lignina presentes en la pared celular del agave. Es importante resaltar que el PROY-NOM-257-SE-2021 establece que el contenido de Methyl Alcohol en raicillas debe estar entre 30 – 290 mg/100 mL de alcohol anhidro, el análisis cuantitativo de este compuesto en las raicillas analizadas confirmó que se encuentran dentro del intervalo previamente referido.

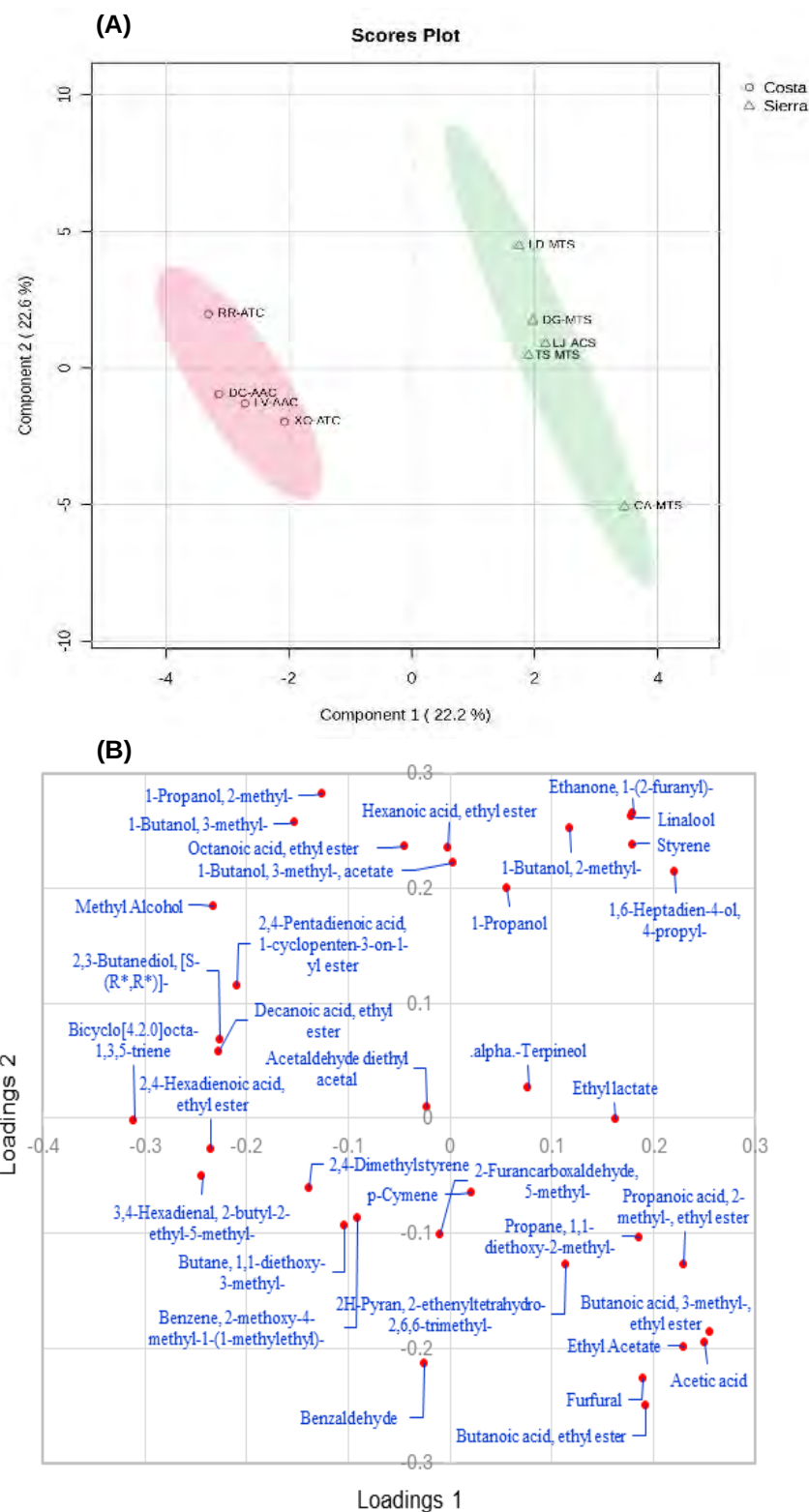


Figura 12. (A) Gráficos de scores y (B) loadings de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por región de producción.

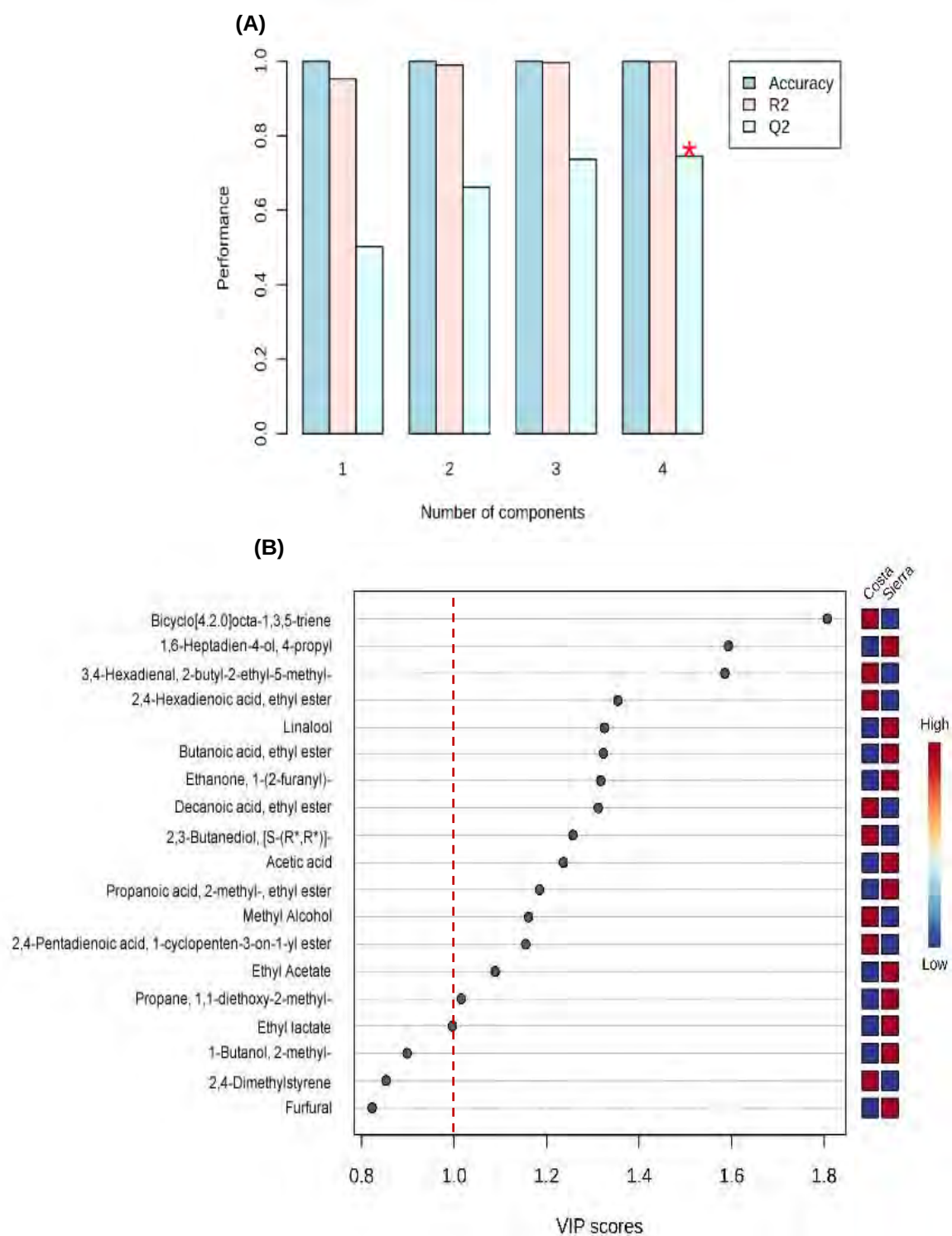


Figura 13. (A) Graficos de validación cruzada y (B) VIP scores de PLS-DA obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (GC-MS), clasificados por región de producción.

Por otra parte, para raicillas procedentes de la región sierra y en su mayoría manufacturadas con *Agave maximiliana* Baker los compuestos con mayor intensidad de área y VIP ≥ 1 fueron 1,6-Heptadien-4-ol, 4-propyl-; Linalool; Butanoic acid, ethyl ester; Ethanone, 1-(2-furanyl)-; Acetic acid; Propanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester; Ethyl Acetate; Propane, 1,1-diethoxy-2-methyl- y Ethyl lactate. Lazo et al. (2025), también identificaron compuestos como el Linalool; Acetic acid; Ethyl Acetate y Ethyl lactate en destilados de agave del sur de México (mezcales Guerrerenses) elaborados con *Agave angustifolia* Haw, *americana*, *cupreata* y *rodacantha*, quienes mencionan que son los metabolitos responsables de conceder notas aromáticas al producto final como floral/frutal, vinagre agrio, anís afrutado y graso, respectivamente.

La identificación de compuestos volátiles permite establecer patrones característicos que ayudan a determinar el origen geográfico (costa y sierra) y características sensoriales únicas del producto (Ceballos-Magaña et al., 2009), lo que es valioso para posicionar raicillas en mercados especializados, aportando valor agregado y reconocimiento de la diversidad biocultural.

Finalmente, la Figura 14 muestra un mapa de calor para los metabolitos principales seleccionados por la puntuación VIP de PLS-DA, así como su distribución en las dos regiones de origen de producción (costa y sierra), la agrupación jerárquica se realizó solo en los compuestos, mientras que las muestras de raicillas se ordenaron según su región de origen. Los metabolitos 2,4-Hexadienoic acid, ethyl ester y 2,4-Pentadienoic acid, 1-cyclopenten-3-on-1-yl ester son los más intensos en la raicilla DC-AAC, Decanoic acid, ethyl ester y 3,4-Hexadienal, 2-butyl-2-ethyl-5-methyl- se encuentran en intensidades altas en la raicilla LV-AAC y están presentes en proporciones moderadas en RR-ATC. Además, 3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-; Methyl Alcohol y Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene son los más intensos en la raicilla RR-ATC. En cambio, la raicilla XO-ATC presentó intensidades moderadas de los metabolitos 3,4-Hexadienal, 2-butyl-2-ethyl-5-methyl- y 2,4-Pentadienoic acid, 1-cyclopenten-3-on-1-yl ester.

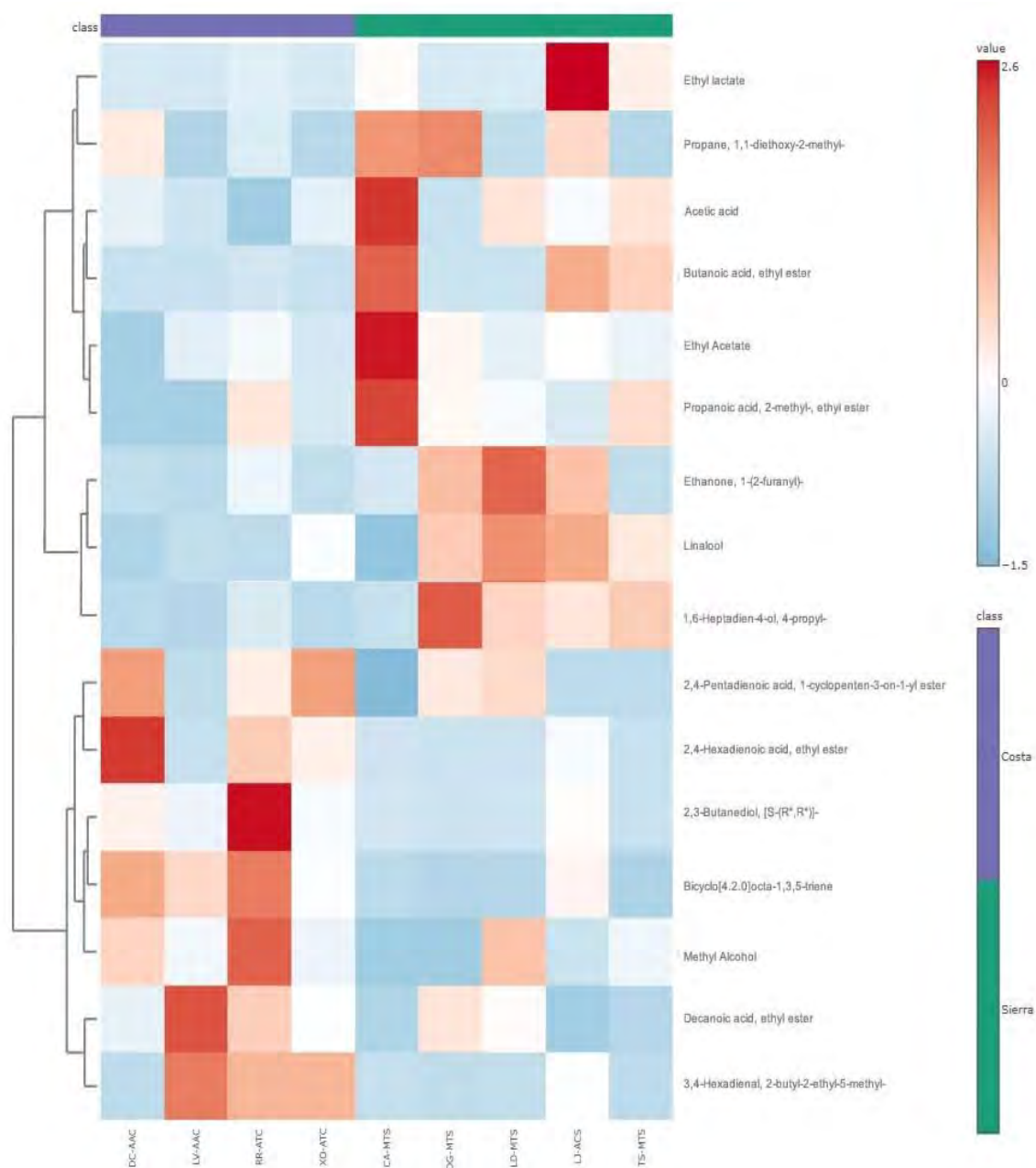


Figura 14. Mapa de calor para los 16 metabolitos principales seleccionados por la puntuación VIP de PLS-DA ($VIP \geq 1$), clasificados por región: costa y sierra.

Por otro lado, los metabolitos Propanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester; Ethyl Acetate; Butanoic acid, ethyl ester; Acetic acid y Propane, 1,1-diethoxy-2-methyl- son los más intensos en la raicilla CA-MTS, 1,6-Heptadien-4-ol, 4-propyl- se encuentra en intensidad alta en la raicilla DG-MTS. Asimismo, los metabolitos

Linalool y Ethanone, 1-(2-furanyl)- se encuentran en intensidades altas en LD-MTS. La raicilla LJ-ACS fue la única que presentó en intensidades altas el Ethyl lactate y TS-MTS presentó valores intermedios en la mayoría de los metabolitos.

En conjunto los resultados de este estudio basado en GC-MS conducen a una primera aproximación para describir el perfil de compuestos volátiles de la raicilla y sienta las bases de los compuestos químicos que pudieran ser identificados en este producto. Por lo que es indispensable que en nuestro país se lleven a cabo estudios de la composición química de la raicilla producida con distintas especies de agave, para obtener el perfil de compuestos volátiles que caracteriza a cada una de ellas, que a largo plazo podrían conducir a la identificación del origen geográfico en función del tipo de agave y el proceso de elaboración utilizado.

4.4. Conclusiones

Las variables fisicoquímicas estudiadas ($^{\circ}\text{Bx}$, n_D y % Alc. Vol.) por sí solas no son suficientes para la autenticación y clasificación robusta de raicillas, según la especie de agave empleado en su elaboración (*Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker), su origen geográfico (sierra y costa) y proceso de manufactura (ancestral, artesanal y clásica).

El método quimiométrico desarrollado en la región NIR puede utilizarse para verificar la autenticidad de la raicilla, principalmente por proceso de manufactura (ancestral, artesanal y clásica), lo que demuestra la utilidad y el potencial para detectar diferencias químicas asociadas con el proceso de elaboración de bebidas alcohólicas.

El modelo desarrollado de NIR es una alternativa analítica a métodos convencionales, especialmente para laboratorios de control de organismos reguladores, tienen la ventaja de ser rápido porque la muestra no requiere pretratamiento, es menos costoso y respetuoso con el medio ambiente al no utilizar reactivos ni disolventes.

SPME-GC-MS permitió identificar un total 35 compuestos volátiles en las 9 muestras de raicillas; alcoholes, ésteres, ácidos, furanos, terpenos, aldehídos, entre otros, que en su conjunto otorgan las propiedades sensoriales únicas a esta bebida alcohólica. Los metabolitos que están aumentados o tienen mayor presencia en cada grupo ayudaron a una mejor discriminación de raicillas por materia prima empleada en su elaboración (*Agave angustifolia* Haw y *maximiliana* Baker) y región de origen (costa y sierra), lo que destaca su potencial como técnica analítica para la clasificación, trazabilidad y autenticación de raicillas.

Los resultados aquí mostrados confirman que la composición química de la raicilla se ve influenciada por la materia prima, región de origen de producción y el proceso de manufactura empleado. Sin embargo, es deseable incluir un conjunto de muestras mayor para establecer la validación y la capacidad predictiva de estos modelos.

4.5. Bibliografía

- Álvarez-Ainza, M. L., García-Galaz, A., González-Ríos, H., Prado-Jaramillo, N., & Acedo-Félix, E. (2015). Sensory analysis and minor volatile compounds of distilled from *Agave angustifolia* Haw (Bacanora). *Biotechnia*, 17(3), 22–29. www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971117005
- Anjos, O., Caldeira, I., Fernandes, T. A., Pedro, S. I., Vitória, C., Oliveira-Alves, S., Catarino, S., & Canas, S. (2022). PLS-R calibration models for wine spirit volatile phenols prediction by near-infrared spectroscopy. *Sensors*, 22(1). <https://doi.org/10.3390/s22010286>
- Carreon-Alvarez, A., Zurita, F., Carreon-Alvarez, C., Sanchez-Tizapa, M., Huerta, H., Tepale, N., & Morán-Lázaro, J. P. (2025). Preliminary Study for Raicilla Authentication by PCA and Cluster on Some Physicochemical Properties. *Beverages*, 11(4), 107. <https://doi.org/10.3390/beverages11040107>
- Ceballos-Magaña, S. G., Jurado, J. M., Martín, M. J., & Pablos, F. (2009). Quantitation of twelve metals in tequila and mezcal spirits as authenticity parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1372–1376. <https://doi.org/10.1021/jf803626k>
- Chong, J., Wishart, D. S., & Xia, J. (2019). Using MetaboAnalyst 4.0 for Comprehensive and Integrative Metabolomics Data Analysis. *Current Protocols in Bioinformatics*, 68(1). <https://doi.org/10.1002/cpbi.86>

- Chong, J., Yamamoto, M., & Xia, J. (2019). MetaboAnalystR 2.0: From raw spectra to biological insights. *Metabolites*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/metabo9030057>
- Cortés, V., Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S., & Talens, P. (2019). Monitoring strategies for quality control of agricultural products using visible and near-infrared spectroscopy: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 85, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.015>
- Cozzolino, D. (2021). The ability of near infrared (NIR) spectroscopy to predict functional properties in foods: Challenges and opportunities. *Molecules*, 26(22). <https://doi.org/10.3390/molecules26226981>
- Cozzolino, D. (2024). Low resolution food fingerprinting: vibrational spectroscopic methods for nondestructive food authentication. *Current Opinion in Food Science*, 60. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101229>
- Cozzolino, D., Cynkar, W. U., Shah, N., & Smith, P. A. (2011). Can spectroscopy geographically classify Sauvignon Blanc wines from Australia and New Zealand? *Food Chemistry*, 126(2), 673–678. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.005>
- De León-Rodríguez, A., González-Hernández, L., Barba de la Rosa, A. P., Escalante-Minakata, P., & López, M. G. (2006). Characterization of Volatile Compounds of Mezcal, an Ethnic Alcoholic Beverage Obtained from Agave *salmiana*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1337–1341. <https://doi.org/10.1021/jf052154>
- Declaración General de Protección de La Denominación de Origen “Raicilla”., Diario Oficial de la Federación 1 (2019). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5564454&fecha=28/06/2019&print=true
- Fitzgerald, N., & Edwards, J. C. (2023). Investigation of Solid Phase Microextraction Gas Chromatography–Mass Spectrometry, Fourier Transform Infrared Spectroscopy and ¹H qNMR Spectroscopy as Potential Methods for the Authentication of Baijiu Spirits. *Beverages*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/beverages9010025>
- Formosa, J. P., Lia, F., Mifsud, D., & Farrugia, C. (2020). Application of ATR-FT-MIR for tracing the geographical origin of honey produced in the maltese islands. *Foods*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060710>
- Fritsche, J. (2018). Recent Developments and Digital Perspectives in Food Safety and Authenticity. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 66, Issue 29, pp. 7562–7567). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00843>
- Ghosh, T., Zhang, W., Ghosh, D., & Kechris, K. (2020). Predictive Modeling for Metabolomics Data. *Methods in Molecular Biology*, 2104, 313–336). https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0239-3_16

- Islam, S., & Cullen, J. M. (2021). Food traceability: A generic theoretical framework. *Food Control*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107848>
- Jauregui-García, C. Z., Hernández-Montes, A., Espejel-García, A., Hernández-Rodríguez, L., & Barrera-Rodríguez, A. I. (2024). Caracterización sensorial de vino tinto Shiraz de Parras, Coahuila, México. *Acta Universitaria*, 34, 1–20. <https://doi.org/10.15174/au.2024.4182>
- Johnson, S. R., Soprano, S. E., Wickham, L. M., Fitzgerald, N., & Edwards, J. C. (2017). Nuclear magnetic resonance and headspace solid-phase microextraction gas chromatography as complementary methods for the analysis of beer samples. *Beverages*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/beverages3020021>
- Kleinová, J., & Klejdus, B. (2014). Determination of Volatiles in Beer using Solid-Phase Microextraction in Combination with Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(3).
- Klockmann, S., Reiner, E., Bachmann, R., Hackl, T., & Fischer, M. (2016). Food Fingerprinting: Metabolomic Approaches for Geographical Origin Discrimination of Hazelnuts (*Corylus avellana*) by UPLC-QTOF-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(48), 9253–9262. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04433>
- Lazo, O., García-Ortíz, A. L., Pardo, J., & Guerrero, L. (2025). Mezcal Characterization Through Sensory and Volatile Analyses. *Foods*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/foods14030402>
- Llano, S. M., Muñoz-Jiménez, A. M., Jiménez-Cartagena, C., Londoño-Londoño, J., & Medina, S. (2018). Untargeted metabolomics reveals specific withanolides and fatty acyl glycoside as tentative metabolites to differentiate organic and conventional *Physalis peruviana* fruits. *Food Chemistry*, 244, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.026>
- 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. *Biotechnia*, 26, 293–305. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26.2210>
- López-Aguilar, R., Zuleta-Prada, H., Hernández-Montes, A., & Herbert-Pucheta, J. E. (2021). Comparative NMR metabolomics profiling between mexican ancestral & artisanal mezcal 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>
- Medina, S., Pereira, J. A., Silva, P., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2019). Food fingerprints – A valuable tool to monitor food authenticity and safety. *Food Chemistry*, 278, 144–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.046>

- Molina-Guerrero, J. A., Botello-Álvarez, J. A. ;, & Estrada-Baltazar, J. E. ; (2007). Compuestos volátiles en mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(1), 41–50. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62060106>
- Osorio-Monsalve, J., López, C., & Zapata, J. (2016). Caracterización de los compuestos del aroma en rones colombianos por HS-SPME-GC-MS-O.pdf. *Revista Colombiana de Química*, 45(2), 48.
- 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* (Switzerland), 16(19). <https://doi.org/10.3390/su16198633>
- Pesarin, Fortunato., & Salmaso, Luigi. (2010). *Permutation tests for complex data: theory, applications, and software*. Wiley.
- Pontes, M. J. C., Santos, S. R. B., Araújo, M. C. U., Almeida, L. F., Lima, R. A. C., Gaião, E. N., & Souto, U. T. C. P. (2006). Classification of distilled alcoholic beverages and verification of adulteration by near infrared spectrometry. *Food Research International*, 39(2), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.005>
- Power, A. C., Jones, J., NiNeil, C., Geoghegan, S., Warren, S., Currivan, S., & Cozzolino, D. (2021). What's in this drink? Classification and adulterant detection in Irish Whiskey samples using near infrared spectroscopy combined with chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 5256–5263. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11174>
- PROYECTO de Norma Oficial MexicanaPROY-NOM-257-SE-2021. (2021). *Bebidas alcohólicas-Raicilla-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba*. pp. 1–16. Diario Oficial de la Federación.
- 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>
- Sánchez-Fernández, R. E., Pérez-López, A., Morales-Solis, A., Manilla-Tellez, Y., Reyes-Carmona, E. D., & Avila-Urbe, G. (2025). Chemistry of Mezcal: Volatile Profile of Artisanal Mezcal Made from Wild Agaves of Oaxaca. *Foods*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/foods14071222>
- Sisco, E., & Dake, J. (2016). Detection of low molecular weight adulterants in beverages by direct analysis in real time mass spectrometry. *Analytical Methods*, 8(14), 2971–2978. <https://doi.org/10.1039/c6ay00292g>
- Souard, F., Delporte, C., Stoffelen, P., Thévenot, E. A., Noret, N., Dauvergne, B., Kauffmann, J. M., Van Antwerpen, P., & Stévigny, C. (2018). Metabolomics fingerprint of coffee species determined by untargeted-profiling study using

- LC-HRMS. *Food Chemistry*, 245, 603–612.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.022>
- Szymańska, E., Saccenti, E., Smilde, A. K., & Westerhuis, J. A. (2012). Double-check: Validation of diagnostic statistics for PLS-DA models in metabolomics studies. *Metabolomics*, 8, 3–16.
<https://doi.org/10.1007/s11306-011-0330-3>
- Uríčková, V., & Sádecká, J. (2015). Determination of geographical origin of alcoholic beverages using ultraviolet, visible and infrared spectroscopy: A review. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 148, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.03.111>
- Vera-Guzmán, A. M., Guzmán-Gerónimo, R. I., López, M. G., & Chávez-Servia, J. L. (2018). Volatile compound profiles in mezcal spirits as influenced by agave species and production processes. *Beverages*, 4(1–9).
<https://doi.org/10.3390/beverages4010009>
- Westerhuis, J. A., van Velzen, E. J. J., Hoefsloot, H. C. J., & Smilde, A. K. (2008). Discriminant Q2 (DQ2) for improved discrimination in PLS-DA models. *Metabolomics*, 4(4), 293–296. <https://doi.org/10.1007/s11306-008-0126-2>

5. PERFIL AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE RAICILLA EN MÉXICO: UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

RESUMEN

La raicilla es un destilado tradicional mexicano obtenido a partir de la fermentación y destilación de agaves, cuya producción se mantiene predominantemente bajo esquemas artesanales. No obstante, existe información limitada sobre los impactos ambientales asociados a su proceso de elaboración. El objetivo de este estudio fue caracterizar el perfil ambiental de la producción de raicilla en México mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV) bajo un enfoque puerta a puerta (gate-to-gate). El estudio se desarrolló conforme a las normas ISO 14040 e ISO 14044 y se aplicó el método ReCiPe Midpoint (H). La unidad funcional fue una botella de raicilla de 750 mL a 40 % v/v producida en la taberna. Se evaluaron ocho categorías de impacto ambiental: cambio climático (GWP100), acidificación terrestre (TAP), eutrofización de agua dulce (FEP), eutrofización marina (MEP), formación de ozono fotoquímico (POFP), formación de material particulado (PMFP), uso de recursos fósiles (FRP) y consumo de agua (WCP). Los resultados muestran que la producción de una botella genera 3.48 kg CO₂ eq. La destilación fue el principal punto crítico ambiental, contribuyendo con el 64 % del GWP100, seguida por la cocción (18 %), debido al uso intensivo de leña como fuente de energía térmica. Asimismo, la gestión de vinazas influyó en las categorías de eutrofización, mientras que el consumo de agua se concentró en la fermentación. El análisis de sensibilidad indicó que la reducción del consumo de leña y el tratamiento de vinazas representan las principales oportunidades de mejora ambiental del sistema productivo.

Palabras clave: Agave, biomasa, destilación, emisiones, vinazas.

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Director de Tesis: Dr. Anastacio Espejel García.

ENVIRONMENTAL PROFILE OF RAICILLA PRODUCTION IN MEXICO: A LIFE CYCLE ANALYSIS

ABSTRACT

Raicilla is a traditional Mexican distilled spirit obtained from the fermentation and distillation of agave musts, whose production remains predominantly artisanal. However, limited information is available regarding the environmental impacts associated with its production process. The objective of this study was to characterize the environmental profile of raicilla production in Mexico using a Life Cycle Assessment (LCA) under a gate-to-gate approach. The study was conducted following the ISO 14040 and ISO 14044 standards, applying the ReCiPe Midpoint (H) method for impact assessment. The functional unit was defined as one 750 mL bottle of raicilla at 40 % v/v produced at the facility. Eight environmental impact categories were evaluated: climate change (GWP100), terrestrial acidification (TAP), freshwater eutrophication (FEP), marine eutrophication (MEP), photochemical ozone formation (POFP), particulate matter formation (PMFP), fossil resource scarcity (FRP), and water consumption (WCP). Results indicate that the production of one bottle generates 3.48 kg CO₂ eq. Distillation was identified as the main environmental hotspot, contributing 64 % of the GWP100, followed by cooking (18 %), mainly due to the intensive use of firewood as a thermal energy source. Additionally, vinasse management significantly influenced eutrophication-related categories, while water consumption was primarily associated with the fermentation stage. Sensitivity analysis indicated that reducing firewood consumption and implementing vinasse treatment represent the main opportunities for improving the environmental performance of the production system.

Keywords: Agave, biomass, distillation, emissions, vinasse.

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Postgraduate Program en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Thesis Director: Dr. Anastacio Espejel García.

5.1. Introducción

La raicilla es una bebida espirituosa tradicional mexicana obtenida mediante la destilación de mostos fermentados de diversas especies de agave, cuya producción se concentra principalmente en el estado de Jalisco (PROY-NOM-257-SE-2021, 2021). Aunque históricamente fue considerada una bebida regional de carácter artesanal, en los últimos años ha experimentado un crecimiento significativo derivado del reconocimiento oficial de su Denominación de Origen (DO) y del aumento en la demanda de destilados premium de origen territorial (Pablo-Cano et al., 2024). A diferencia de otros destilados de agave con mayor nivel de tecnificación industrial, la producción de raicilla conserva en numerosos casos métodos tradicionales, incluyendo cocción en hornos de mampostería o tierra, fermentación espontánea y destilación en alambiques de cobre o madera (Nava-Cárdenas et al., 2024). Estas características productivas pueden implicar patrones específicos de consumo energético y generación de residuos, con posibles implicaciones ambientales diferenciadas respecto a otros destilados.

Desde la perspectiva ambiental, los estudios sobre bebidas alcohólicas han demostrado que los impactos ambientales se distribuyen de manera heterogénea a lo largo del sistema productivo. En el caso del Whisky, se ha documentado que el consumo energético en la destilación y la fabricación del envase de vidrio representan contribuciones relevantes al potencial de calentamiento global y al uso de recursos fósiles (Cely-Parra et al., 2023; Eriksson et al., 2016). De forma similar, el análisis ambiental del Vodka evidenció que la producción agrícola y el vidrio constituyen etapas con alta contribución en categorías como cambio climático y eutrofización (Bhattacharyya et al., 2019). Para destilados vínicos como el Pisco, la viticultura y el proceso de embotellado han sido identificados como etapas críticas en múltiples categorías de impacto (Vázquez-Rowe et al., 2017).

En destilados derivados de agave, investigaciones recientes sobre mezcal y sotol han señalado que la cocción de las piñas y la destilación, particularmente cuando emplean biomasa como combustible, constituyen las etapas con mayor contribución relativa a los impactos ambientales, especialmente en cambio climático, acidificación y formación de material particulado (Madrid-Solórzano et al., 2021, 2022; Martínez et al., 2020; Ruiz-Camou et al., 2023). En el caso del tequila, los estudios han mostrado que el manejo de efluentes líquidos como las vinazas puede incrementar significativamente el potencial de eutrofización si no se aplican tratamientos adecuados (Morales et al., 2025). En conjunto, estos trabajos coinciden en que la energía térmica, el uso de insumos agrícolas y la gestión de residuos suelen constituir los principales puntos críticos del sistema productivo (etapas con mayor contribución relativa a los impactos totales).

A pesar de este avance en la literatura sobre bebidas espirituosas, no se dispone de estudios sistemáticos que caractericen el perfil ambiental específico de la raicilla. Esta ausencia de información resulta relevante en un contexto donde los mercados internacionales demandan cada vez mayor transparencia ambiental y trazabilidad en productos agroindustriales. La identificación cuantitativa de los impactos asociados a la etapa de transformación permite no solo comparar tecnologías, sino también orientar estrategias de mejora en eficiencia energética y gestión de residuos y con ello definir estrategias que contribuyan a la disminución del impacto ambiental de los procesos productivos, en nuestro caso la elaboración del destilado de agave denominado raicilla.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), normalizado bajo las directrices ISO 14040 e ISO 14044, constituye una metodología reconocida internacionalmente para evaluar los flujos de materia y energía asociados a un sistema productivo y traducirlos en indicadores de impacto ambiental (Webb et al., 2025). Su aplicación en bebidas alcohólicas ha permitido identificar patrones comunes de impacto y proponer estrategias de mitigación basadas en evidencia cuantitativa (Bhattacharyya et al., 2019; Eriksson et al., 2016; Vázquez-Rowe et al., 2017).

Aunque numerosos estudios adoptan un enfoque de cuna a puerta (cradle-to-gate) o de cuna a tumba (cradle-to-grave), el análisis enfocado únicamente en la etapa de transformación industrial resulta especialmente útil cuando se busca evaluar el desempeño ambiental propio del proceso productivo (Askham et al., 2025).

En este sentido, el presente estudio adopta un enfoque de puerta a puerta (gate-to-gate), es decir, limitado exclusivamente a las operaciones dentro de la unidad de procesamiento, desde la recepción del agave (materia prima) hasta la obtención del destilado listo para la salida de la planta. Este enfoque permite aislar la variabilidad asociada al cultivo de agave y a la distribución, concentrándose en los consumos energéticos, insumos auxiliares y generación de residuos propios del proceso de elaboración del destilado denominado raicilla. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar cuantitativamente el perfil ambiental de la producción de raicilla en México bajo un enfoque puerta a puerta (gate-to-gate) mediante la aplicación de ACV, identificando las etapas con mayor contribución relativa en categorías como cambio climático, acidificación, eutrofización y uso de recursos fósiles. La generación de este perfil ambiental permitirá establecer una línea base cuantitativa que contribuya al diseño de estrategias de mejora y al fortalecimiento de la sostenibilidad del sector y disminución del impacto ambiental.

5.2. Materiales y métodos

5.2.1. Definición de objetivo y alcance

El objetivo del presente estudio fue cuantificar y caracterizar el perfil ambiental de la producción de raicilla, en una Taberna (lugar o instalación donde se realiza el proceso de producción de la raicilla) del Municipio de Mascota, Jalisco, México (Figura 15), mediante la aplicación de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), identificando las etapas con mayor contribución relativa a distintas categorías de impacto ambiental.

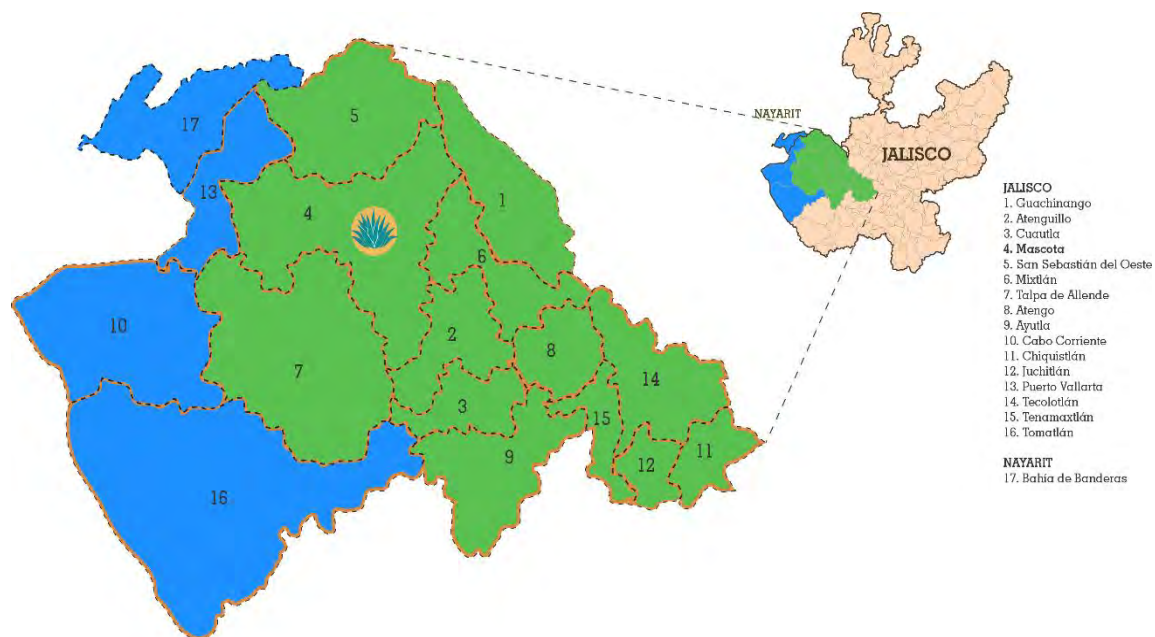


Figura 15. Ubicación de la taberna productora de raicilla seleccionada para el ACV en el municipio de Mascota, Jalisco.

El estudio se desarrolló conforme a las directrices establecidas en las normas ISO 14040 e ISO 14044 (ISO, 2006a, 2006b), siguiendo las fases metodológicas de: (I) definición de objetivo y alcance, (II) análisis de inventario, (III) evaluación de impactos y (IV) interpretación (Figura 16). El modelado del inventario y la evaluación de impactos del ciclo de vida se realizaron mediante cálculos propios basados en balances de materia y energía, aplicando los factores de caracterización del método ReCiPe Midpoint (H) (Huijbregts et al., 2017; Ruiz-Camou et al., 2023). El procesamiento de datos y la cuantificación de impactos ambientales se desarrollaron mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel.

La delimitación del sistema bajo el enfoque puerta a puerta (*gate-to-gate*) se muestra en la Figura 17, donde se identifican las etapas incluidas, los principales flujos de entrada y salida, así como los procesos excluidos del análisis (Guinée et al., 2002). El sistema comprende únicamente las operaciones internas de la unidad productiva: cocción, molienda, fermentación, destilación y gestión interna

de residuos y efluentes (PROY-NOM-257-SE-2021, 2021). Estas etapas representan el núcleo del proceso de transformación de la raicilla y concentra los principales consumos energéticos y generación de emisiones.

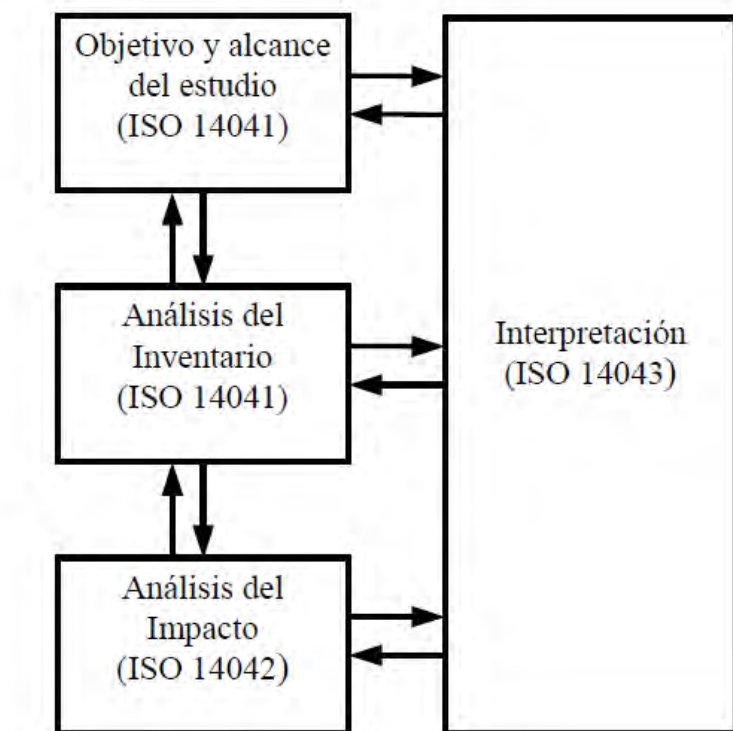


Figura 16. Fases del ACV de acuerdo con la ISO 14040.

Como entradas del sistema se consideran el agave cocido, la leña o combustible térmico, la electricidad y el agua de proceso. Las salidas incluyen la raicilla como producto principal, además de bagazo, vinazas, emisiones atmosféricas derivadas de la combustión y aguas residuales. Se excluyen del análisis el cultivo del agave, la producción de botellas y materiales de empaque, el transporte externo, así como las etapas de distribución, uso y disposición final. Esta delimitación permite evaluar de manera específica el desempeño ambiental de la etapa de transformación del producto e identificar sus principales puntos críticos.

La unidad funcional (UF) seleccionada fue una botella de raicilla de 750 mL con 40 % v/v producida en planta. Esta unidad permite la comparación directa con estudios internacionales de análisis de ciclo de vida en bebidas espirituosas

(Eriksson et al., 2016; Leivas et al., 2020; Vázquez-Rowe et al., 2017), al proporcionar una base común de referencia y facilitar la normalización de los resultados respecto al contenido alcohólico.

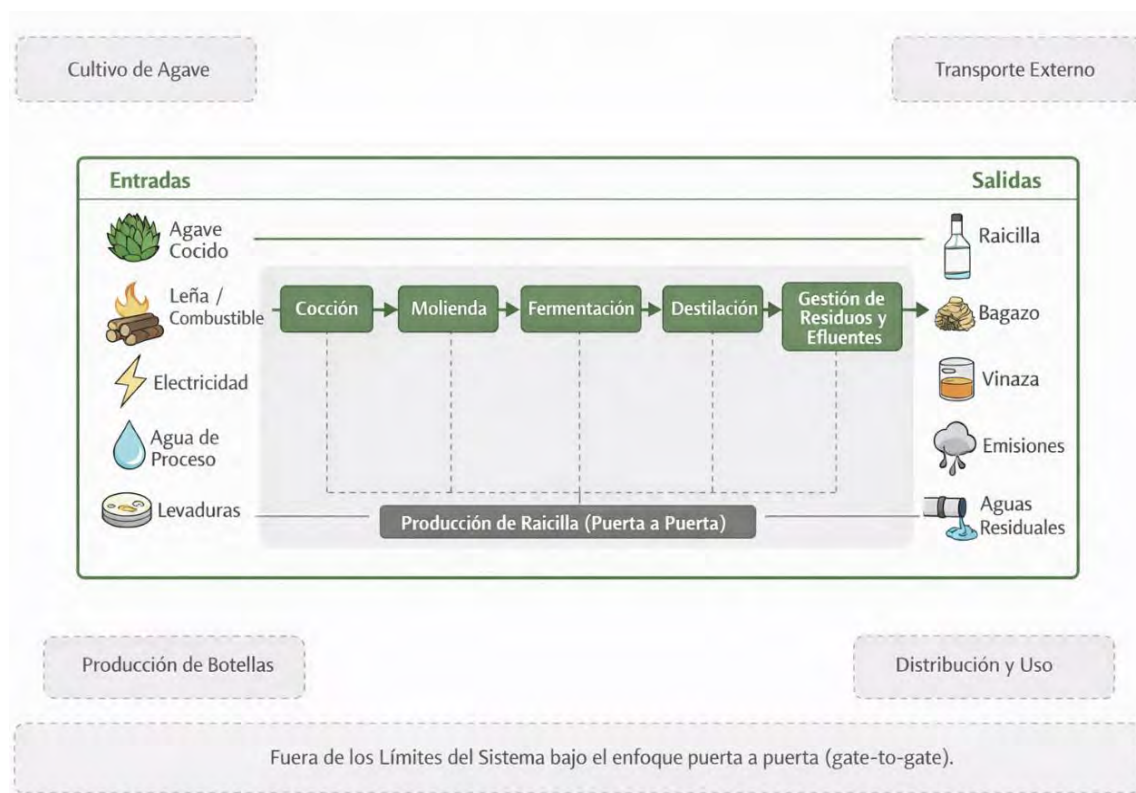


Figura 17. Límites del sistema de producción de raicilla artesanal.

5.2.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

El inventario de ciclo de vida se desarrolló mediante la recopilación y modelado de datos representativos de un sistema de producción artesanal de raicilla en México. Debido a la variabilidad existente entre unidades productivas, se construyó un escenario promedio basado en balances de masa y energía consistentes con estudios previos en destilados de agave (Madrid-Solórzano et al., 2021, 2022; Martínez et al., 2020; Morales et al., 2025; Ruiz-Camou et al., 2023).

Los flujos de entrada incluidos en el sistema se presentan en el Cuadro 14. Estos corresponden a materia prima directa (agave cocido), energía térmica (leña), energía eléctrica de red y agua de proceso.

El consumo de leña se estimó considerando el poder calorífico inferior promedio de biomasa seca (≈ 15 MJ/kg) y una eficiencia térmica global del sistema cercana al 35 %, consistente con procesos artesanales sin recuperación de calor. Estos valores se encuentran dentro de los rangos reportados para combustibles lignocelulósicos utilizados como biomasa energética, cuyo contenido energético suele situarse entre 14 y 19 MJ/kg en base seca dependiendo del tipo de material y su contenido de humedad (Esteves et al., 2023; Huang & Lo, 2020). La electricidad se asoció principalmente a operaciones auxiliares como molienda y bombeo.

Cuadro 14. Flujos de entrada del inventario de ciclo de vida para la producción de raicilla (por unidad funcional).

Categoría	Flujo	Cantidad por UF	Unidad
Materia prima	Agave cocido	9.2	kg
Energía térmica	Leña seca (15 % humedad)	12.40	kg
Energía eléctrica	Electricidad de red	0.48	kWh
Agua de proceso	Agua potable	14.20	L

El Cuadro 15 muestra los parámetros operativos utilizados para el modelado del inventario. Estos incluyen tiempos de cocción, duración de fermentación, número de destilaciones y rendimiento alcohólico promedio. El rendimiento fue estimado en función de datos reportados para destilados tradicionales, manteniéndose dentro de rangos documentados para sistemas artesanales (Madrid-Solórzano et al., 2021; Morales et al., 2025). La doble destilación se modeló como práctica estándar, dado que es común en la producción de raicilla.

Cuadro 15. Condiciones operativas y supuestos del proceso de producción.

Proceso	Parámetro operativo	Valor modelado
Cocción	Tiempo promedio	72 h
Fermentación	Duración	5–7 días
Destilación	Número de destilaciones	2
Rendimiento alcohólico	Litros de raicilla por tonelada de agave	81.5 L

Los flujos de salida del sistema se presentan en el Cuadro 16 e incluyen el producto principal, residuos sólidos (bagazo), efluentes líquidos (vinazas), aguas residuales y emisiones atmosféricas derivadas de la combustión de biomasa. Las emisiones gaseosas fueron estimadas utilizando factores de emisión promedio reportados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para combustión de biomasa en sistemas energéticos tradicionales ($\approx 1.5 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$ de biomasa seca) (Calvin et al., 2023). El CO₂ Biogénico (Dióxido de Carbono) fue estimado mediante balance estequiométrico, considerando un contenido promedio de carbono del 50 % en base seca para la leña utilizada, valor consistente con literatura sobre biomasa lignocelulósica (Demirbas, 2004; Esteves et al., 2023; Jenkins et al., 1998). La conversión de carbono a dióxido de carbono se realizó utilizando la relación estequiométrica 44/12, correspondiente a la masa molar del CO₂ respecto al carbono elemental. Asimismo, se incorporaron factores de emisión para combustión incompleta, con el fin de estimar emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM).

- *El IPCC reporta factores de emisión típicos para combustión de biomasa tradicional.*

Emisión de CO₂ $\approx 1500 \text{ g CO}_2$ por kg biomasa seca

Entonces: $12.4 \text{ kg leña seca} \times 1.5 \text{ kg CO}_2/\text{kg biomasa} = 18.6 \text{ kg CO}_2$

➤ Valor es el CO₂ biogénico liberado si la combustión fuera completa.

Carbono total: 12.4 kg leña seca × 0.5 kg CO₂/kg biomasa = 6.2 kg de C

La reacción simplificada es: C + O₂ → CO₂

Relación de masas: C = 12 g/mol y CO₂ = 44 g/mol

Factor de conversión: 44 / 12 = 3.67

Entonces: 6.2 kg C × 3.67 = 22.75 kg CO₂ biogénico

Cuadro 16. Flujos de salida del inventario de ciclo de vida para la producción de raicilla (por unidad funcional).

Categoría	Flujo	Cantidad por UF	Unidad
Producto principal	Raicilla (40 % v/v)	0.75	L
Residuo sólido	Bagazo	3.10	kg
Efluente líquido	Vinaza	10.80	L
Aguas residuales	Limpieza y arrastre	2.30	L
Emisiones atmosféricas (biomasa)	CO ₂ biogénico	18.6	kg
	CO	0.082	kg
	NO _x	0.014	kg
	Material particulado (PM)	0.006	kg

5.2.3. Evaluación de impactos del ciclo de vida (LCIA)

La evaluación de impactos del ciclo de vida se realizó conforme a las directrices establecidas en ISO 14044, utilizando el método *ReCiPe Midpoint (H)*, ampliamente aplicado en estudios de bebidas alcohólicas y sistemas agroindustriales. Este método permite traducir los flujos del inventario en indicadores ambientales cuantificables a nivel de punto medio, facilitando la identificación de las categorías de impacto más relevantes. La selección de estas

categorías responde a su relevancia en sistemas con uso intensivo de energía térmica y generación de efluentes orgánicos (Cuadro 17).

Las siglas corresponden a la nomenclatura del método *ReCiPe Midpoint (H)*. Todas las categorías se reportan a nivel de punto medio (*midpoint*), conforme a las recomendaciones de transparencia en estudios de ACV aplicados a sistemas agroindustriales (Huijbregts et al., 2017).

Cuadro 17. Categorías de impacto consideradas en la evaluación del ciclo de vida (método *ReCiPe Midpoint (H)*).

Categoría de impacto	Siglas	Unidad de medida
Cambio climático	GWP100	kg C O ₂ eq
Acidificación terrestre	TAP	kg SO ₂ eq
Eutrofización de agua dulce	FEP	kg P eq
Eutrofización marina	MEP	kg N eq
Formación de ozono fotoquímico	POFP	kg NMVOC eq
Formación de material particulado	PMFP	kg PM ₂₋₅ eq
Uso de recursos fósiles	FRP	kg oil eq
Consumo de agua	WCP	M ³

5.3. Resultados y discusión

5.3.1. Resultados de la evaluación de impacto

Los resultados de caracterización obtenidos mediante el método *ReCiPe Midpoint (H)*, normalizados a la unidad funcional (1 botella de 750 mL a 40 % v/v), se presentan en el Cuadro 18. Los valores reportados corresponden a resultados de punto medio (*midpoint*), sin agregación a nivel *endpoint*, con el fin de mantener transparencia metodológica y evitar ponderaciones implícitas entre categorías.

Cuadro 18. Resultados de la evaluación de impactos del ciclo de vida (LCIA) por unidad funcional.

Categoría de impacto	Resultado	Unidad
Cambio climático (GWP100)	3.48	kg CO ₂ eq
Acidificación (TAP)	0.021	kg SO ₂ eq
Eutrofización agua dulce (FEP)	0.0029	kg P eq
Eutrofización marina (MEP)	0.018	kg N eq
Formación ozono fotoquímico (POFP)	0.012	kg NMVOC eq
Formación material particulado (PMFP)	0.0081	kg PM ₂₋₅ eq
Uso recursos fósiles (FRP)	0.62	kg oil eq
Consumo de agua (WCP)	0.0165	M ³

El cálculo de impactos se realizó a partir de los flujos del análisis de inventario descritos anteriormente, aplicando factores de caracterización específicos del método para cada categoría ambiental. El CO₂ biogénico derivado de la combustión de leña se reportó separadamente en el inventario y no fue incluido en el cálculo del potencial de calentamiento global (GWP100), conforme al tratamiento metodológico adoptado para biomasa en estudios de análisis de ciclo de vida, donde las emisiones de CO₂ provenientes de biomasa se consideran parte del ciclo biogénico del carbono y se reportan de forma separada (Calvin et al., 2023; Cherubini et al., 2011; ISO, 2018).

5.3.2. Interpretación

Identificación de puntos críticos

Con el fin de interpretar los resultados de la evaluación de impactos y determinar las etapas con mayor contribución relativa, se realizó un análisis de contribución porcentual por proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema (cocción, molienda, fermentación, destilación y gestión de residuos; Cuadro 19).

La desagregación de los resultados se realizó mediante la asignación de los flujos del inventario a cada etapa del proceso productivo. La etapa de cocción se asoció principalmente con el consumo de leña utilizado para la hidrólisis térmica del

agave (Madrid-Solórzano et al., 2021; Ruiz-Camou et al., 2023). La molienda se vinculó con el consumo de energía eléctrica requerida para la reducción mecánica del material cocido (Eriksson et al., 2016). La fermentación incluyó el consumo de agua de proceso y la generación parcial de efluentes líquidos (Martínez et al., 2020; Morales et al., 2025). La destilación concentró el mayor consumo de leña y la generación predominante de emisiones atmosféricas derivadas de la combustión (Madrid-Solórzano et al., 2021; Ruiz-Camou et al., 2023). Finalmente, la gestión interna de residuos contempló la generación de vinazas y bagazo producidos durante el proceso (Morales et al., 2025).

Cuadro 19. Contribución porcentual por etapa del proceso a las categorías de impacto seleccionadas (%).

Categoría	Cocción	Molienda	Fermentación	Destilación	Residuos
GWP100	18 %	4 %	6 %	64 %	8 %
TAP	21 %	2 %	3 %	69 %	5 %
FEP	5 %	1 %	14 %	8 %	72 %
MEP	9 %	1 %	18 %	24 %	48 %
POFP	20 %	3 %	4 %	65 %	8 %
PMFP	22 %	1 %	2 %	70 %	5 %
FRP	6 %	74 %	4 %	9 %	7 %
WCP	3 %	2 %	61 %	8 %	26 %

El análisis de contribución evidenció que la etapa de destilación constituye el principal punto crítico ambiental del sistema, al concentrar el 64 % del potencial de calentamiento global (GWP100), el 69 % de la acidificación terrestre (TAP), el 70 % de la formación de material particulado (PMFP) y el 65 % de la formación de ozono fotoquímico (POFP). Esta predominancia se atribuye al consumo intensivo de leña y a las emisiones atmosféricas derivadas de la combustión durante el proceso de separación alcohólica. Estudios de ACV en destilados de agave han demostrado que el uso de biomasa en la etapa de destilación puede representar más del 90 % del impacto ambiental del proceso, debido a la energía

térmica requerida para la separación alcohólica (Martínez et al., 2020). En este sentido, la elevada demanda de energía térmica asociada a la separación del alcohol confirma que las etapas de destilación constituyen el principal determinante del desempeño ambiental en sistemas artesanales de producción de destilados bajo enfoques de evaluación puerta a puerta (Wróbel-Jędrzejewska et al., 2026).

En contraste, las categorías de eutrofización estuvieron fuertemente influenciadas por la gestión de vinazas generadas durante la fermentación y destilación. La eutrofización de agua dulce (FEP) presentó una contribución del 72 % atribuible a la etapa de gestión de residuos, mientras que la eutrofización marina (MEP) mostró una participación del 48 % en esta misma etapa, seguida de un 24 % asociado a la destilación y un 18 % a la fermentación. Estos resultados indican que la elevada carga orgánica y el contenido potencial de compuestos nitrogenados en los efluentes líquidos representan un segundo punto crítico relevante dentro del sistema evaluado (España-Gamboa et al., 2011; Robles-González et al., 2012; Ruiz-Camou et al., 2023).

Por otra parte, el uso de recursos fósiles (FRP) estuvo dominado por la etapa de molienda, con una contribución del 74 %, lo cual refleja la influencia del perfil energético de la red eléctrica empleada. Aunque su contribución en otras categorías es relativamente baja, este resultado evidencia la importancia de la matriz energética en sistemas artesanales que incorporan etapas mecanizadas.

Finalmente, el consumo de agua (WCP) se concentró principalmente en la etapa de fermentación, con una contribución del 61 %, seguido por la gestión de residuos con un 26 %, lo que se relaciona directamente con los requerimientos hídricos del proceso y la generación subsecuente de vinazas. Este hallazgo subraya la relevancia de implementar estrategias de optimización hídrica para mejorar el desempeño ambiental del sistema productivo, tales como la recirculación de corrientes de proceso, la recuperación de condensados o el tratamiento y valorización de vinazas, prácticas que han sido identificadas como

alternativas efectivas para reducir el consumo de agua y los impactos ambientales en destilerías y sistemas de producción de alcohol (España-Gamboa et al., 2011; Fuess & García, 2014; Morales et al., 2025).

A partir de los resultados de contribución porcentual por etapa del proceso presentados en el Cuadro 19, la Figura 18 muestra de manera detallada la distribución de impactos para la categoría de cambio climático (GWP100). Los resultados indican que la producción de una botella de raicilla de 750 mL genera 3.48 kg CO₂ eq bajo el enfoque puerta a puerta. La etapa de destilación constituye el principal contribuyente, representando el 64 % de las emisiones totales, seguida por la cocción con un 18 %. Estas contribuciones reflejan la alta demanda de energía térmica y el uso de leña como combustible en ambas etapas, lo que determina el perfil climático del sistema productivo.

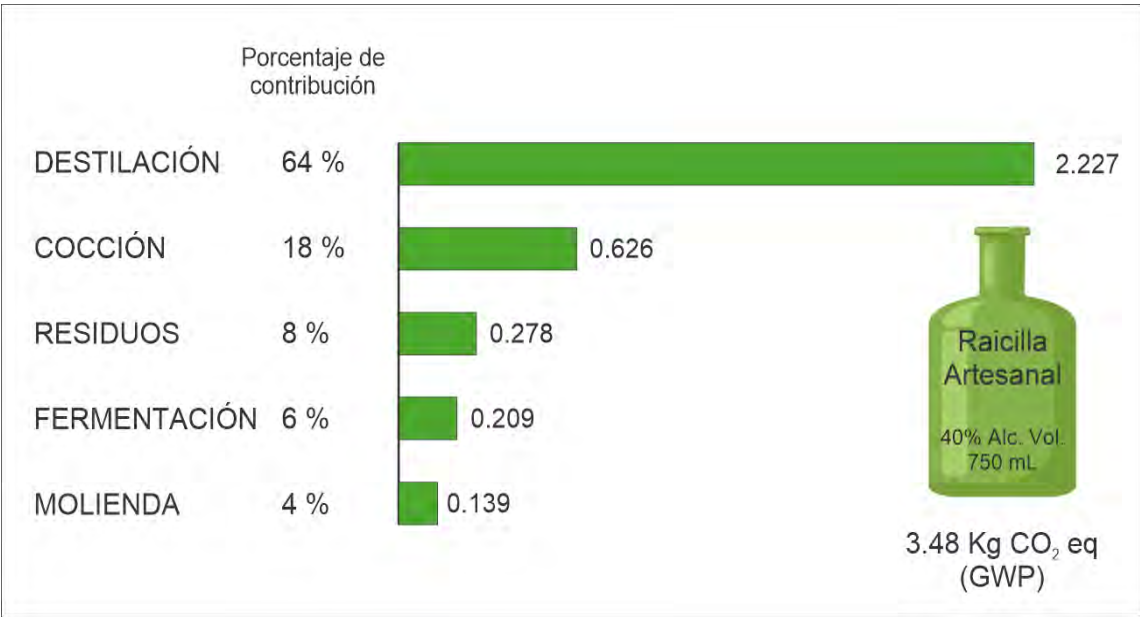


Figura 18. Contribución porcentual por proceso unitario en la elaboración de raicilla artesanal en el índice GWP (Potencial de Calentamiento Global).

En contraste, estudios de ACV realizados para la producción de sotol reportan una distribución diferente de impactos cuando se incluyen etapas adicionales del proceso. Madrid-Solórzano et al. (2021) encontraron que la molienda y el embotellado representaron las mayores contribuciones al potencial de

calentamiento global, con 51 % y 27 %, respectivamente. Sin embargo, al excluir estas etapas críticas asociadas a materiales y empaque, las operaciones térmicas del proceso, particularmente la destilación (8 %) y la cocción (7 %), emergen como las principales fuentes de impacto dentro de la transformación del destilado. Estas diferencias evidencian la influencia del alcance del sistema y de las etapas consideradas en el análisis sobre la distribución de impactos ambientales reportada.

Análisis de sensibilidad

El Cuadro 20 presenta el análisis de sensibilidad del sistema de producción de raicilla bajo distintos escenarios de mejora. En el escenario base (EB), el potencial de calentamiento global (GWP100) alcanza 3.48 kg CO₂ eq por botella de 750 mL, dominado principalmente por las etapas de destilación y cocción debido al consumo de leña como fuente de energía térmica. En el escenario E1, que considera una reducción del 20 % en el consumo de leña, se observa una disminución aproximada del 16 % en el GWP100 total, lo que confirma la alta sensibilidad del sistema a la demanda de energía térmica.

En el escenario E2, que evalúa la reducción del 50 % en la carga orgánica de las vinazas, el efecto sobre el GWP100 es limitado; sin embargo, se observan reducciones relevantes en las categorías de eutrofización. En la etapa de gestión de residuos, la eutrofización de agua dulce presenta una contribución del 72 %, mientras que la eutrofización marina alcanza el 48 %, evidenciando la importancia del manejo de efluentes líquidos en el desempeño ambiental del sistema. Finalmente, el escenario E3, que combina ambas estrategias, muestra las mayores mejoras ambientales, reduciendo simultáneamente impactos climáticos y acuáticos. Estos resultados indican que la eficiencia energética y el tratamiento de vinazas representan las principales oportunidades de mejora para la producción de raicilla bajo un enfoque puerta a puerta.

Cuadro 20. Análisis de sensibilidad del sistema de producción de raicilla bajo distintos escenarios de mejora.

Categoría	EB	E1 (-20 % leña)	Variación (%)	E2 (-50 % carga orgánica vinazas)	Variación (%)	E3 (Combinado)	Variación (%)
GWP100	3.48	2.91	-16.4 %	3.38*	-2.9 %	2.85	-18.1 %
FEP	100 %	100 %	0 %	64 %	-36 %	64 %	-36 %
MEP	100 %	100 %	0 %	76 %	-24 %	76 %	-24 %
TAP	100 %	84 %	-16 %	100 %	0 %	84 %	-16 %
PMFP	100 %	84 %	-16 %	100 %	0 %	84 %	-16 %

*La reducción en GWP en E2 es marginal y asociada únicamente a posibles emisiones indirectas del manejo de residuos.

Comparación con la literatura

Con el fin de contextualizar los resultados obtenidos en este estudio, el Cuadro 21 presenta una comparación del perfil ambiental de la producción de raicilla con estudios previos de otras bebidas destiladas. En particular, se contrastan valores de potencial de calentamiento global (GWP100) reportados para mezcal, sotol, tequila, whisky, pisco y gin. En este contexto, el valor estimado para la raicilla (3.48 kg CO₂ eq por botella de 750 mL) se sitúa dentro del rango reportado para otros destilados tradicionales, lo que indica que su desempeño climático es consistente con sistemas productivos de naturaleza similar, particularmente aquellos que dependen de energía térmica basada en biomasa. No obstante, las diferencias observadas entre los estudios deben interpretarse con cautela (Cuadro 21), ya que responden a variaciones en la definición de la unidad funcional, el alcance del sistema (*gate-to-gate*, *cradle-to-gate* o *cradle-to-grave*), la eficiencia energética de los procesos, el tipo de combustible utilizado y las estrategias de manejo de efluentes. Asimismo, aunque los valores reportados corresponden al potencial de calentamiento global a 100 años (GWP100), pueden existir discrepancias derivadas del método de caracterización y de las bases de datos empleadas en cada investigación.

Cuadro 21. Comparación del perfil ambiental de la producción de raicilla con estudios previos de bebidas destiladas.

Bebida	Referencia	Alcance del sistema	Unidad funcional	GWP100 (kg CO ₂ eq)
Raicilla	Presente estudio	<i>Gate-to-gate</i>	750 mL	3.48
Mezcal	Ruiz-Camou et al. (2025)	<i>Cradle-to-gate</i>	750 mL	2.1
Mezcal	Martínez et al. (2020)	<i>Cradle-to-grave</i>	750 mL	1.7
Sotol	Madrid-Solórzano et al. (2021)	<i>Cradle-to-gate</i>	750 mL	5.92
Tequila	Morales et al. (2025)	<i>Cradle-to-gate</i>	750 mL	2.53
Whisky	Eriksson et al. (2016)	<i>Cradle-to-grave</i>	700 mL	2.25
Pisco	Vázquez-Rowe et al. (2016)	<i>Cradle to gate</i>	750 mL	3.62
Gin	Leivas et al. (2020)	<i>Gate-to-gate</i>	700 mL	0.57

5.4. Conclusiones

El presente estudio permitió caracterizar cuantitativamente el perfil ambiental de la producción artesanal de raicilla en México mediante la aplicación de Análisis de Ciclo de Vida bajo un enfoque puerta a puerta. Los resultados evidenciaron que la producción de una botella de 750 mL genera 3.48 kg CO₂ eq, valor que se sitúa dentro del rango reportado para otros destilados tradicionales elaborados a partir de biomasa, lo que indica que su desempeño climático es consistente con sistemas productivos de naturaleza similar.

El análisis de contribución identificó a la etapa de destilación como el principal punto crítico ambiental del sistema, concentrando la mayor proporción de impactos en categorías como cambio climático, acidificación y formación de material particulado. Este comportamiento se relaciona directamente con el uso intensivo de leña como fuente de energía térmica durante el proceso de separación alcohólica. La cocción del agave también presentó una contribución relevante debido al consumo de biomasa.

En contraste, las categorías de eutrofización estuvieron dominadas por la gestión de vinazas generadas durante la fermentación y destilación, lo que evidencia la

influencia de la alta carga orgánica presente en estos efluentes líquidos. Asimismo, el consumo de agua se concentró principalmente en la etapa de fermentación, destacando la importancia de mejorar la eficiencia hídrica del proceso.

El análisis de sensibilidad mostró que la reducción del consumo de leña y el tratamiento parcial de vinazas pueden disminuir de manera significativa los impactos ambientales del sistema. En particular, la eficiencia energética en las etapas térmicas y la gestión adecuada de efluentes representan las principales oportunidades de mejora para sistemas de producción artesanal.

En conjunto, los resultados proporcionan una línea base para la evaluación ambiental de la producción de raicilla y pueden contribuir al diseño de estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad del sector, especialmente en contextos donde la demanda internacional de bebidas espirituosas incorpora criterios ambientales en sus cadenas de valor.

5.5. Bibliografía

- Askham, C., Arendt, R., Bachmann, T. M., Dias, L. C., Amadei, A., Scherer, L., Qian, H., Rupcic, L., Steen, B., Santos, J., Motoshita, M., do Carmo, B. B. T., Bjørn, A., Yokoi, R., Laurent, A., Sala, S., Miebs, G., Koffler, C., & Cinelli, M. (2025). Review of weighting methods for life cycle impact assessment under GLAM. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02564-2>
- Bhattacharyya, N., Goodell, A., Rogers, S., & Demond, A. (2019). Environmental impacts of wheat-based vodka production using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 231, 642–648. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.226>
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

- Cely-Parra, P. A., Miguel, G. S., & Beltrán, M. (2023). Environmental and economic life cycle assessment of a spanish whisky. 18th International Conference on Environmental Science and Technology. Athens, Greece, 30 August to 2 September 2023.
- Cherubini, F., Peters, G. P., Berntsen, T., Strømman, A. H., & Hertwich, E. (2011). CO₂ emissions from biomass combustion for bioenergy: Atmospheric decay and contribution to global warming. *GCB Bioenergy*, 3(5), 413–426. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01102.x>
- Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(2), 219–230. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.10.004>
- Eriksson, O., Jonsson, D., & Hillman, K. (2016). Life cycle assessment of Swedish single malt whisky. *Journal of Cleaner Production*, 112, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.050>
- España-Gamboa, E., Mijangos-Cortes, J., Barahona-Perez, L., Dominguez-Maldonado, J., Hernández-Zarate, G., & Alzate-Gaviria, L. (2011). Vinasses: Characterization and treatments. *Waste Management and Research*, 29(12), 1235–1250. <https://doi.org/10.1177/0734242X10387313>
- Esteves, B., Sen, U., & Pereira, H. (2023). Influence of Chemical Composition on Heating Value of Biomass: A Review and Bibliometric Analysis. *Energies*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/en16104226>
- Fuess, L. T., & Garcia, M. L. (2014). Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. *Journal of Environmental Management*, 145, 210–229. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.003>
- Guinée, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., & Udo de Haes, H. A. (2002). Handbook on Life Cycle Assessment (A. Tukke, Ed.; Vol. 7). Kluwer Academic Publishers.
- Huang, Y. F., & Lo, S. L. (2020). Predicting heating value of lignocellulosic biomass based on elemental analysis. *Energy*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116501>
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., Hollander, A., Zijp, M., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe 2016 v1.1 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. National Institute for Public Health and the Environment. www.rivm.nl/en
- International Organization for Standardization, I. (2018). ISO 14067:2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and

- guidelines for quantification. In 2018. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>.
- International Organization for Standardization, I. (2006a). ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. In 2006. <https://www.iso.org/standard/37456.html>.
- International Organization for Standardization, I. (2006b). ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- Jenkins, B. M., Baxter, L. L., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54.
- Leivas, R., Laso, J., Abejón, R., Margallo, M., & Aldaco, R. (2020). Environmental assessment of food and beverage under a NEXUS Water-Energy-Climate approach: Application to the spirit drinks. *Science of the Total Environment*, 720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137576>
- Madrid-Solórzano, J. M., García-Alcaraz, J. L., Macías, E. J., Cámara, E. M., & Fernández, J. B. (2021). Life Cycle Analysis of Sotol Production in Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.769478>
- Madrid-Solórzano, J. M., García-Alcaraz, J. L., Martínez Cámara, E., Blanco Fernández, J., & Jiménez Macías, E. (2022). Sustainable Industrial Sotol Production in Mexico—A Life Cycle Assessment. *Agriculture*, 12(12), 2159. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122159>
- Martínez, J. M., Baltierra-Trejo, E., Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., & Marquez-Benavides, L. (2020). Life cycle environmental impacts and energy demand of craft mezcal in Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/su12198242>
- Morales, A. S., García-Alcaraz, J. L., Flor-Montalvo, F. J., Martínez-Cámara, E., & Blanco, J. (2025). Sustainability in Tequila Production: A Life Cycle Assessment. *Sustainable Development*, 33(5), 6797–6809. <https://doi.org/10.1002/sd.3494>
- Nava-Cárdenas, J. Q., Palacios Rangel, M. I., Ocampo-Ledesma, J. G., Aguilar-Ávila, J., & Ortiz-Martínez, G. (2024). Cadena de valor y comercialización de la raicilla en el municipio de Mascota, Jalisco. *Textual*, 83, 1–40. <https://doi.org/10.5154/r.textual/2023.82.1>
- 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 (Switzerland)*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/su16198633>
- PROYECTO de Norma Oficial MexicanaPROY-NOM-257-SE-2021. (2021). Bebidas alcohólicas-Raicilla-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba. (pp. 1–16). Diario Oficial de la Federación.

- Robles-González, V., Galíndez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N., & Poggi-Varaldo, H. M. (2012). Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*, 157(4), 524–546. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2011.09.006>
- Ruiz-Camou, C., Núñez, J., & Musule, R. (2023). Evaluating the environmental performance of mezcal production in Michoacán, México: A life cycle assessment approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 28(12), 1658–1671. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02237-y>
- Vázquez-Rowe, I., Cáceres, A. L., Torres-García, J. R., Quispe, I., & Kahhat, R. (2017). Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4369–4383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.136>
- Webb, E., Burgess, P. J., Pexas, G., & McKnight, C. J. (2025). The life cycle assessment of trees outside woodlands: a systematic review of methodological approaches. *International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02559-z>
- Wróbel-Jędrzejewska, M., Przybysz, Ł., Włodarczyk, E., Owczarek, F., & Ściubak, Ł. (2026). Carbon Footprint Analysis of Alcohol Production in a Distillery in Three Greenhouse Gas Emission Scopes. *Sustainability (Switzerland)*, 18(1). <https://doi.org/10.3390/su18010057>

6. DISPOSICIÓN A PAGAR DE LOS CONSUMIDORES POR ATRIBUTOS DE SOSTENIBILIDAD, ORIGEN Y PROCESO DE PRODUCCIÓN EN RAICILLA

RESUMEN

En los últimos años, la preocupación de los consumidores por el origen, el proceso y el impacto ambiental de los alimentos y bebidas ha aumentado significativamente, debido a cuestiones de sostenibilidad e inocuidad alimentaria. Sin embargo, son escasos los estudios sobre la disposición a pagar de los consumidores por este tipo de atributos en los destilados tradicionales de agave. En este artículo, se realizó un experimento de elección discreta con una muestra de consumidores mexicanos de raicilla ($n = 300$) para estimar su disposición a pagar por atributos como ecoetiquetas, protección del origen y del proceso de producción; el análisis se realizó mediante un modelo logit mixto. Los resultados mostraron que los consumidores están dispuestos a pagar un precio más alto por una raicilla que incluya en su etiqueta la región de origen, el proceso de producción (ancestral o artesanal), que cuente con alguna protección jurídico-económica, como la indicación geográfica o la denominación de origen, y certificaciones en gestión del agua y producción orgánica. La metodología de los experimentos de elección discreta permitió evaluar conjuntamente los atributos extrínsecos en la disposición a pagar por un destilado de agave tradicional, lo que permitió determinar su influencia en la decisión de compra.

Palabras clave: ecoetiquetas, experimentos de elección discreta, valoración económica, protección de origen, destilado de agave.

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: M.C. Magdiel Pablo Cano. Director de Tesis: Dr. Anastacio Espejel García.
Artículo publicado en: Sustainability 2024, 16(19), 8633. DOI: [10.3390/su16198633](https://doi.org/10.3390/su16198633)
Autores: Magdiel Pablo-Cano, Anastacio Espejel-García, Arturo Hernández-Montes & Landy Hernández-Rodríguez.

CONSUMERS' WILLINGNESS TO PAY FOR ATTRIBUTES OF SUSTAINABILITY, ORIGIN AND PRODUCTION PROCESS IN RAICILLA

ABSTRACT

In recent years, consumer concern about the origin, process and environmental impact of food and beverages has increased significantly, due to sustainability and food safety issues. However, studies of consumers' willingness to pay for these types of attributes in traditional agave distillates are scarce. In this article, a discrete choice experiment was carried out on a sample of Mexican raicilla consumers ($n = 300$) to estimate their willingness to pay for attributes such as eco-labels, protections of origin and production process; the analysis was performed using the mixed logit model. The results showed that consumers are willing to pay a higher price for a raicilla that contains on the label the region of origin, the production process (ancestral or artisanal), that has some legal-economic protection, such as geographical indication or designation of origin, and certifications in water management and organic production. The methodology of discrete choice experiments made it possible to jointly evaluate the extrinsic attributes in the willingness to pay for a traditional agave distillate, allowing its influence on the decision to purchase to be determined.

Keywords: ecolabels, discrete choice experiments, economic valuation, protection of origin, agave distillate.

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Postgraduate Program en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Magdiel Pablo Cano. Thesis Director: Dr. Anastacio Espejel García.

Article published in: Sustainability 2024, 16(19), 8633. DOI: [10.3390/su16198633](https://doi.org/10.3390/su16198633)

Authors: Magdiel Pablo-Cano, Anastacio Espejel-García, Arturo Hernández-Montes & Landy Hernández-Rodríguez.

6.1. Introduction

Agave distillates are defined as alcoholic beverages obtained from the distillation of fermented juices extracted from mature maguey or cooked agave heads; these beverages are characterized by their aroma and flavor, which depend on the species of maguey or agave used in the production process, as well as factors such as soil type, topography, climate, and production practices [1].

Mexico has a wide variety of agave distillates, including tequila, mezcal, raicilla, and bacanora; highlighting tequila and mezcal as the main agave distillates with Denomination of Origin, not only because of their permanence in the market over time, but also because of the large volumes of production and export. Currently, these two are among the products with the highest export value at a national level. An analysis of the rapid growth in the production of agave distillates in Mexico, tequila and mezcal, shows how the multidimensional interaction of social, political, and economic factors is generating a serious socioenvironmental problem. This productive intensification, encouraged by the implementation of a mercantile system accelerated by the scheme of designations of origin, is advancing at the expense of a clearly agroextractive model, generating innumerable consequences related to the expansion of the agricultural frontier, the change in land use and the imposition of agave monocultures [2]. However, these models seem to influence agave distillates with lower production, such as raicilla, which has had a designation of origin since 2019, and is produced in the state of Jalisco (Sierra Occidental and Costa region).

However, even though it obtained the designation of origin in 2019, it has remained in the background of marketing, since its presence as a quality artisanal agave distillate has been little appreciated by most consumers of this type of beverage. Some factors that have contributed to its poor promotion have been the low production volumes reported by producers. In this sense, the Institute of Statistical and Geographic Information of the State of Jalisco reported in its statistical yearbook that raicilla exports grew 567.9 % from 2021 to 2022, going

from \$64,316 to \$429,570. Likewise, exports for the January-August period increased 29.4 % from 2022 to 2023, going from \$261,637 to \$338,481 [1].

The importance of raicilla has taken a backseat compared to emblematic drinks such as mezcal and tequila, which stand out for their high production volume [3,4]. Due to the above, the need arises to explore the influence of various extrinsic attributes in agave distillates, such as raicilla de Jalisco, including ecolabels, protections of origin and production processes, to evaluate consumers' willingness to pay and to identify potential market niches with responsible consumption.

The origin of food and beverages can be one of the crucial factors in consumers' decision-making and significantly influence their purchasing decision [5,6], because it can be part of the perception of the quality, authenticity and value of the product [7,8]. Protection of origin is one of the certifications that establishes that the product is made totally or partially in a specific geographic region [9]. These certifications protect the authenticity and quality of the products, as well as promote the appreciation of the producing regions, generating a sense of identity and belonging in local communities [1].

Consumer awareness of environmental issues associated with conventional food production practices has increased considerably in recent decades [10], leading an increasing number of consumers to shift toward consumption patterns that are perceived as more sustainable [5,6]. In recent years, various environmentally friendly certification systems have been created in the food industry, from water management, biodiversity and organic production; these certifications can be a key differentiating factor for consumers seeking to align their personal values with their purchasing decisions [6,8].

Information and certifications regarding origin, production process and eco-labels represent an opportunity for the traditional beverage market, since consumer choices are often based on the available information found on the bottle [11].

Therefore, it is important to evaluate the influence of these extrinsic attributes on consumers' willingness to pay for agave distillates.

Discrete choice experiments (DCE) are a tool to evaluate the willingness to pay for a given product based on established preferences. Its objective is to obtain individual preferences regarding goods or services in different hypothetical scenarios. In this methodology, participants choose between two or more alternatives for a specific product or service, while the levels of its attributes are systematically altered, using an experimental design. These choices provide detailed information about the valuation, which can subsequently be estimated using choice modeling techniques [12,13].

Some studies have focused on evaluating consumers' willingness to pay for foods with sustainability certifications and origin protections [5,14], however, very few have addressed traditional alcoholic beverages and the influence that the production process, origin or eco-labels may have [1]. Therefore, the present research focused on the study of the willingness to pay for the agave distillate "Raicilla", using discrete choice experiments to study consumers' willingness to pay for protections of origin, eco-labels and production processes, with the purpose of exploring the most relevant preferences and factors in the consumption and purchase of raicilla, as well as evaluating the functionality of the methodology used.

6.2. Materials and Methods

6.2.1. Participants and survey designs

The study was carried out by designing and applying a survey in Google Forms to a sample of 300 raicilla consumers of Mexican nationality. Participants were recruited through intentional and reasoned sampling with predetermined criteria [15]. The number of participants was validated using the maximum variance [16], with a reliability of 95 % and a margin of error of 7 %.

Participants were recruited through digital platforms using three predetermined selection criteria: Mexican nationality, over 18 years of age, and raicilla consumers. The survey contained four sections, the first of which showed a brief explanation of the general objective of the research and the selection criteria. In the second section, the frequency of raicilla consumption was evaluated. In the third, the willingness to pay extra for a raicilla was evaluated using the discrete choice experiment tool, and the fourth section consisted of a series of questions to determine the sociodemographic characteristics of the participants (Table 1).

Cuadro 22. Table 1. Sociodemographic and consumption data evaluated.

Data	Type	Specifications
Sociodemographic		
Sex	Qualitative	Feminine, masculine, other.
Age	Qualitative	23-30 years, 31-40 years, 41-50 years, 51-60 years, < 60 years.
Occupation	Qualitative	Self-employed, government employee, employee (non-government), homemaker, retired, student.
Monthly income (Mexican pesos)	Qualitative	Less than \$3,000.00; \$3,000.00 to \$6,000.00; \$6,001.00 to \$12,000.00; \$12,001.00 to \$18,000.00; greater than \$18,000.00.
Of consumption		
Average consumption of Raicilla per month	Quantitative	Numeric quantity.
Average number of bottles (750 mL) of Raicilla purchased per month	Qualitative	0-1 bottle, 2-4 bottles, 5-9 bottles, < 9 bottles.
Raicilla consumer self-assessment	Quantitative	Likert-type scale of 10-point (1: indifferent; 10: enthusiastic).

6.2.2. Selection of attributes and levels

After establishing a rapprochement between the research group and the raicilla producers, the attributes to be evaluated and their respective levels were defined. This process was based on realistic and viable situations, with the objective of serving emerging markets. The identification of these attributes and levels involved analyzing the current characteristics of the product, by obtaining

information through a bibliographic review, participatory diagnosis, interviews with key actors and the formation of discussion groups [17,18]. The most widely known and disseminated raicilla in the region was used as a reference point, avoiding mentioning specific brands or establishments, to focus on the extrinsic attributes of the drink [17].

Seven extrinsic attributes of raicilla were selected (Table 2), including price, origin, production process, legal-economic protection, and sustainability certificates (sustainable management of biodiversity, sustainable water management and organic production).

Cuadro 23. Table 2. Attributes and levels for the discrete choice experiment.

Area	Attribute	Attribute levels*
Region of origin	Origin	Coast (1); Sierra (2).
Process	Production process	Classic (0); Artisanal (1); Ancestral (2).
Legal-economic protection	Legal-economic protection	Without legal-economic protection (0); Collective brand (1); Geographical indication (2); Designation of origin (3).
Sustainability	Biodiversity management	No certificate (0); Certificate (1).
	Water management	No certificate (0); Certificate (1).
	Organic production	No certificate (0); Certificate (1).
Price	Price per bottle	\$300; \$600; \$900; \$1,200.

*(0)=status quo; (1)=improvement level 1; (2)=improvement level 2; (3)=improvement level 3.

The origin attribute refers to the geographical region in which the raicilla was produced, including the two areas that make up the designation of origin: Coast and sierra; both belonging to the state of Jalisco. The production process (classic, artisanal or ancestral) is an attribute that represents the way in which the raicilla was produced. This classification is defined in the DRAFT of the Official Mexican Standard PROY-NOM-257-SE-2021, Alcoholic Beverages -Raicilla-Denomination, specifications, commercial information and test methods.

Legal-economic protection refers to a certification granted to a product, intended to safeguard both the product itself and the associated production methods. This

certification establishes that the product is made totally or partially in a specific geographic region, or according to a particular method or ingredients [19]. In essence, it confirms that the product, with its distinctive characteristics and quality, reflects the uniqueness of the territory of origin [9,20].

The legal-economic protection attribute included four levels: no protection, collective brand, geographical indication and designation of origin. The designation of origin is the current legal-economic protection granted to raicilla, which is the certification that identifies a product whose quality or characteristics are essentially or exclusively due to a particular geographical environment and its inherent natural and human factors, in which the entire process must be carried out in the specified geographical area [1,19]. The geographical indication represents the certification which identifies that the quality, reputation or other characteristic of the product is essentially attributable to its geographical origin, in which only one of the steps of the production process could be carried out in the specified geographical area [19]. On the other hand, the collective brand is a certificate that is used to distinguish the products or services of its members in the market with respect to the products or services of third parties. Its use is exclusively reserved for members of an association or society and is subject to the rules determined by said members [1].

To verify the differences in consumer preferences towards certifications related to sustainability in raicilla production, three types of certificates were selected: sustainable management of biodiversity, sustainable water management, and organic production. With these certifications, we seek to balance present needs with the ability of future generations to satisfy their own needs, whilst promoting development that is environmentally healthy, socially fair and economically viable in the long term [2].

The certificate of sustainable biodiversity management refers to the fact that specific agronomic practices have been followed to guarantee the protection of biodiversity in the region during the production of raicilla. The preliminary

condition for effective sustainable management practices, such as biodiversity protection practices, is that consumers are willing to pay a premium price to cover potentially higher costs, particularly those focused on the environment [5,21].

Organic production certificate refers to a certificate or seal that indicates that a product has been produced following agricultural and processing practices that meet specific organic farming standards. These standards often include regulations related to the use of pesticides and chemical fertilizers, soil conservation, protection of biodiversity, animal welfare, and environmental sustainability in general [22]. The certified organically produced attribute was selected because it represents one of the most well-known food and beverage labels on the market [11,23]. On the other hand, the sustainable water management certificate refers to the sustainable management of water within the production process. Finally, the price attribute represented four levels at which a 750 mL bottle of raicilla was priced in national currency (Mexican pesos): \$300.00, \$600.00, \$900.00 and \$1,200.00.

6.2.3. Discrete Choice Experiment

The economic valuation was carried out using the survey-based method of discrete choice experiment to estimate the willingness of raicilla consumers to pay for the attributes of price, region of origin, production process, legal-economic protection and sustainability certificates. This valuation approach is appropriate, since the elements that comprise legal-economic protection and sustainability programs are not directly observable by consumers in the real market, and a hypothetical market is constructed. The choice experiment consisted of seven attributes; according to the number of these and their levels, there were 768 possible combinations $[(4 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3) (4)]$, an unlikely situation to carry out, so Fractional factor analysis was used through the orthogonal design using D-efficient [24]. This experimental design determined that the minimum number of necessary combinations was 16 profiles in order to be able to accurately estimate the consumer preference function (Table 3).

Cuadro 24. Table 3. List of profiles or combinations obtained from fractional factor analysis.

Profile	Region	Process	Protection	Biodiversity	Water	Organic	Price
1	Coast	Classic	Collective brand	Certificate	Without certificate	Without certificate	600
2	Coast	Ancestral	Without protection	Certificate	Certificate	Without certificate	1200
3	Mountain range	Artisanal	Appellation of origin	Certificate	Certificate	Without certificate	600
4	Coast	Classic	Geographical indication	Certificate	Certificate	Certificate	900
5	Mountain range	Classic	Without protection	Without certificate	Without certificate	Without certificate	300
6	Mountain range	Classic	Geographical indication	Certificate	Without certificate	Without certificate	1200
7	Coast	Ancestral	Appellation of origin	Certificate	Without certificate	Certificate	300
8	Mountain range	Ancestral	Collective brand	Without certificate	Certificate	Without certificate	900
9	Mountain range	Artisanal	Without protection	Certificate	Without certificate	Certificate	900
10	Coast	Classic	Appellation of origin	Without certificate	Without certificate	Without certificate	900
11	Coast	Artisanal	Collective brand	Without certificate	Without certificate	Certificate	1200
12	Coast	Artisanal	Geographical indication	Without certificate	Certificate	Without certificate	300
13	Mountain range	Classic	Collective brand	Certificate	Certificate	Certificate	300
14	Coast	Classic	Without protection	Without certificate	Certificate	Certificate	600
15	Mountain range	Classic	Appellation of origin	Without certificate	Certificate	Certificate	1200
16	Mountain range	Ancestral	Geographical indication	Without certificate	Without certificate	Certificate	600

This was carried out using the SPSS® statistical package (IBM SPSS Statistics, 2015) to minimize the correlation between the attributes [25] and generate optimal, orthogonal and balanced scenarios (each level appeared in the attribute the same number of times). The model used for design optimization was linear. The profiles were randomly grouped into pairs to obtain eight sets, including the option of not purchasing any of the raicilla (Figure 1).

A)



RAICILLA
Ancestral

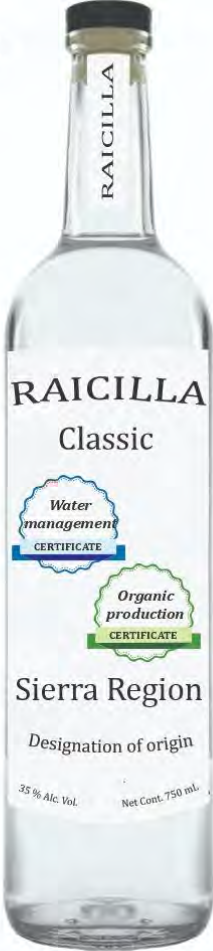
Water management
CERTIFICATE

Sierra Region
Collective Brand

35 % Alc. Vol. Net Cont. 750 ml.

\$900.00

B)



RAICILLA
Classic

Water management
CERTIFICATE

Organic production
CERTIFICATE

Sierra Region
Designation of origin

35 % Alc. Vol. Net Cont. 750 ml.

\$1,200.00

☐ Option A

☐ Option B

☐ I wouldn't buy either of these Raicilla options

Figura 19. Figure 1. Example of a choice set.

6.2.4. Statistic analysis

In discrete choice experiments, obtained utility is measured on an ordinal scale (ordinal utility theory), so only differences in utility matter [5]. The utility function is described as:

$$U_{njt} = \beta'_n X_{nj} + \varepsilon_{njt} \quad (3)$$

where: n is the individual, j is the alternative, t is the chosen occasion. β'_n is a vector of specific individual parameters that explain preference heterogeneity and is assumed to be random.

From the data obtained, an econometric analysis was carried out to estimate the parameters with the maximum likelihood estimation procedure [26], using outputs of the mixed logit model or random parameters with the XLSTAT 2019 statistical package (Lumivero, Denver, CO, USA) [27]. All attributes evaluated (price, origin, production process, legal-economic protection, and sustainability certificates) were considered as random variables, in order to control and model the heterogeneity of preferences, thus improving the model's capacity to reflect the complexity of individuals' decisions [28]. The mixed logit model is flexible and allows random variation, correlations in unobserved factors over time, and unrestricted substitution patterns to be controlled. This model makes it possible to be aware of the heterogeneity in preferences [5,29].

For each attribute level, the coefficients obtained from the mixed logit model parameters were introduced into the marginal willingness to pay formula. The marginal willingness to pay is the willingness to pay for a unit change in one of the intervention areas, while the rest are kept constant. The willingness to pay for a marginal change in any of the attributes analyzed resulted from dividing the estimated coefficient of each attribute level by the coefficient of the rate attribute.

6.3. Results

The raicilla sociodemographic and consumption characteristics of the participants in the discrete choice experiment study are shown in Table 4. The sample consisted of a total of 300 consumers; Olsen & Meyerhoff (2016) [30] report that sample sizes between 50 and 60 respondents are a sufficient number to obtain accurate estimates in this type of tests, however, they conclude that as the sample size increases, so does the probability of obtaining significant models.

Of the total number of respondents, a greater participation of the male gender was found, followed by the female and, to a lesser extent, other genders. The average age was 42 years, and the predominant age range was between 31 and 50 years, with a participation of 73.4 %. The states of Jalisco, Nayarit and Colima represented 66 % of the participants' place of residence. Regarding occupation, employee (non-government) and self-employed, showed the highest percentages. Approximately two-thirds of those surveyed reported an income greater than \$12,000.00 pesos per month, with a decrease in participation in the lower ranges.

The consumption of raicilla by the participants was mainly characterized by consuming 1 to 4 times monthly, with a majority acquiring one bottle of raicilla per month, and with a predominantly enthusiastic self-rating. Of the total number of female participants, 30.4 % reported consuming raicilla once a month, 25.4 % twice a month, 29.7 % three to four times a month, and 14.7 % consumed it more than five times a month. This result is very homogeneous with that reported by the male gender, who reported monthly consumption of 32.3 %, 23.4 %, 25.9 %, and 18.4 %, respectively. The same situation was found in the amount of raicilla consumed per month, as well as in the self-rating that each consumer gives themselves regarding their raicilla consumption.

Cuadro 25. Table 4. Sociodemographic and raicilla consumption characteristics of the participants.

Variable	Range	Frequency	Percentage
Gender	Male	158	52.7
	Female	138	46.0
	Other	4	1.3
Place of residence	Jalisco	120	40.0
	Nayarit	40	13.3
	Colima	38	12.7
	Mexico	28	9.3
	Mexico City	28	9.3
	Guanajuato	10	3.3
	Michoacan	10	3.3
	Others	26	8.7
Age	23-30	40	13.3
	31-40	110	36.7
	41-50	110	36.7
	51-60	24	8.0
	Over 60	16	5.3
Occupation	Employee (non-government)	108	36.0
	Self-employed	96	32.0
	Government employee	48	16.0
	Student	30	10.0
	Retired	10	3.3
	Homemaker	8	2.7
Monthly income	Less than \$3,000.00	10	3.3
	\$3,000.00 to \$6,000.00	20	6.7
	\$6,000.00 to \$12,000.00	72	24.0
	\$12,000.00 to \$18,000.00	104	34.7
	Greater than \$18,000.00	94	31.3
Consumption per month	1 time	95	31.7
	2 times	72	24.0
	3 to 4 times	83	27.7
	Greater than 5 times	50	16.7
Quantity/month	0 to 1 bottle of Raicilla	214	71.3
	2 to 4 bottles of Raicilla	80	26.7
	> 5 bottles of Raicilla	6	2.0
Self-qualification as a consumer	1 to 3	36	12.0
	4 to 7	96	32.0
	8 to 10	168	56.0

The estimated parameters for the mixed logit model are shown in **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** The econometric models were selected based on three criteria: a) that the coefficients of the variables had the expected signs, b) that the majority of the coefficients of the variables independent were significant at at least a 90 % confidence level and c) that the maximum likelihood log of the model (log likelihood) is large [31]. The evaluated models that included sociodemographic characteristics were not significant. The model that best fits in this study was the main effects model, presenting a higher Log-Likelihood value.

The values of McFadden's pseudo R² are considered relevant in both models (0.237 and 0.244). According to some authors, such as Valdivia et al. (2023) [31] and Melo-Guerrero et al. (2020) [17], a value obtained from McFadden's R² between 0.2 and 0.4 would be equivalent to an R² of 0.70-0.90 in ordinary least squares, which indicates a good fit.

In the main effects model (Table 5), the variables that were highly significant at the 0.01 % level of significance were the price, the region of origin (Coast and Sierra), the production process (artisanal and ancestral), legal-economic protection (collective trademark, geographical indication and designation of origin) and sustainability labels (water management and organic production). Only the biodiversity management label variable was not significant.

The marginal willingness to pay is presented in Table 6. The attributes most valued by the participants of this research were those related to the production region, with the highest marginal willingness to pay being in the sierra region with values higher than \$600 MXN pesos. The attributes related to legal-economic protection (geographical indication and designation of origin) represent the second most valued group (values between \$450 and \$560 MXN pesos), which shows the importance of origin, as well as its protection. The third group includes the ancestral process, the collective brand, as well as the eco-label related to water management, with values of \$340 to \$390 MXN pesos.

Cuadro 26. Table 5. Results of the estimations of a mixed logit model for raicilla.

Variable		Main effects model (Log Likelihood 8261.31)				
Area	Attribute	Coefficient	Standard error	Wald X ²	Lower limit (95 %)	Upper limit (95 %)
Interception	Interception	-0.971	0.049	391.780*		
Price	Price	-0.002	0.000	455.108*	-0.002	-0.002
Region	Coast	1.205	0.124	93.941*	0.961	1.448
	Mountain range	1.328	0.124	115.517*	1.085	1.570
Process	Artisanal	0.519	0.080	42.654*	0.364	0.675
	Ancestral	0.777	0.078	98.095*	0.623	0.931
Legal-Economic Protection	Collective Brand	0.697	0.088	63.386*	0.525	0.868
	Geographical Indication	1.103	0.091	148.146*	0.925	1.281
	Appellation of origin	0.929	0.089	109.168*	0.755	1.104
Sustainability	Biodiversity management label	0.034	0.064	0.276	-0.092	0.159
	Water management label	0.722	0.064	128.610*	0.597	0.846
	Organic production label	0.437	0.064	46.493*	0.311	0.562

The fourth group with a marginal willingness to pay of \$210 to \$260 MXN pesos is the artisanal process and the eco-label related to organic production. Finally, the least valued attribute was the eco-label for biodiversity management with a marginal willingness to pay of \$17 MXN pesos.

Cuadro 27. Table 6. Marginal willingness to pay for raicilla among Mexican consumers.

Area	Attribute	Marginal willingness to pay
Region	Coast	602.5
	Mountain range	664
Process	Artisanal	259.5
	Ancestral	388.5
	Collective Brand	348.5
Legal-Economic Protection	Geographical Indication	551.5
	Appellation of origin	464.5
	Biodiversity management label	17
Sustainability	Water management label	361
	Organic production label	218.5

6.4. Discussion

The interpretation of the data obtained from the Logit model was carried out considering the estimated coefficients for each variable and their statistical significance. Positive coefficients indicated a positive association with willingness to pay extra, while negative coefficients suggested a negative association. The price presented a negative coefficient in the model obtained, being the only variable with a negative association. This result suggests that the willingness to buy a raicilla decreases as the price increases. This result agrees with economic theory [32] and with what was reported by various authors for alcoholic beverages, such as González-Juárez et al. (2022) [33], who evaluated, through discrete choice experiments, the willingness to pay for wine by Mexican consumers, concluding that, at a higher price, the quantity consumed will decrease.

Mazzocchi et al. (2019) [5] found for Italian wine that consumers evaluated price as an important factor, suggesting that this may be a key determinant in wine purchasing decisions. Therefore, producers of traditional alcoholic beverages must carefully consider the pricing of their products, since a price that is too high can reduce demand in consumption, while an adequate price can positively influence the perception of value and consumers' purchasing decision [34].

The origin of the product is one of the topics that is most studied using discrete choice experiments in food, because it plays an important role in consumer perception and choice, since it can influence image, perceived quality and preferences. This influence can be positive or negative, depending on the consumer's previous perceptions about the reputation and quality of products coming from certain regions [32]. In this study, the two regions of origin evaluated presented positive and significant coefficients, which indicates that consumers had a greater willingness to pay an extra cost for raicilla that indicate a region of origin, whether from the Coast or the Sierra.

Although most studies focus on the country of origin of the product, the result obtained in this analysis allows us to observe that the influence of a more specific region of origin in alcoholic beverages such as raicilla, can be an important factor in consumers' willingness to pay more. This result agrees with Gonçalves et al. (2020) [13], who conclude that the region of origin of a product can be a relevant factor in consumer decision-making. This preference for the origin of the product may reflect the importance that some consumers give to the place of origin, since the region of origin can be associated with authenticity and tradition [35].

Currently, there is a wide variety of alcoholic beverages obtained from agave, which present differences in production methods [3,4]. In particular, raicilla presents a classification by the production process: classic, artisanal and ancestral. These processes are mainly differentiated by the stages and equipment used in cooking, maceration or grinding, fermentation and distillation [20].

Within the production processes, the artisanal and ancestral process presented significance within the model; the classic process was not relevant. These results show the influence that the type of process has on consumers' willingness to pay, with artisanal and ancestral processes having a greater influence. This result may be due, among other factors, to a clear distinction in the production processes of raicilla, contrary to other drinks or foods, in which terms such as artisanal and/or ancestral lack a precise and complete definition, as well as an official certification or regulation, which in many situations has led to the mass use of these terms as deceptive marketing practices in the food sector [36].

In the case of legal-economic protection, the three variables were part of the model and presented positive coefficients. This type of certification in Mexican distillates is of relevant importance because it not only protects the quality and authenticity of the products, but also promotes territorial development by promoting the local economy, preserving cultural identity and generating socioeconomic benefits in the producers' regions [1]. However, consumers do not value a certification of legal-economic protection in all food products, which in many cases can imply an increase in the cost of production.

Geographical indication and designation of origin were the variables that presented the highest positive coefficients in relation to legal-economic protection; this result indicated that consumers were more willing to pay for raicilla with designation of origin or geographical indication, being a factor that positively favored. This phenomenon may be due to the fact that, for raicilla, obtaining this distinction has allowed it to become known in a larger territorial area, thereby expanding its circle of consumers with an attitude of responsible consumption, and making its presence visible as an artisanal agave distillate of high quality, which has triggered a boom in the product in the national and international craft beverage market [4]. The above suggests that consumers have generated a sense of identity and have given recognition to the certification of protection of

origin [33], which is finally reflected in the willingness to pay an extra cost for raicilla that present this type of certifications.

Regarding sustainability, the water management and organic production label variables were significant in both models and presented positive coefficients. This suggests that certifications regarding water management and organic production had a significant and positive impact on consumers' purchasing decisions. These results agree with what was obtained in other alcoholic beverages such as wine [5,35] and beer [34,37], to mention a few, in which consumers showed a greater willingness to pay for certified organic beverages, suggesting that the organic label can be a determining factor in the purchase choice and in the perception of quality and sustainability of the product.

The biodiversity management label was not significant within the model. This result suggests that biodiversity management in the production of raicilla is not a relevant factor in consumption and purchase decisions. The above differs from what was reported by Mazzocchi et al. (2019) [5], who found that the biodiversity label had a significant impact on consumer preferences, positively influencing participants' purchasing decisions and their willingness to pay for the product. Consumers showed an interest in biodiversity conservation and a willingness to pay a premium for certified wines that considered biodiversity in the vineyards. Another finding was reported by Staples et al. (2020) [34], who concluded that the biodiversity label can be an important differentiating factor for consumers and can influence beer purchasing preferences.

In general, the impact of sustainability labels, including the biodiversity label, water management and organic production, are reported as determining factors in the preferences of beverage consumers, since it is noted that eco-labels that communicate sustainability practices can be effective in differentiating products in a competitive market and attracting consumers concerned about sustainability [14]. Therefore, the presence of a sustainability label can positively influence the preferences of consumers who value biodiversity conservation and seek to

support sustainable practices in food and beverage production, because these labels can communicate the commitment of the producer or the company to the protection of the environment and biodiversity, which can resonate with certain consumer segments and positively affect their purchasing decision [38].

Multiple studies in the consumer choice environment have indicated that the hypothetical bias affects the level of willingness to pay (i.e., the total amount that the consumer is willing to pay for the good), but not the marginal willingness to pay for the attributes [39]. In the present study, the attributes most valued with respect to the marginal willingness to pay were those related to origin and legal-economic protection. This finding coincides with that reported by Cortiñas et al. [40], who determined that origin is of great importance when choosing a product. González-Juárez et al. [33] found that in wine produced in Mexico, origin was the second most important variable with respect to marginal willingness to pay, the first being barrel aging time.

Although the attributes referring to sustainability (eco-labels) presented a positive marginal willingness to pay, the lowest values of said willingness are found in this group. In this sense, it would be possible to observe that Mexican consumers of raicilla have a low rating for sustainability attributes, mainly biodiversity management. This issue is of great importance in the direction that the production of raicilla or other agave distillates will take, since currently consumption behavior continues to change due to various factors such as climate change [41]. Therefore, public policies could direct their efforts to consumer awareness programs about the importance of eco-labels, promoting responsible consumption.

The research delves into an underexplored area, as there are few previous studies addressing willingness to pay for agave distillates with sustainability certifications (organic production, water and biodiversity management). This means that the findings are preliminary and require further research to validate and expand the results. In addition, it focuses exclusively on raicilla, which limits

the ability to extrapolate the findings to other agave distillates that could also benefit from sustainability certifications and legal-economic protections.

6.5. Conclusions

Discrete choice experiments are a methodology that allows us to understand how the attributes of an agave distillate impact purchasing decisions and consumer preferences in the food market, which is why it is important to continue researching and improving analysis methods of consumer preferences.

The application of discrete choice experiments on agave distillates such as raicilla allowed us to understand the importance of consumer preferences and decisions in the context of choice, especially in relation to the attributes and production processes of the product. The origin of the product, the production process and eco-labels had a significant influence on consumers' purchasing decisions and their willingness to pay for these types of attributes.

Consumers value not only the intrinsic characteristics of raicilla, but also aspects related to its origin, production process and sustainability. Transparency in the information provided on these aspects can significantly influence consumers' perception of quality and purchasing decisions.

Author Contributions: Conceptualization, M.P.-C. and A.E.-G.; methodology, M.P.-C. and A.E.-G.; software, M.P.-C. and A.H.-M.; validation, M.P.-C., A.E.-G., A.H.-M. and L.H.-R.; formal analysis, M.P.-C.; investigation, M.P.-C., A.E.-G., A.H.-M. and L.H.-R.; resources, M.P.-C. and A.E.-G.; data curation, M.P.-C. and A.E.-G.; writing—original draft preparation, M.P.-C. and A.E.-G.; writing—review and editing, A.H.-M. and L.H.-R.; visualization, M.P.-C., A.E.-G., A.H.-M. and L.H.-R.; supervision, A.E.-G., A.H.-M. and L.H.-R.; project administration, A.E.-G.; funding acquisition, A.E.-G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, and by Dirección General de Investigación y Posgrado—Universidad Autónoma Chapingo, grant number 24013-EI.

Institutional Review Board Statement: Before starting the data collection, participants were informed about the objective of the research. Participation in the study was fully voluntary and anonymous and subjects could withdraw from the survey at any time and for any reason. Ethical review and approval were dropped for this study since it did not involve direct intervention of the subjects.

Data Availability Statement: The data and estimation codes that support the findings of this study are available from the corresponding author.

Acknowledgments: The authors thank all participants who voluntarily engaged in the data survey.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

6.6. References

1. Pérez-Akaki, P.; Vega-Vera, N.V.; Enríquez-Caballero, Y.P.; Velázquez-Salazar, M. Designation of Origin Distillates in Mexico: Value Chains and Territorial Development. *Sustainability* 2021, 13, 5496, doi:10.3390/su13105496.
2. López, C.F.L. Los destilados de agave en México: *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 2022, 35.
3. Plascencia De La Torre, M.F.; Peralta Gordon, L.M. Análisis histórico de los mezcales y su situación actual desde una perspectiva ecomarxista/ Historical analysis of mezcals and their current situation from an eco-marxist approach. *Eutopía* 2018, 23–42, doi:10.17141/eutopia.14.2018.3579.
4. Nava-Cárdenas, J.Q.; Palacios Rangel, M.I.; Ocampo-Ledesma, J.G.; Aguilar-Ávila, J.; Ortiz-Martínez, G. Cadena de Valor y Comercialización de La Raicilla En El Municipio de Mascota, Jalisco. *textual* 2024, 1–40, doi:10.5154/r.textual/2023.82.1.

5. Mazzocchi, C.; Ruggeri, G.; Corsi, S. Consumers' Preferences for Biodiversity in Vineyards: A Choice Experiment on Wine. *Wine Economics and Policy* 2019, 8, 155–164, doi:10.1016/j.wep.2019.09.002.
6. Plank, A.; Teichmann, K. A Facts Panel on Corporate Social and Environmental Behavior: Decreasing Information Asymmetries between Producers and Consumers through Product Labeling. *Journal of Cleaner Production* 2018, 177, 868–877, doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.195.
7. Palma, D.; Ortúzar, J.D.D.; Rizzi, L.I.; Guevara, C.A.; Casaubon, G.; Ma, H. Modelling Choice When Price Is a Cue for Quality: A Case Study with Chinese Consumers. *Journal of Choice Modelling* 2016, 19, 24–39, doi:10.1016/j.jocm.2016.06.002.
8. Pomarici, E.; Amato, M.; Vecchio, R. Environmental Friendly Wines: A Consumer Segmentation Study. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2016, 8, 534–541, doi:10.1016/j.aaspro.2016.02.067.
9. Giannetti, V.; Mariani, M.B.; Marini, F.; Torrelli, P.; Biancolillo, A. Grappa and Italian Spirits: Multi-Platform Investigation Based on GC–MS, MIR and NIR Spectroscopies for the Authentication of the Geographical Indication. *Microchemical Journal* 2020, 157, 104896, doi:10.1016/j.microc.2020.104896.
10. Ricci, E.C.; Banterle, A.; Stranieri, S. Trust to Go Green: An Exploration of Consumer Intentions for Eco-Friendly Convenience Food. *Ecological Economics* 2018, 148, 54–65, doi:10.1016/j.ecolecon.2018.02.010.
11. Boncinelli, F.; Dominici, A.; Gerini, F.; Marone, E. Consumers Wine Preferences According to Purchase Occasion: Personal Consumption and Gift-Giving. *Food Quality and Preference* 2019, 71, 270–278, doi:10.1016/j.foodqual.2018.07.013.
12. Cantillo, J.; Martín, J.C.; Román, C. Discrete Choice Experiments in the Analysis of Consumers' Preferences for Finfish Products: A Systematic Literature Review. *Food Quality and Preference* 2020, 84, 103952, doi:10.1016/j.foodqual.2020.103952.
13. Gonçalves, T.; Lourenço-Gomes, L.; Pinto, L.M.C. Dealing with Ignored Attributes through an Inferred Approach in Wine Choice Experiments. *Journal of Behavioral and Experimental Economics* 2020, 87, 101551, doi:10.1016/j.socec.2020.101551.
14. Van Loo, E.J.; Caputo, V.; Nayga, R.M.; Seo, H.-S.; Zhang, B.; Verbeke, W. Sustainability Labels on Coffee: Consumer Preferences, Willingness-to-Pay and Visual Attention to Attributes. *Ecological Economics* 2015, 118, 215–225, doi:10.1016/j.ecolecon.2015.07.011.
15. Pedret, R.; Sanier, L.; García, I.; Morell, A. *Investigació de Mercats I*; UOC: Barcelona: Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya;

16. Martínez-García, J.A.; Martínez-Caro, L. 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* 2008, 20, 311–316.
17. Melo-Guerrero, E.; Rodríguez-Laguna, R.; MartínezDamián, M.Á.; Hernández-Ortíz, J.; Razo-Zárate, R. Consideraciones básicas para la aplicación de experimentos de elección discreta: una revisión. *RMCF* 2020, 11, doi:10.29298/rmcf.v11i59.676.
18. Tudela, J.W.; Leos, J.A. Herramientas Metodológicas Para Aplicaciones Del Experimento de Elección.; Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial.: México. Chapingo, México., 2017;
19. Marion, H.; Luisa, M.; Sebastian, R. Adoption of Geographical Indications and Origin-Related Food Labels by Smes – A Systematic Literature Review. *Cleaner and Circular Bioeconomy* 2023, 4, 100041, doi:10.1016/j.clcb.2023.100041.
20. Diario Oficial de la Federación, D. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-257-SE-2021, Bebidas Alcohólicas-Raicilla-Denominación, Especificaciones, Información Comercial y Métodos de Prueba.; 2022.
21. Sellers, R. Would You Pay a Price Premium for a Sustainable Wine? The Voice of the Spanish Consumer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2016, 8, 10–16, doi:10.1016/j.aaspro.2016.02.003.
22. Menghini, S. Designations of Origin and Organic Wines in Italy: Standardisation and Differentiation in Market Dynamics. *Wine Economics and Policy* 2018, 7, 85–87, doi:10.1016/j.wep.2018.11.003.
23. Delmas, M.A.; Lessem, N. Eco-Premium or Eco-Penalty? Eco-Labels and Quality in the Organic Wine Market. *Business & Society* 2017, 56, 318–356, doi:10.1177/0007650315576119.
24. Addelman, S. Orthogonal Main-Effect Plans for Asymmetrical Factorial Experiments. *Technometrics* 1962, 4, 21–46.
25. Bennett, J.; Adamowicz, V. Some Fundamentals of Environmental Choice Modelling. *The Strengths and Weaknesses of Environmental Choice Modelling* 2001, 37–70.
26. Greene, W. *Econometric Analysis*; 5th ed.; Pearson Education: USA, 2003;
27. Juan Walter, T. Experimentos de elección en la priorización de políticas de gestión en áreas naturales protegidas. *Revista Desarrollo y Sociedad* 2010, 183–217, doi:10.13043/dys.66.6.
28. Hoyos, D. The State of the Art of Environmental Valuation with Discrete Choice Experiments. *Ecological Economics* 2010, 69, 1595–1603, doi:10.1016/j.ecolecon.2010.04.011.

29. Hole, A.R.; Kolstad, J.R. Mixed Logit Estimation of Willingness to Pay Distributions: A Comparison of Models in Preference and WTP Space Using Data from a Health-Related Choice Experiment. *Empir Econ* 2012, 42, 445–469, doi:10.1007/s00181-011-0500-1.
30. Olsen, S.B.; Meyerhoff, J. Will the Alphabet Soup of Design Criteria Affect Discrete Choice Experiment Results? *Eur Rev Agric Econ* 2016, eurrag;jbw014v1, doi:10.1093/erae/jbw014.
31. Hernández Valdivia, M.S.; Melo Guerrero, E.; Valdivia Alcalá, R.; Valenzuela Núñez, L.M.; Hernández Ortiz, J.; Martínez Damián, M.Á. Análisis de la disponibilidad a pagar por carne de cerdo libre de antibióticos, un enfoque de Experimentos de Elección. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2023, 14, 658–671, doi:10.22319/rmcp.v14i3.6062.
32. Lizin, S.; Rousseau, S.; Kessels, R.; Meulders, M.; Pepermans, G.; Speelman, S.; Vandebroek, M.; Van Den Broeck, G.; Van Loo, E.J.; Verbeke, W. The State of the Art of Discrete Choice Experiments in Food Research. *Food Quality and Preference* 2022, 102, 104678, doi:10.1016/j.foodqual.2022.104678.
33. González-Juárez, A.; Hernández-Ortiz, J.; Martínez-Damián, M.Á.; Melo-Guerrero, E.; Valdivia-Alcalá, R.; Cervantes-Luna, J.O.; Sandoval-Romero, F. Preferences of wine consumers from Dolores Hidalgo, Guanajuato: a choice experiment approach. *agro* 2022, doi:10.47163/agrociencia.v56i2.2774.
34. Staples, A.J.; Reeling, C.J.; Widmar, N.J.O.; Lusk, J.L. Consumer Willingness to Pay for Sustainability Attributes in Beer: A Choice Experiment Using Eco-labels. *Agribusiness* 2020, 36, 591–612, doi:10.1002/agr.21655.
35. Tait, P.; Saunders, C.; Dalziel, P.; Rutherford, P.; Driver, T.; Guenther, M. Comparing Generational Preferences for Individual Components of Sustainability Schemes in the Californian Wine Market. *Applied Economics Letters* 2020, 27, 1091–1095, doi:10.1080/13504851.2019.1661952.
36. Rivaroli, S.; Lindenmeier, J.; Hingley, M.; Spadoni, R. Social Representations of Craft Food Products in Three European Countries. *Food Quality and Preference* 2021, 93, 104253, doi:10.1016/j.foodqual.2021.104253.
37. Poelmans, E.; Rousseau, S. Beer and Organic Labels: Do Belgian Consumers Care? *Sustainability* 2017, 9, 1509, doi:10.3390/su9091509.
38. Mérel, P.; Ortiz-Bobea, A.; Paroissien, E. How Big Is the “Lemons” Problem? Historical Evidence from French Wines. *European Economic Review* 2021, 138, 103824, doi:10.1016/j.euroecorev.2021.103824.

39. John C. Beghin; Gustafson, C.R. Consumer Valuation of and Attitudes towards Novel Foods Produced with NPETs: A Review. *Sustainability* 2021, 13.
40. Cortiñas, M.; Chocarro, R.; Elorz, M.; Villanueva, M.L. La Importancia Del Atributo Origen En La Elección de Productos Agroalimentarios. El Caso Del Espárrago de Navarra. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 2007, 7, 57–90.
41. Nam, K.; Qiao, Y.; Ahn, B. -i. Analysis of Consumer Preference for Green Tea with Eco-Friendly Certification in China. *Sustainability* 2022, 14, 211, doi:<https://doi.org/10.3390/su14010211>.

7. ¿IMPORTA EL ORDEN DE PRESENTACIÓN? EL EFECTO DE LA SECUENCIA DE LA INFORMACIÓN EN LAS RESPUESTAS EMOCIONALES Y LA PREFERENCIA: UN ESTUDIO DE CASO DE DESTILADOS TRADICIONALES

RESUMEN

La respuesta del consumidor a los alimentos y bebidas implica la interacción entre la información sensorial y las influencias cognitivas, procesos comúnmente denominados mecanismos *bottom-up* y *top-down*. Este estudio examinó si la secuencia de presentación de la información del producto (orden de presentación) influye en el nivel de agrado y en las respuestas emocionales de los consumidores hacia cuatro destilados tradicionales de agave (tequila, mezcal, raicilla y bacanora). Se implementaron tres condiciones de evaluación: ciega (sin información), antes (información del producto presentada antes de la degustación) y después (información presentada después de la degustación). Un total de 150 consumidores evaluó cada producto utilizando emojis faciales para caracterizar las respuestas emocionales, mientras que el nivel de agrado y la familiaridad autopercebida se midieron mediante escalas de 9 puntos. El momento de presentación de la información influyó significativamente tanto en las puntuaciones de agrado como en la configuración de las respuestas emocionales. Las evaluaciones a ciegas se asociaron principalmente con respuestas guiadas por la percepción sensorial directa, mientras que las condiciones informadas reflejaron la integración de señales contextuales en función del momento en que se proporcionó la información. Las diferencias en familiaridad se asociaron de manera consistente con variaciones en el agrado y en los perfiles emocionales. En conjunto, los resultados demuestran que la secuencia de presentación de la información modula la interacción dinámica entre los procesos *bottom-up* y *top-down* en la configuración de la percepción del consumidor hacia bebidas alcohólicas tradicionales.

Palabras clave: Procesos cognitivos, experiencia, familiaridad, emoji.

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Director de Tesis: Dr. Anastacio Espejel García.

Artículo publicado en: Applied Food Research 2026, 101942. DOI: [10.1016/j.afres.2026.101942](https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.101942)

Autores: Magdiel Pablo-Cano, Anastacio Espejel-García, Arturo Hernández-Montes, María Angélica Romero-Medina & Sergio Erick García-Barrón.

DOES PRESENTATION ORDER MATTER? THE EFFECT OF INFORMATION SEQUENCING ON EMOTIONAL RESPONSES AND LIKING: A CASE STUDY OF TRADITIONAL DISTILLATES

ABSTRACT

Consumer response to food and beverages involves the interaction of sensory input and cognitive expectations, processes commonly referred to as bottom-up and top-down mechanisms. This study examined whether the sequencing of product information (presentation order) influences consumers' liking and emotional responses to four traditional agave distillates (tequila, mezcal, raicilla, bacanora). Three evaluation conditions were implemented: blind (no information provided), before (product information shown prior to tasting), and after (information presented after tasting). A total of 150 consumers evaluated each product using facial emojis to characterize emotional responses, while liking and self-perceived familiarity were assessed using 9-point scales. Information timing significantly shaped both liking scores and emotional configurations. Blind evaluations were primarily associated with responses driven by direct sensory perception, whereas informed conditions reflected the integration of contextual cues depending on when information was provided. Differences in familiarity were consistently associated with variations in liking and emotional profiles. Overall, the results demonstrate that information sequencing modulates the dynamic interaction between bottom-up and top-down processes in shaping consumer perception of traditional alcoholic beverages.

Keywords: Cognitive processes, experience, familiarity, emoji.

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Postgraduate Program en Ciencia y Tecnología Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Magdiel Pablo Cano.

Thesis Director: Dr. Anastacio Espejel García.

Article published in: Applied Food Research 2026, 101942. DOI: [10.1016/j.afres.2026.101942](https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.101942)

Authors: Magdiel Pablo-Cano, Anastacio Espejel-García, Arturo Hernández-Montes, María Angélica Romero-Medina & Sergio Erick García-Barrón.

7.1. Introducción

La respuesta del consumidor a los alimentos y bebidas implica interacciones complejas entre mecanismos cognitivos y sensoriales que configuran la percepción y la experiencia afectiva. Entre estos se incluyen los procesos *bottom-up*, impulsados por señales sensoriales como el sabor, el aroma o la textura, y los procesos *top-down*, influenciados por el conocimiento previo, las creencias y las inferencias del consumidor (Deliza & MacFIE, 1996; Piqueras-Fiszman & Spence, 2015; Theeuwes, 2010). Comprender cómo interactúan estos procesos es fundamental para explicar cómo los consumidores forman su nivel de agrado y las respuestas emocionales hacia los productos.

En el contexto mexicano, el consumo de bebidas alcohólicas ha mostrado un crecimiento significativo, particularmente el de los destilados de agave, cuyo consumo ha aumentado en un 11.25 % en los últimos años (Bahena, 2024). Entre estos se encuentran el mezcal, el tequila, la raicilla y la bacanora, bebidas consideradas tradicionales, es decir, productos culturalmente arraigados, vinculados al patrimonio y transmitidos de generación en generación (Guerrero et al., 2009; García-Barrón et al., 2021; Pablo-Cano et al., 2024). El mezcal y el tequila destacan por su relevancia histórica, así como por sus elevados volúmenes de producción y exportación, mientras que la raicilla y la bacanora presentan una distribución más limitada a nivel regional y han sido menos estudiados (Casas-Medina & Salazar-Solano, 2014; Nava-Cárdenas et al., 2024). Aunque investigaciones previas han abordado la percepción del consumidor hacia el mezcal y el tequila (García-Barrón et al., 2025; García-Barrón et al., 2021; Lazo et al., 2022; López-Rosas & Espinoza-Ortega, 2018), los factores que influyen en el nivel de agrado no han sido plenamente explorados. En el caso de la bacanora y la raicilla, aún no se han realizado estudios que analicen este aspecto. Por lo tanto, comprender la influencia de estos factores en el agrado del consumidor resulta fundamental para mejorar el posicionamiento de estas

bebidas en el mercado y para generar estrategias de innovación y comunicación dentro de la industria del agave.

El comportamiento del consumidor está influenciado tanto por factores relacionados con el individuo como con el producto. Las características sociodemográficas, los hábitos y la familiaridad contribuyen a las respuestas de los consumidores (Chen & Antonelli, 2020; Dacremont & Sester, 2019), mientras que la información del producto, como su origen o método de producción, afecta la percepción y la preferencia (Gutjar et al., 2015; Wang et al., 2019). Esta influencia depende del conocimiento del consumidor, su cultura, sus características sociodemográficas y su nivel de involucramiento con el producto (Apaolaza et al., 2016; Bruwer et al., 2017; Marchini et al., 2021; Saïdi & Giraud, 2020; Wongprawmas et al., 2022; Hwang & Kim, 2025). En consecuencia, la información del producto no solo puede influir en los juicios sensoriales, sino también modificar la experiencia del consumidor, lo que sugiere la interacción entre procesos *bottom-up* y *top-down* (Lee et al., 2006; Siegrist & Cousin, 2009).

El procesamiento *bottom-up* ocurre a partir de estímulos sensoriales —como el olor, el sabor, el aroma, la textura y la apariencia— (Saghravanian, 2025; Theeuwes, 2010), mientras que el procesamiento *top-down* está guiado por factores cognitivos como la experiencia previa, las creencias y las expectativas del consumidor (Theeuwes, 2010).

La respuesta del consumidor resulta, por tanto, de la interacción entre estos procesos, integrando dimensiones sensoriales como cognitivas (Chan, 2025; Choi et al., 2018; Costall & Morris, 2015). En este contexto, la familiaridad desempeña un papel central, ya que refleja el conocimiento acumulado a través de experiencias previas de compra y consumo (Alba & Hutchinson, 1987; Nacef et al., 2019; Sáenz-Navajas et al., 2014). Como componente del conocimiento del consumidor (Banović et al., 2012), la familiaridad puede actuar como un modulador de los posibles efectos que los procesos *bottom-up* y *top-down* ejercen sobre la respuesta del consumidor (Giacalone et al., 2015; Ma et al.,

2019; Fidler & Graça, 2023; García-Barrón et al., 2021). A pesar de su relevancia, su papel dentro de los procesos *bottom-up* y *top-down* no ha sido explorado de manera suficiente, especialmente en bebidas tradicionales como los destilados de agave.

El estudio de la importancia de las emociones generadas por los alimentos y las bebidas para comprender el comportamiento del consumidor ha crecido significativamente en los últimos años (Spinelli & Jaeger, 2019; van Zyl & Chaya, 2021). Las respuestas emocionales pueden explicar mejor el nivel de agrado que los atributos sensoriales por sí solos (Gupta et al., 2022; Penna et al., 2022). Según Spinelli y Monteleone (2018), el análisis de las emociones desencadenadas por las marcas y el empaque puede contribuir al desarrollo de estrategias de marketing y comunicación del producto. En este sentido, la información del producto desempeña un papel esencial en el proceso de compra (García-Madariaga et al., 2019; Penna et al., 2022). De acuerdo con Piqueras-Fiszman y Jaeger (2014), las emociones están determinadas por el contexto en el que se evocan; por lo tanto, es plausible suponer que el tipo y el orden en que se presenta la información del producto pueden influir tanto en las emociones evocadas como en la evaluación hedónica. Diversos estudios han señalado que presentar información antes, durante o después de la degustación puede generar resultados sensoriales y emocionales distintos (Fibri & Frøst, 2020; Penna et al., 2022; Pinto et al., 2020; Spinelli et al., 2015). Sin embargo, a pesar de su relevancia, el papel de los procesos *bottom-up* y *top-down* en la generación de respuestas emocionales aún no ha sido plenamente abordado.

El estudio de las emociones en la ciencia sensorial y del consumidor se ha visto facilitado por el uso de emojis (Penna et al., 2022; Reis Rocha et al., 2024; Sick et al., 2020; Wu et al., 2024). Su utilización en el análisis de las emociones se basa en la familiaridad de los consumidores con la expresión de sus emociones y sentimientos mediante estos símbolos (Jaeger, Xia, et al., 2018; Reis Rocha et al., 2024). Asimismo, los emojis transmiten emociones de manera más intuitiva y

son fácilmente reconocidos y procesados con mayor rapidez que los descriptores verbales (Jaeger, Xia, et al., 2018; Kaneko et al., 2018; Reis Rocha et al., 2024). Adicionalmente, se emplean preguntas del tipo CATA (Check-All-That-Apply) o RATA (Rate-All-That-Apply), ya que su aplicación no requiere un esfuerzo adicional por parte de los participantes y contribuye a reducir la fatiga durante la evaluación (Jaeger et al., 2018; Jaeger & Ares, 2017; Pinto et al., 2020). Entre estas dos opciones, las respuestas RATA permiten una discriminación más fina entre muestras con perfiles emocionales similares (Jaeger et al., 2018). Este enfoque resulta particularmente relevante para la evaluación de destilados tradicionales de agave, los cuales comparten perfiles sensoriales y culturales comparables, pero difieren en el nivel de familiaridad del consumidor y en su exposición en el mercado (García-Barrón et al., 2021).

El objetivo de este estudio fue examinar cómo la secuencia de presentación de la información (orden de presentación) modula la interacción entre los procesos *bottom-up* y *top-down*, y cómo esta interacción, junto con la familiaridad del consumidor, afecta el nivel de agrado y las respuestas emocionales hacia los destilados tradicionales de agave.

7.2. Materiales y métodos

7.2.1. Estímulos (destilados de agave)

Se seleccionaron cuatro destilados de agave producidos comercialmente como estímulos experimentales: tequila, mezcal, raicilla y bacanora. Estos productos se eligieron con base en los siguientes criterios: (1) todos están protegidos bajo una Denominación de Origen (DO), lo que garantiza su estandarización regulatoria y autenticidad; (2) representan diferentes niveles de presencia en el mercado y comercialización, que van desde productos ampliamente distribuidos (tequila y mezcal) hasta bebidas con comercialización predominantemente regional (raicilla y bacanora); y (3) reflejan distintos grados de familiaridad del consumidor y visibilidad cultural dentro de México. El tequila y el mezcal se

producen, exportan y estudian ampliamente, mientras que la raicilla y la bacanora presentan una distribución comercial más limitada y han recibido comparativamente menor atención científica. Sus principales características se resumen en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Características de los destilados de agave utilizados en el estudio

Destilado	% Alc. Vol.	Especie de agave	Lugar de producción
Tequila	40 %	<i>Agave tequilana</i> Weber	Jalisco
Mezcal	48 %	<i>Agave americana</i>	Oaxaca
Raicilla	40 %	<i>Agave maximiliana</i> Baker	Jalisco
Bacanora	38 %	<i>Agave angustifolia</i> Haw	Sonora

7.2.2. Aprobación ética

El estudio se llevó a cabo de acuerdo con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki para investigaciones que involucran participantes humanos. Todos los procedimientos fueron revisados y aprobados por el Departamento de Ingeniería Agroindustrial (Solicitud No. 602.6/01058). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes antes de su participación en el estudio.

7.2.3. Participantes

El reclutamiento se realizó a través de plataformas de redes sociales, principalmente Facebook y WhatsApp, utilizando redes institucionales y personales. Se empleó una estrategia de muestreo no probabilístico por conveniencia, combinada con la aplicación de criterios de inclusión predefinidos para asegurar que únicamente se seleccionaran participantes que cumplieran con los requisitos del estudio, tal como se ha aplicado comúnmente en investigaciones de análisis sensorial del consumidor (Penna et al., 2022; Pinto et al., 2020). La invitación incluyó una breve descripción de los objetivos del estudio. Un total de 150 participantes fueron seleccionados con base en cuatro criterios:

(a) ser consumidores habituales de destilados de agave, (b) tener al menos 18 años (edad legal para el consumo de alcohol en México), (c) residir en Guadalajara, Jalisco, México, y (d) ser usuarios habituales de dispositivos móviles portátiles, como indicador de familiaridad con el uso de emojis (Jaeger et al., 2017).

7.2.4. Diseño de la prueba

Antes de la sesión de evaluación, los participantes recibieron una breve explicación del propósito del estudio, sin revelar las bebidas específicas que serían evaluadas, con el fin de minimizar posibles sesgos derivados de expectativas previas. El estudio consistió en tres condiciones de evaluación: ciega (sin información), antes (información proporcionada antes de la degustación) y después (información proporcionada después de la degustación).

7.2.5. Selección de emojis

La selección de los emojis utilizados en la evaluación siguió las directrices establecidas por Jaeger et al. (2019), Jaeger et al. (2017), Jaeger y Ares (2017) y Vidal et al. (2016). Estas fuentes permitieron establecer un marco de referencia para identificar emojis relevantes para la expresión emocional en contextos relacionados con alimentos. Para mantener la claridad interpretativa y reducir la ambigüedad semántica, únicamente se consideraron emojis de rostros, los cuales son reconocidos por transmitir directamente estados emocionales discretos. Con el fin de asegurar que los emojis seleccionados fueran familiares y ampliamente reconocidos por los consumidores, la lista se contrastó con datos globales de frecuencia de uso reportados por el Emogi Research Team (2015) y con estadísticas de uso en tiempo real provenientes de Emojitracker (2024), que proporciona información sobre el uso de emojis en la plataforma Twitter. Este enfoque permitió asegurar que los emojis seleccionados fueran no solo contextualmente relevantes, sino también ampliamente reconocidos y de uso común entre los consumidores.

El conjunto final estuvo compuesto por 33 emojis, un tamaño comparable al de léxicos emocionales establecidos utilizados en investigaciones de análisis sensorial del consumidor (por ejemplo, King et al., 2010; Mora et al., 2021). El Cuadro 29 presenta cada emoji seleccionado, su correspondiente descripción (Unicode) y los términos emocionales más comúnmente asociados según lo reportado en la literatura previa (Emojitracker, 2024; Jaeger & Ares, 2017; Jaeger et al., 2019). Esta selección asegura una cobertura amplia de estados emocionales (positivos, negativos y neutrales).

7.2.6. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental siguió el enfoque propuesto por Lee et al. (2006). Se implementó un diseño entre sujetos, en el cual cada participante fue asignado aleatoriamente a una de tres condiciones experimentales (ciega, antes o después) y experimentó únicamente una condición al evaluar los cuatro tipos de destilados de agave (Figura 20). Este diseño permite una evaluación independiente de cada condición, minimizando la fatiga y los efectos de arrastre, y facilitando un mejor control de la variabilidad entre los grupos (Charness et al., 2012).

Los participantes evaluaron cuatro destilados de agave (tequila, mezcal, raicilla y bacanora). Cada muestra consistió en 15 mL, servidos en vasos de vidrio transparente de 29.5 mL codificados con números aleatorios de tres dígitos. La presentación de las muestras siguió un orden balanceado y aleatorizado, y se realizó de manera monádica (una a la vez), de acuerdo con los procedimientos estándar de evaluación sensorial que ayudan a reducir los efectos de contraste y la sobrecarga cognitiva (Macfie et al., 1989; Torres-Salas & Hernández-Montes, 2021). En la condición “ciega”, los participantes degustaron los destilados de agave sin recibir información del producto. En la condición “antes”, se proporcionó la información correspondiente del producto antes de la degustación de cada muestra. En la condición “después”, los participantes primero degustaron

las muestras sin información y posteriormente se les proporcionó la información correspondiente del producto.

Cuadro 29. Lista de los 33 emojis faciales incluidos en el estudio (versión de la plataforma Android 14.0), junto con sus descripciones según Emojipedia (2024) y los términos más frecuentemente utilizados reportados en la literatura (Jaeger et al., 2019; Jaeger & Ares, 2017).

Grupo	Emoji	Descripción	Término asociado
Valencia positiva	😊	Cara sonriente con ojos sonrientes	Feliz
	😄	Cara sonriente	Alegre
	😁	Cara sonriente con la boca abierta y ojos sonrientes	Satisfecho
	😍	Cara sonriente con ojos en forma de corazón	Amoroso
	😊	Cara sonriente	Contento
	😌	Rostro de alivio	Calmado
	😎	Cara sonriente con gafas de sol	Buen carácter (Genial)
	😜	Cara con lengua fuera	Divertido (Travieso)
	😉	Cara guiñando un ojo	Divertido (Coqueto)
	😘	Cara lanzando un beso	Afectivo
	😗	Cara con lengua saliente y guiño de ojo	Divertido (Bobo)
	😂	Cara con lágrimas de alegría	Feliz (Alborotado)
	😝	Cara con la lengua afuera y los ojos bien cerrados	Divertido (Repulsión)
Valencia neutral/disperso	😏	Cara sonriente traviesa	Atrevido
	😬	Cara radiante con ojos sonrientes	Divertido (Juguetón)
	😐	Cara neutra	Aburrido
	😬	Rostro inexpresivo	Aburrido (Frustrado)
	😓	Cara haciendo muecas	Preocupado
	😴	Cara durmiente	Tranquilo (Somnoliento)
	😇	Rostro enrojecido	Sorprendido
	😱	Cara gritando de miedo	Sorprendido (Asustado)
Valencia negativa	😞	Cara confusa	Triste (Confundido)
	😫	Cara confundida	Frustrado
	😒	Cara de desaprobación	Disgustado
	😩	Cara cansada	Triste (Cansado)
	😔	Cara pensativa	Triste (Nostálgico)
	😓	Cara perseverante	Triste (Deprimido)
	😫	Cara cansada	Triste (Desesperado)
	😞	Cara decepcionada	Triste (Decepcionado)
	😡	Cara enojada	Enojado (Molesto)
	😓	Cara con sudor frío	Tímido (Avergonzado)
	😭	Cara llorando	Triste (Lloroso)
	😱	Cara que llora fuerte	Triste (Inconsolable)

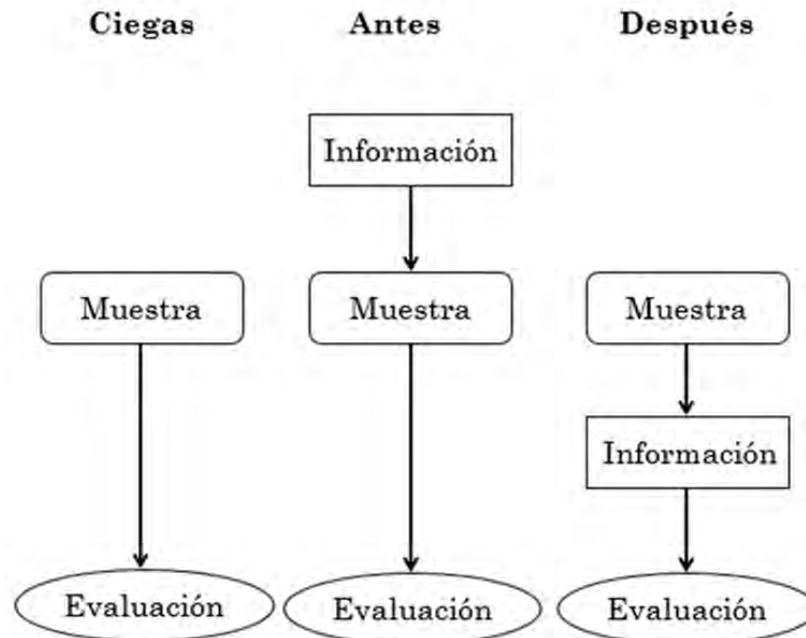


Figura 20. Ilustración de las tres condiciones experimentales en las que se presentó la información.

Fuente: Lee et al. (2006).

Para mantener la consistencia entre sesiones, todas las evaluaciones se realizaron bajo condiciones ambientales controladas (iluminación blanca, temperatura ambiente neutra y mínima presencia de olores externos). Se instruyó a los participantes a tomar un pequeño sorbo de cada muestra y expectorar después de la evaluación para minimizar la ingesta de alcohol y la fatiga sensorial. Entre muestras, enjuagaron su paladar con agua a temperatura ambiente y observaron un breve intervalo estandarizado antes de proceder con la siguiente muestra, con el fin de reducir posibles efectos de arrastre del alcohol. En caso de que algún participante reportara incomodidad, fatiga excesiva o incapacidad para continuar, la sesión se suspendía.

Las tarjetas de información presentadas a los participantes para cada destilado de agave (Figura 21) incluyeron el nombre del destilado, el tipo de agave utilizado en su producción, la región de origen, el año en que se otorgó la Denominación de Origen (DO), el contenido alcohólico, el precio de venta al público y detalles clave del proceso de producción (método de cocción, técnica de molienda,

fermentación y tipo de destilación). Este conjunto de atributos fue seleccionado con el propósito de reflejar información comúnmente disponible para los consumidores y frecuentemente citada en la literatura como influyente en la formación de inferencias cognitivas y en los procesos *top-down* durante la evaluación de bebidas alcohólicas.



Figura 21. Tarjetas de información presentadas para cada destilado de agave (bacanora, mezcal, raicilla y tequila).

En cada condición experimental, y para cada destilado de agave, se solicitó a los participantes que evaluaran su nivel de agrado utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1 = me disgusta extremadamente, 9 = me gusta extremadamente). Posteriormente, las respuestas emocionales hacia cada producto se evaluaron mediante un cuestionario de emojis tipo Rate-All-That-Apply (RATA), adaptado de Jaeger y Ares (2017). Se instruyó a los participantes a seleccionar todos los emojis que mejor describieran su estado emocional después de degustar cada muestra y a calificar la intensidad percibida de cada emoji seleccionado utilizando una escala de 7 puntos (1 = muy débil, 7 = muy fuerte). Para minimizar posibles sesgos de orden, la lista de emojis se presentó en orden aleatorizado.

Después de evaluar los cuatro destilados de agave, se solicitó a los participantes que indicaran su nivel de familiaridad con cada producto utilizando una escala de 9 puntos (1 = baja familiaridad, 9 = alta familiaridad). En este estudio, la familiaridad se operacionalizó como familiaridad general con el producto, en lugar de familiaridad con atributos sensoriales específicos, siguiendo enfoques previos en investigación del consumidor donde la familiaridad se ha evaluado como un constructo global (García-Barrón, 2023; Nacef et al., 2019). Finalmente, se recopiló información sociodemográfica de todos los participantes, incluyendo edad, género y nivel de educación.

7.2.7. Análisis estadístico

Nivel de familiaridad

El nivel de familiaridad de los consumidores se analizó con el objetivo de determinar si existían diferencias entre los destilados de agave y entre las condiciones experimentales. Para ello, se realizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA).

En el primer caso, para examinar las diferencias en familiaridad entre los destilados, el modelo incluyó el destilado como factor fijo y a los consumidores como factor aleatorio. En el segundo caso, para verificar si la familiaridad difería entre las condiciones experimentales dentro de cada producto, la condición experimental se consideró como factor fijo y los consumidores como factor aleatorio. Cuando se observaron efectos significativos ($p < 0.05$), se aplicó una prueba post hoc de comparaciones múltiples de medias utilizando la prueba HSD de Tukey.

Nivel de agrado en condición a ciegas, antes y después

El efecto de la condición de información sobre el nivel de agrado global se analizó por separado para cada destilado de agave mediante un análisis de varianza de dos vías (ANOVA). En cada modelo, la condición experimental (ciega, antes,

después) se incluyó como factor fijo, mientras que los consumidores se consideraron como factor aleatorio. Cuando se detectaron efectos significativos de la condición ($p < 0.05$), se realizaron comparaciones por pares entre las condiciones utilizando la prueba HSD de Tukey.

Respuestas emocionales

Las diferencias en la frecuencia de selección de emojis (es decir, el número de participantes que seleccionaron cada emoji) entre las condiciones de evaluación se evaluaron inicialmente mediante una prueba de proporciones K (procedimiento de Marascuilo). Esta prueba es adecuada para identificar diferencias en las proporciones de respuestas categóricas entre múltiples grupos. Para asegurar la estabilidad e interpretabilidad del análisis de frecuencias, los emojis seleccionados por menos del 2 % de los participantes se excluyeron de los análisis posteriores, tal como sugieren Lebart et al. (2006). Posteriormente, para cada destilado de agave, la frecuencia de uso de los emojis se comparó entre las condiciones experimentales utilizando la misma prueba de proporciones K. Las puntuaciones promedio de intensidad percibida para los emojis seleccionados se analizaron siguiendo los procedimientos propuestos por Jaeger y Ares (2017) y Meyners et al. (2016). Para cada destilado, las puntuaciones RATA se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías (ANOVA), considerando los destilados de agave como factor fijo y a los participantes como factor aleatorio. Cuando se identificaron diferencias significativas ($p < 0.05$), se aplicaron pruebas post hoc HSD de Tukey para determinar qué condiciones diferían significativamente.

Finalmente, para facilitar la visualización de los resultados, los datos se analizaron mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP), generando un biplot que representó las evaluaciones de los destilados de agave en términos de agrado, familiaridad e intensidad emocional percibida en cada condición donde se observaron diferencias significativas. La interpretación de los componentes se basó en las coordenadas factoriales y las cargas de las

variables, lo que permitió identificar las principales dimensiones subyacentes a las respuestas hedónicas y emocionales y su asociación con las condiciones de evaluación. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico XLSTAT 2019 (Lumivero, Denver, CO, USA).

7.3. Resultados y discusión

7.3.1. Características socio-demográficas de los participantes

Las características sociodemográficas de los participantes asignados a cada condición (ciega, antes y después) se presentan en el Cuadro 30. En este estudio, el 54 % de los participantes fueron mujeres y el 46 % hombres. Los participantes estuvieron conformados por adultos entre 25 y 55 años, con la mayor proporción en el grupo de 25–34 años (34 %), seguido por 35–44 años (29.3 %) y 45–55 años (26.6 %). En general, el 80 % de los participantes reportó haber completado estudios de educación superior (nivel universitario). En cuanto a la percepción de su situación económica, el 30 % de los participantes se describió como nada o poco satisfecho, el 24 % como moderadamente satisfecho y el 46 % como muy o completamente satisfecho.

El perfil sociodemográfico obtenido refleja un segmento de consumidores particularmente relevante para estudios sobre el consumo de destilados de agave, ya que los adultos con mayor nivel educativo y autonomía de compra participan con frecuencia en el consumo de bebidas alcohólicas tradicionales. En concordancia con este patrón, López-Rosas y Espinoza-Ortega (2018) reportaron que el perfil principal del consumidor de mezcal en México corresponde a hombres entre 20 y 39 años, con educación universitaria o de posgrado y empleo estable, quienes están fuertemente motivados por los atributos culturales, tradicionales y sensoriales del producto.

Cuadro 30. Características socio-demográficas de los participantes (n = 150).

Variable	Condición a ciegas		Condición antes		Condición después	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Sexo						
Masculino	24	48	24	48	21	42
Femenino	26	52	26	52	29	58
Edad						
18 a 24 años	2	4	1	2	4	8
25 a 34 años	17	34	15	30	19	38
35 a 44 años	17	34	16	32	11	22
45 a 55 años	14	28	13	26	13	26
55 o más años	0	0	5	10	3	6
Nivel de estudios						
Básico - Medio (Primaria, Secundaria, Bachillerato)	6	12	6	12	7	14
Superior (Universidad)	27	54	31	62	33	66
Posgrado (Maestría, Doctorado)	17	34	13	26	10	20
Percepción de situación económica						
1 (Nada satisfactorio)	1	2	3	6	4	8
2 (Poco satisfactorio)	6	12	21	42	10	20
3 (Moderadamente satisfactorio)	16	32	10	20	10	20
4 (Muy Satisfactorio)	16	32	8	16	17	34
5 (Totalmente satisfactorio)	11	22	8	16	9	18

7.3.2. Nivel de familiaridad

El nivel de familiaridad de los participantes por destilado de agave y entre las condiciones experimentales se presenta en el Cuadro 31. Como era de esperarse, se observaron diferencias significativas en el nivel global de familiaridad entre las bebidas ($F = 267.38$; $p < 0.0001$), lo que refleja la distinta exposición cultural a estos productos. Cuando la familiaridad se comparó entre las condiciones experimentales dentro de cada bebida, se observaron diferencias significativas para todos los destilados, excepto para la bacanora.

Cuadro 31. Nivel de familiaridad de los participantes con los destilados de agave dentro de cada condición.

Bebida	Media general	Condición	F	Valor-p	Nivel de familiaridad
Bacanora	1.79 ± 1.26 D ^Y	Ciegas (C1)	3.02	0.0516	1.90 ± 1.54 a ^Z
		Antes (C2)			2.02 ± 1.31 a
		Después C3)			1.44 ± 0.73 a
Mezcal	5.07 ± 1.80 B	Ciegas (C1)	4.43	0.0134	5.68 ± 2.10 a
		Antes (C2)			4.74 ± 1.60 b
		Después C3)			4.80 ± 1.53 b
Raicilla	3.37 ± 2.07 C	Ciegas (C1)	7.07	0.0012	3.38 ± 2.07 ab
		Antes (C2)			4.12 ± 2.13 a
		Después C3)			2.62 ± 1.74 b
Tequila	7.04 ± 1.69 A	Ciegas (C1)	3.38	0.0365	7.32 ± 1.69 a
		Antes (C2)			7.26 ± 1.67 a
		Después (C3)			6.54 ± 1.63 ab

^Y Las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias generales de familiaridad ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

^Z Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre condiciones para cada bebida ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

Al comparar el nivel medio de familiaridad entre los destilados, el tequila presentó el valor más alto (7.04), seguido por el mezcal (5.07), la raicilla (3.37) y la bacanora (1.79), este último con el promedio más bajo. En este sentido, Nacef et

al. (2019) señalan que la familiaridad es un concepto relacionado con la experiencia previa con el producto como resultado de la exposición, y que también se integra con aspectos culturales y con el conocimiento del producto, como se observa en el caso del tequila. El alto nivel de familiaridad asociado al tequila probablemente refleja su relevancia cultural histórica y su amplia disponibilidad en México. De manera interesante, el mezcal ocupó el segundo lugar, lo cual podría explicarse por su creciente posicionamiento en el mercado y el aumento del interés de los consumidores por esta bebida en los últimos años, factores que han influido positivamente en la percepción del consumidor y estimulado su consumo (García-Barrón et al., 2017; García-Barrón, 2023).

En contraste, a pesar de que la raicilla se produce en la región geográfica donde se llevó a cabo el estudio, presentó un bajo nivel de familiaridad entre los consumidores. Esto podría reflejar la limitada difusión y exposición de esta bebida en el mercado (Nava-Cárdenas et al., 2024), lo cual constituye un factor clave en los procesos de compra y consumo (Chocarro et al., 2009). Finalmente, la bacanora fue el producto menos conocido, lo que podría estar relacionado con las restricciones históricas en su producción y comercialización (Casas-Medina & Salazar-Solano, 2014). Estas condiciones han afectado significativamente la visibilidad del producto, limitando la exposición del consumidor y, en consecuencia, su familiaridad (Salazar-Solano, 2007), tal como se refleja en nuestros resultados. En conjunto, estos hallazgos indican que la familiaridad es un factor relevante presente en la evaluación de los destilados de agave y debe considerarse al interpretar las respuestas de los consumidores.

7.3.3. Nivel de agrado en condición a ciegas, antes y después

Los datos obtenidos de las evaluaciones en cada condición se analizaron por separado para cada destilado. Los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 32. En general, las puntuaciones de agrado difirieron significativamente entre los productos ($F = 20.32$; $p < 0.0001$), formando dos grupos homogéneos. El grupo con mayores niveles de agrado correspondió a los destilados con mayor

familiaridad. De acuerdo con la prueba HSD de Tukey ($p \leq 0.05$), se observaron diferencias significativas en el agrado entre condiciones para algunos de los destilados, lo que indica que el orden de presentación de la información del producto influyó en la evaluación de los consumidores. No obstante, este efecto dependió del tipo de bebida, ya que no se observó de manera consistente en todos los destilados.

Cuadro 32. Valores medios de agrado por destilado y por condición.

Bebidas	Media general	Condición	F	Valor-p	Nivel de agrado
Bacanora	5.33 ± 1.76 B ^Y	Ciegas (C1)	10.23	< 0.0001	6.18 ± 1.90 a ^Z
		Antes (C2)			5.08 ± 1.72 b
		Después (C3)			4.74 ± 1.30 b
Mezcal	6.65 ± 1.82 A	Ciegas (C1)	12.51	< 0.0001	5.88 ± 1.97 b
		Antes (C2)			6.52 ± 1.51 b
		Después (C3)			7.56 ± 1.55 a
Raicilla	5.52 ± 1.89 B	Ciegas (C1)	3.15	0.0456	5.00 ± 2.34 b
		Antes (C2)			5.90 ± 1.79 a
		Después (C3)			5.68 ± 1.43 ab
Tequila	6.44 ± 1.98 A	Ciegas (C1)	9.25	0.0002	5.62 ± 1.78 b
		Antes (C2)			6.46 ± 2.20 ab
		Después (C3)			7.24 ± 1.61 a

^Y Las letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las medias generales del nivel de agrado ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

^Z Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre condiciones para cada bebida ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

En el caso de la bacanora, los valores más altos de agrado se observaron bajo la condición a ciegas, a pesar de que este destilado presentó el nivel de familiaridad más bajo entre los participantes. Este hallazgo resulta relevante y sugiere que, en ausencia de información contextual, la evaluación de los consumidores estuvo guiada principalmente por la experiencia sensorial directa, lo que es consistente con un predominio de procesos de tipo *bottom-up*. De acuerdo con Prescott (2004), los productos poco conocidos cuyas características

sensoriales resultan familiares para los consumidores pueden ser aceptados en determinados segmentos de mercado cuando estas se alinean con las preferencias gustativas existentes. Observaciones similares se han reportado en bebidas tradicionales emergentes con limitada exposición en el mercado (García-Barrón, 2023).

Cuando el nivel de agrado fue evaluado bajo las condiciones informadas (antes y después), las puntuaciones de agrado para la bacanora disminuyeron (ciegas > antes = después). Este patrón sugiere que la evaluación inicial estuvo dominada por procesos *bottom-up*, basados en la experiencia sensorial, mientras que la incorporación de información del producto moduló negativamente dicha evaluación. Este efecto podría explicarse de dos maneras. Por un lado, en la condición antes, la información previa puede generar inferencias cognitivas que posteriormente no se alinean completamente con la experiencia sensorial percibida (Deliza & MacFIE, 1996; Nacef et al., 2019; Piqueras-Fiszman & Spence, 2015). Por otro lado, considerando el bajo nivel de familiaridad con este destilado, los consumidores podrían no interpretar o contextualizar adecuadamente la información proporcionada, lo que conduce a evaluaciones hedónicas más bajas (Banović et al., 2012; Chocarro et al., 2009; Sáenz-Navajas et al., 2014). En la condición después, aunque la evaluación inicial se basa en la experiencia sensorial, la información recibida posteriormente introduce un componente *top-down* que puede reconfigurar la interpretación de dicha experiencia, contribuyendo igualmente a una reducción en el nivel de agrado de la bacanora.

En el caso del mezcal, se observó un patrón diferente. La experiencia de degustación influyó significativamente en la evaluación del nivel de agrado, ya que este fue mayor en la condición posterior a la degustación que en las otras condiciones (ciegas = antes < después). Este resultado sugiere que cuando los consumidores experimentan primero los atributos sensoriales y posteriormente reciben información contextual, se activan procesos *top-down* que modulan los

procesos *bottom-up*, reforzando la experiencia sensorial y conduciendo a un mayor nivel de agrado global (Chan, 2025). Este efecto podría estar asociado con el nivel de familiaridad, ya que cuando los consumidores están más familiarizados con un producto tienden a comprender mejor la información proporcionada, reorganizando su interpretación del producto y, en consecuencia, aumentando su nivel de agrado (Banović et al., 2012; Giacalone et al., 2015; Lazo et al., 2022; Lazo Zamalloa & García Barrón, 2024; Sáenz-Navajas et al., 2014).

En el caso de la raicilla, se observó un efecto de la condición antes (*top-down*) sobre la experiencia sensorial, donde las puntuaciones de agrado fueron mayores que en la condición a ciegas (ciegas < antes; ciegas = después; antes = después), mientras que la condición después no difirió significativamente de las otras. Estos resultados sugieren que la forma en que se presenta la información, particularmente en la condición antes, influye en la evaluación del producto. En contraste, la condición a ciegas presentó puntuaciones de agrado menores que la condición antes, pero similares a las de la condición después.

En conjunto, estos resultados indican que la información proporcionada antes de la degustación influyó en la evaluación de los consumidores, a pesar del bajo nivel de familiaridad con el producto. Una posible explicación es que las inferencias cognitivas generadas en la condición después fueron superadas por la experiencia sensorial en comparación con la condición a ciegas, posiblemente porque se trata de una bebida producida en la región donde se realizó el estudio, aun cuando los consumidores mostraron bajos niveles de familiaridad con ella. Esto reflejaría la importancia del lugar de origen en la valoración de productos locales. En este sentido, Verlegh & Steenkamp (1999) señalan que la región de origen influye en la percepción del consumidor de manera multidimensional, ya que interviene en aspectos cognitivos (creencias), afectivos (sentimientos y/o emociones) y normativos, lo cual puede ser particularmente relevante para bebidas producidas localmente pero menos conocidas.

En conjunto, estos resultados ponen de manifiesto que el efecto de la información sobre el nivel de agrado depende del producto y parece estar modulado por la familiaridad del consumidor, lo que respalda la idea de que los procesos *bottom-up* y *top-down* interactúan entre sí en lugar de operar de manera independiente.

En el caso del tequila, se observó un predominio de procesos *bottom-up*, con una presencia parcial de procesos *top-down* (ciegas = antes; ciegas < después; antes = después). La ausencia de diferencias significativas entre las condiciones a ciegas y antes indica que proporcionar información del producto antes de la degustación no modificó sustancialmente las evaluaciones iniciales basadas en la percepción sensorial de los consumidores. En contraste, la información proporcionada en la condición después influyó positivamente en la experiencia global. Este efecto podría atribuirse a un proceso de reinterpretación o reevaluación posterior, que involucra memoria y razonamiento, mediante el cual los consumidores integran la nueva información adquirida y ajustan en consecuencia su percepción y nivel de agrado (Chan, 2025; Saghravanian, 2025; Theeuwes, 2010).

En este contexto, los resultados muestran que la familiaridad desempeña un papel relevante en el nivel de agrado, como se ha observado en otros estudios (Banović et al., 2012; Choe & Hong, 2018; Kim et al., 2015; Logrén et al., 2025). Esto se debe a que los consumidores con un alto nivel de familiaridad pueden reconocer el producto con mayor facilidad, lo que reduce el tiempo y el esfuerzo cognitivo requeridos para evaluarlo, ya que cuentan con un marco de referencia basado en experiencias previas (Piqueras-Fiszman & Spence, 2015; Sinding et al., 2015; White et al., 2020), como ocurre en el caso del tequila. En términos generales, los resultados muestran que el orden en que se presentó la información de la bebida influyó en el nivel de agrado. Esto se debe a que los consumidores procesan la información de manera diferente a través de los procesos *top-down* y *bottom-up* (Behe et al., 2015; Chan, 2025; Proi et al., 2025).

Sin embargo, la influencia de estos procesos depende del producto y del nivel de familiaridad del consumidor con el mismo.

7.3.4. Respuestas emocionales

De acuerdo con la prueba de chi-cuadrada (X^2), se observó una diferencia significativa en el número de emoji seleccionados entre condiciones ($X^2(2) = 16.77, p < 0.0001$), lo que indica que la forma en que se presenta la información del producto influye en la selección de respuestas emocionales identificadas mediante emoji. Los resultados del perfil de frecuencia de uso de los emoji para cada condición se presentan en el Anexo 5. En la condición a ciegas (C1), 22 emojis presentaron una frecuencia de uso mayor al 2 %, mientras que 13 y 14 emojis alcanzaron este umbral en las condiciones antes (C2) y después (C3), respectivamente (Anexo 6).

Estos resultados indican que, en ausencia de información (C1), los participantes seleccionan una mayor diversidad de respuestas emocionales, incluyendo emociones positivas, neutrales y negativas. Por el contrario, cuando se proporciona información del producto (C2 y C3), la selección emocional se concentra en un conjunto más reducido de emoji. Este patrón es consistente con estudios previos que señalan que, en ausencia de información, las respuestas sensoriales están guiadas principalmente por procesos *bottom-up* derivados de la percepción directa de los atributos intrínsecos del producto (apariencia, aroma y sabor), lo que incrementa la variabilidad perceptual y emocional (Chan, 2025; Konuk, 2021; McRae et al., 2012). En contraste, cuando se proporciona información del producto (señales extrínsecas), se activan procesos *top-down*, los cuales pueden influir en la experiencia sensorial y tienden a concentrar las respuestas afectivas en patrones más homogéneos al guiar la interpretación cognitiva (Jaeger & Ares, 2017; König et al., 2016; Schifferstein & Desmet, 2010). Estos resultados demuestran que los procesos inducidos en cada condición configuraron las respuestas emocionales evocadas por los destilados. En este sentido, Gunaratne et al. (2019) señalan que la información del producto no solo

induce distintos tipos de emociones, sino que también influye el momento en que esta se presenta (antes o después), evidenciando que la información modula la experiencia emocional durante la evaluación sensorial de los destilados de agave (Hu & Lee, 2019; Schouteten et al., 2018).

De manera similar, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre condiciones en la intensidad promedio de los emojis seleccionados para cada destilado (Cuadro 33; Anexo 7). En el caso de la bacanora, particularmente las emociones positivas, 😊 alegre y 😊 contento, así como los emojis neutrales 😐 atrevido y 😐 preocupado, mostraron una mayor intensidad promedio en la condición a ciegas en comparación con las condiciones informadas.

Los resultados indican que, dado el bajo nivel de familiaridad de los participantes con este producto (media = 1.79), el orden de presentación de la información parece influir tanto en las respuestas emocionales como en el nivel de agrado. En este contexto, los productos menos familiares tienden a generar patrones emocionales más heterogéneos, lo que podría reflejar una mayor dependencia de las señales contextuales durante la evaluación (Chan, 2025; Konuk, 2021). Es decir, presentar la información antes o después de la evaluación podría reducir la respuesta emocional inicial. Esto refleja la activación de procesos cognitivos *top-down* relacionados con creencias, inferencias o juicios anticipatorios sobre la calidad del producto, particularmente en el caso de productos poco familiares (Pinto et al., 2020; Proi et al., 2025). En este sentido, emociones como 😐 atrevido y 😐 preocupado también mostraron mayor intensidad en la condición a ciegas (C1), lo que podría reflejar un componente de sorpresa, novedad o ambigüedad al evaluar un producto menos familiar, como sugieren Jaeger y Ares (2017).

Estos resultados respaldan la noción de que las respuestas emocionales hacia los destilados de agave surgen de la interacción entre procesos impulsados por

la percepción sensorial y procesos cognitivos, los cuales dependen del contexto informativo y del nivel de familiaridad del consumidor.

Cuadro 33. Comparación de medias de las puntuaciones promedio de los emojis significativos.

Bebida	Emoji	Condición		
		Ciegas (C1)	Antes (C2)	Después (C3)
Bacanora	😊 Feliz	4.68 ± 1.61 a ^z	3.57 ± 1.39 b	4.23 ± 0.85 ab
	😄 Alegre	4.61 ± 1.72 a	3.71 ± 1.15 b	3.65 ± 0.97 b
	😊 Contento	4.60 ± 1.30 a	3.83 ± 1.32 b	3.75 ± 0.98 b
	😌 Calmado	4.00 ± 1.85 a	3.23 ± 1.50 ab	2.71 ± 1.42 b
	😎 Buen carácter (Genial)	5.33 ± 1.57 a	4.49 ± 1.50 ab	3.89 ± 1.01 b
	😘 Afectivo	3.67 ± 1.55 a	1.90 ± 0.87 b	2.93 ± 1.57 ab
	😬 Atrevido	4.00 ± 1.34 a	2.50 ± 1.17 b	2.55 ± 1.29 b
	😓 Preocupado	4.11 ± 1.36 a	2.50 ± 1.31 b	2.00 ± 1.06 b
Mezcal	😊 Feliz	4.46 ± 1.60 b	5.08 ± 1.58 ab	5.77 ± 1.23 a
	😄 Alegre	4.56 ± 1.67 b	4.47 ± 1.77 b	6.00 ± 1.27 a
	😊 Contento	3.89 ± 1.60 b	4.69 ± 1.54 ab	5.55 ± 1.45 a
	😄 Satisfecho	4.38 ± 1.95 b	4.72 ± 2.21 ab	5.71 ± 1.76 a
	😄 Feliz (Alborotado)	4.15 ± 1.34 a	3.00 ± 1.30 ab	2.70 ± 1.05 b
	😮 Sorprendido	3.56 ± 1.75 b	4.81 ± 1.46 a	3.54 ± 1.28 b
Raicilla	😊 Contento	4.56 ± 1.56 a	3.68 ± 1.12 b	4.19 ± 0.98 ab
	😮 Sorprendido	3.44 ± 1.78 b	4.71 ± 1.55 a	4.03 ± 1.59 ab
	😬 Atrevido	3.91 ± 1.70 a	2.29 ± 1.26 b	2.25 ± 1.28 b
Tequila	😊 Feliz	4.00 ± 1.55 b	5.41 ± 1.60 a	5.43 ± 1.57 a
	😄 Alegre	3.84 ± 1.57 b	5.41 ± 1.34 a	5.24 ± 1.63 a
	😎 Buen carácter (Genial)	4.00 ± 1.79 b	5.32 ± 1.64 a	5.87 ± 1.38 a
	😮 Sorprendido	3.47 ± 1.92 b	6.16 ± 1.19 a	4.18 ± 1.41 b
	😡 Frustrado	2.83 ± 1.83 ab	3.75 ± 2.09 a	1.43 ± 0.78 b
	😞 Disgustado	3.50 ± 1.71 ab	4.19 ± 2.24 a	2.00 ± 1.5 b

^z Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre condiciones para cada emoji ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey).

En el caso del mezcal (Cuadro 33), la emoción positiva 😄 Alegre mostró una intensidad significativamente mayor en la condición después (C3) en comparación con las condiciones ciegas y antes. Otras emociones positivas (😊 Feliz, 😊 Contento, 😄 Satisfecho y 😄 Feliz (Alborotado)) presentaron diferencias y similitudes entre condiciones, lo que sugiere un patrón de respuesta

emocional difuso. El emoji neutral 😐 Sorprendido mostró una mayor intensidad en la condición antes (C2), lo que sugiere que la información proporcionada antes de la degustación genera inferencias sobre el producto. Esto podría explicarse por la familiaridad de los consumidores con el producto (media: 5.22) y por la representación social asociada al término “mezcal”, más que por sus características sensoriales específicas o por una experiencia directa de consumo (García-Barrón et al., 2017). Esto podría explicar por qué, en la condición a ciegas (C1), los participantes mostraron menores niveles de agrado y emociones positivas atenuadas: en ausencia de información, la evaluación depende principalmente del procesamiento de las características sensoriales del producto (proceso guiado por la percepción sensorial). Estudios previos han demostrado que la información extrínseca tiende a dominar sobre los atributos sensoriales intrínsecos al configurar las respuestas afectivas (Spence, 2024; Yang & Lee, 2020). Esto indica que el conocimiento del producto puede amplificar o atenuar ciertas emociones percibidas dependiendo de cómo y cuándo se activa durante la evaluación (Escandon-Barbosa & Rialp-Criado, 2019; King et al., 2013).

En el caso de la raicilla (Cuadro 33), el emoji neutral 😐 atrevido fue el único que presentó una mayor intensidad en la condición a ciegas (C1) en comparación con las condiciones informadas (C2 y C3), lo que sugiere que la evaluación estuvo predominantemente guiada por mecanismos *bottom-up* basados en la percepción directa de los atributos sensoriales intrínsecos del producto (Mora et al., 2018; Souza-Coutinho et al., 2020). En contraste, las emociones 😊 contento y 😲 sorprendido mostraron diferencias y similitudes entre las tres condiciones. Para 😊 contento, las comparaciones de medias indicaron $C1 > C2$, $C1 = C3$ y $C2 = C3$. De manera similar, para 😲 sorprendido, los resultados mostraron $C1 < C2$, $C1 = C3$ y $C2 = C3$. No obstante, 😲 sorprendido aumentó en la condición antes (C2) en comparación con la condición a ciegas (C1), lo que podría atribuirse a la activación de procesos cognitivos *top-down*. En este contexto, el hecho de que los participantes supieran que la muestra correspondía a un producto local

(región sierra de Jalisco), combinado con su bajo nivel de familiaridad con este destilado (media = 3.37), pudo haber generado cierto grado de incongruencia cognitiva entre las inferencias iniciales y la experiencia sensorial (Schiebler et al., 2025), lo cual se manifestó en un aumento de la intensidad reportada para este emoji. En conjunto, los resultados sugieren que, en el caso de la raicilla, la influencia de la información es limitada, predominando los procesos *bottom-up* en las respuestas emocionales frente al estímulo.

Finalmente, en el caso del tequila (Cuadro 33), los emoji asociados con emociones positivas como 😊 feliz, 😄 alegre y 🤩 buen carácter (Genial) mostraron puntuaciones significativamente más altas en las condiciones antes (C2) y después (C3) en comparación con la condición a ciegas (C1). Estos resultados sugieren que la información proporcionada activa mecanismos atencionales que modulan la respuesta afectiva. La interpretación de la información del producto que los consumidores pueden comprender tiende a favorecer respuestas emocionales positivas (Edwards et al., 2013; Mora et al., 2021). En este sentido, la atención actúa como un proceso mediador entre la información extrínseca y la experiencia sensorial, acentuando la percepción de olores y sabores y modulando tanto la evaluación hedónica como la intensidad de las emociones evocadas (White et al., 2020).

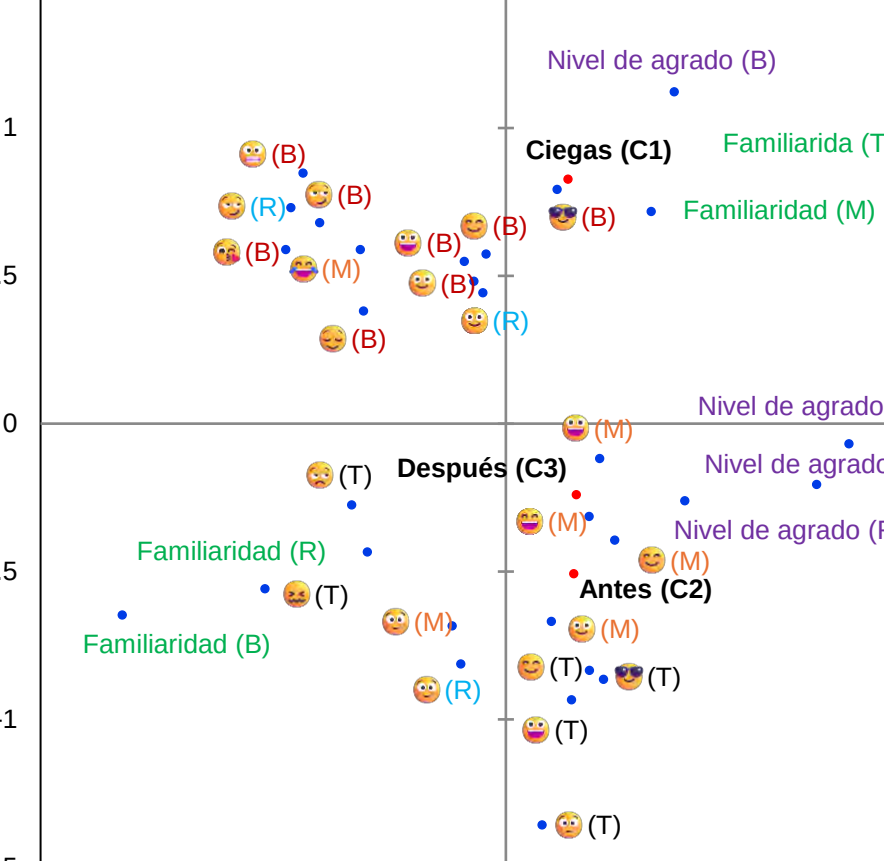
La consistencia en el incremento de las emociones positivas y del nivel de agrado en C3 y C2 puede atribuirse al alto nivel de familiaridad con el tequila (media: 7.04), asociado a su uso social, su amplio consumo, su presencia en los medios y su prestigio cultural (García-Barrón et al., 2017; Gómez-Cuevas et al., 2020). Esto facilita el procesamiento cognitivo y reduce la carga evaluativa, permitiendo que la información se integre de manera eficiente y favoreciendo tanto la reacción emocional como la reevaluación hedónica (Sinding et al., 2015). En contraste, las emociones negativas como 😞 frustrado y 🤢 disgustado mostraron mayor intensidad en la condición antes (C2). Esta respuesta probablemente refleja una falta de correspondencia entre la información

proporcionada antes de la degustación y las propiedades sensoriales percibidas durante la evaluación. Cuando la información del producto configura juicios iniciales que no se ven completamente respaldados por la experiencia sensorial, pueden surgir reacciones afectivas negativas. Este patrón es consistente con la influencia de procesos cognitivos *top-down* en las respuestas emocionales durante la evaluación de alimentos y bebidas (Schiebler et al., 2025).

7.3.5. Análisis multivariado de las respuestas emocionales, el nivel de agrado y la familiaridad

La idoneidad de los datos para el Análisis de Componentes Principales (ACP) se evaluó mediante la medida de Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett. El valor global de KMO fue de 0.68, superando el umbral recomendado de 0.60 (Kaiser, 1974; Salcedo et al., 2025), lo que indica una adecuación muestral aceptable. La prueba de esfericidad de Bartlett fue estadísticamente significativa ($\chi^2(g.l. = 3) = 48.16, p < 0.001$), lo que confirma la existencia de correlaciones suficientes entre las variables para justificar la aplicación del ACP.

Para examinar las relaciones entre las respuestas emocionales, el nivel de agrado, la condición de evaluación y la familiaridad, la estructura de los componentes principales se interpretó a partir de las dos primeras dimensiones (Figura 22). En conjunto, estos componentes explicaron el 94.40 % de la varianza total, donde el primer componente principal (CP1) explicó el 79.32 % y el segundo componente principal (CP2) el 15.08 %. Las coordenadas factoriales de las condiciones de evaluación mostraron que las tres condiciones se asociaron positivamente con el CP1, lo que indica que este componente capturó un gradiente general de agrado–familiaridad compartido entre las condiciones. El CP1 explicó la contribución conjunta del agrado y la familiaridad, separando claramente los destilados con mayor familiaridad (tequila y mezcal) de aquellos con menor familiaridad (raicilla y bacanora), los cuales se ubicaron en lados opuestos del componente. Esta configuración sugiere que el CP1 representa la



191

tequila) bajo las condiciones de degustación ciegas, con información previa y con información posterior.

El CP2 estuvo definido principalmente por las respuestas emocionales. Los emojis ubicados en la región positiva de este componente, como 😊 alegre, 😊 contento, 😎 buen carácter (Genial) y 😊 feliz para la bacanora, así como 😊 contento para la raicilla, se asociaron fuertemente con la condición de evaluación a ciegas (C1). Esta relación sugiere que, en ausencia de información, la evaluación estuvo predominantemente guiada por procesos *bottom-up*, impulsados principalmente por la percepción sensorial directa de los atributos del producto.

En contraste, las emociones situadas en la región negativa del CP2, como 😎 buen carácter (Genial), 😊 feliz, 😊 alegre y 😬 sorprendido para el tequila; 😬 sorprendido y 😊 contento para el mezcal; y 😬 sorprendido para la raicilla, se alinearon con las condiciones informadas, particularmente con la condición antes de la degustación (C2). La condición con información posterior (después, C3), aunque también presentó coordenadas negativas en el CP2, se ubicó más cerca del origen y mostró mayor proximidad con las variables de agrado global que con descriptores emocionales específicos de alta intensidad. Este patrón sugiere la intervención de procesos cognitivos *top-down*, mediante los cuales la información contextual reconfigura la interpretación sensorial y modula las respuestas afectivas.

En conjunto, el CP2 puede interpretarse como un eje de disonancia cognitiva, en el cual la integración anticipatoria de la información incrementa la carga evaluativa y modula las respuestas afectivas durante la degustación. Estos hallazgos respaldan la noción de que los procesos cognitivos y afectivos interactúan dinámicamente durante la evaluación de un producto, destacando el papel central del contexto informativo en la configuración de la percepción emocional y hedónica de los consumidores hacia las bebidas alcohólicas.

7.4. Conclusiones

Este estudio investigó cómo la interacción entre el procesamiento sensorial *bottom-up*, las influencias cognitivas *top-down* y la familiaridad del consumidor influyen en el nivel de agrado y en las respuestas emocionales hacia destilados tradicionales de agave bajo diferentes condiciones de información. Los resultados demuestran que la forma en que se presenta la información y el momento en que esta se proporciona influyen significativamente en las evaluaciones de los consumidores; sin embargo, estos efectos dependen del producto y están fuertemente modulados por la familiaridad.

En los distintos destilados, la condición a ciegas generó una mayor diversidad emocional, lo que sugiere que las evaluaciones realizadas sin información contextual están guiadas principalmente por la percepción sensorial. En contraste, proporcionar información del producto, ya sea antes o después de la degustación, tendió a reducir la diversidad de respuestas emocionales, indicando un mayor papel de la interpretación mediada cognitivamente. No obstante, la dirección y magnitud de estos efectos variaron entre los productos. Para bebidas con alta familiaridad, como el tequila, la información presentada después de la degustación incrementó el nivel de agrado y las emociones positivas; mientras que, para productos menos familiares como la bacanora y la raicilla, la información en algunos casos atenuó las respuestas guiadas por la experiencia sensorial.

Estos hallazgos respaldan la idea de que las respuestas de los consumidores hacia las bebidas alcohólicas surgen de interacciones dinámicas entre los procesos *bottom-up* y *top-down*, más que de la acción aislada de cada mecanismo. En particular, la familiaridad parece actuar como un modulador clave, influyendo en la forma en que los consumidores interpretan e integran la información del producto con la experiencia sensorial. Cuando la familiaridad es alta, la información contextual puede reforzar evaluaciones positivas; cuando es

baja, la misma información puede introducir incertidumbre o aumentar la carga cognitiva, modificando tanto los juicios hedónicos como la expresión emocional.

Desde una perspectiva metodológica, el uso de cuestionarios RATA basados en emojis demostró ser efectivo para captar respuestas emocionales matizadas bajo distintas condiciones de evaluación, lo que resalta su utilidad para estudiar reacciones afectivas tanto en productos tradicionales como emergentes. Desde una perspectiva aplicada, los resultados subrayan la importancia de una comunicación estratégica y de la adecuada temporalidad en la presentación de la información al posicionar bebidas espirituosas en el mercado, especialmente en el caso de productos con baja familiaridad entre los consumidores.

En general, este estudio contribuye a la comprensión de cómo la experiencia sensorial, los procesos cognitivos y la familiaridad influyen de manera conjunta en las respuestas de los consumidores hacia bebidas alcohólicas tradicionales. Investigaciones futuras deberían examinar con mayor detalle las señales informativas específicas que impulsan estos efectos y esclarecer los mecanismos cognitivos subyacentes en la evaluación del consumidor. Este estudio presenta algunas limitaciones. Aunque el tamaño de la muestra fue adecuado para los análisis realizados, fue relativamente limitado y no se basó en un diseño de muestreo por cuotas, lo que resultó en una distribución sociodemográfica no balanceada. Estudios futuros que incorporen muestras más amplias y demográficamente más equilibradas, así como contextos de producto más diversos, contribuirían a fortalecer la validez externa de estos resultados.

7.5. Bibliografía

- Alba, J. W., & Hutchinson, J. W. (1987). Dimensions of Consumer Expertise. *Journal of Consumer Research*, 13(4), 411. <https://doi.org/10.1086/209080>
- Apaolaza, V., Hartmann, P., Echebarria, C., & Barrutia, J. M. (2016). Organic label's halo effect on sensory and hedonic experience of wine: A pilot study. *Journal of Sensory Studies*, 32(1). <https://doi.org/10.1111/joss.12243>
- Bahena, L. (2024). Panorama de consumo de bebidas alcohólicas en México: Tendencias, retos y oportunidades. The Food-Tech.

- Banović, M., Fontes, M. A., Barreira, M. M., & Grunert, K. G. (2012). Impact of Product Familiarity on Beef Quality Perception. *Agribusiness*, 28(2), 157–172. <https://doi.org/10.1002/agr.21290>
- Behe, B. K., Bae, M., Huddleston, P. T., & Sage, L. (2015). The effect of involvement on visual attention and product choice. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 24(C), 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2015.01.002>
- Bruwer, J., Chrysochou, P., & Lesschaeve, I. (2017). Consumer involvement and knowledge influence on wine choice cue utilisation. *British Food Journal*, 119(4), 830–844. <https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2016-0360>
- Casas-Medina, E. V., & Salazar-Solano, V. (2014). La Industria Del Bacanora, Como Propuesta De Desarrollo Endógeno En La Región De Denominación De Origen. *Revista Global de Negocios*, 2(3), 39–58.
- Chan, J. (2025). AI-generated imagery in sustainable gastronomy tourism: A study from bottom-up to top-down processing. *Tourism Management*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2024.105093>
- Charness, G., Gneezy, U., & Kuhn, M. A. (2012). Experimental methods: Between-subject and within-subject design. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 81(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009>
- Chen, P. J., & Antonelli, M. (2020). Conceptual models of food choice: influential factors related to foods, individual differences, and society. *Foods*, 9(12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods9121898>
- Chocarro, R., Cortiñas, M., & Elorz, M. (2009). The impact of product category knowledge on consumer use of extrinsic cues – A study involving agrifood products. *Food Quality and Preference*, 20(3), 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.09.004>
- Choe, S. Y., & Hong, J. H. (2018). Can information positively influence familiarity and acceptance of a novel ethnic food? A case study of Korean traditional foods for Malaysian consumers. *Journal of Sensory Studies*, 33(3). <https://doi.org/10.1111/joss.12327>
- Choi, I., Lee, J. Y., & Lee, S. H. (2018). Bottom-up and top-down modulation of multisensory integration. *Current Opinion in Neurobiology*, 52, 115–122. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2018.05.002>
- Costall, A., & Morris, P. (2015). The “Textbook Gibson”: The assimilation of dissidence. *History of Psychology*, 18(1), 1–14. <https://doi.org/10.1037/a0038398>
- Dacremont, C., & Sester, C. (2019). Context in food behavior and product experience – a review. *Current Opinion in Food Science*, 27, 115–122. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.07.007>

- Deliza, R., & MacFIE, H. J. H. (1996). The generation of sensory expectation by external cues and its effect on sensory perception and hedonic ratings: A review. *Journal of Sensory Studies*, 11(2), 103–128. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1996.tb00036.x>
- Edwards, J. S. A., Hartwell, H. J., & Brown, L. (2013). The relationship between emotions, food consumption and meal acceptability when eating out of the home. *Food Quality and Preference*, 30(1), 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.04.004>
- Emogi Research Team. (2015). 2015 Emoji Report.
- Emojipedia. (2024). Smileys and people.
- Emojitracker. (2024). Realtime emoji use on twitter.
- Escandon-Barbosa, D., & Rialp-Criado, J. (2019). The Bidirectional Relationship Between Country Image and Product Evaluation: The Mediating Role of Brand Image and the Moderating role of Consumer Nationality. *Journal of International Consumer Marketing*, 31(1), 2–21. <https://doi.org/10.1080/08961530.2018.1466227>
- Fibri, D. L. N., & Frøst, M. B. (2020). Indonesian millennial consumers' perception of tempe – And how it is affected by product information and consumer psychographic traits. *Food Quality and Preference*, 80, 103798. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103798>
- Fidder, L., & Graça, J. (2023). Aligning cultivated meat with conventional meat consumption practices increases expected tastefulness, naturalness, and familiarity. *Food Quality and Preference*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104911>
- García-Barrón, S. E. (2023). Caracterización sensorial del mezcal: desde los aromas hasta las preferencias. *Los agaves y sus derivados: Tendencias científicas, uso sostenible y patrimonio*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.
- García-Barrón, S. E., Gonzalez-Hemon, G., Herrera López, E. J., Carmona-Escutia, R. P., Leyva-Trinidad, D. A., & Gschaedler, A. C. (2025). Prediction of the consumption of a traditional fermented beverage via an expanded model of the theory of planned behaviour. *British Food Journal*, 127(7), 2381–2398. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2024-0724>
- 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>
- García-Barrón, S. E., Gutiérrez-Salomón, A. L., Jaimez-Ordaz, J., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2021). Influence of expectations on the level of liking of a

- local coffee in Mexico. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(4), 1572–1578. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10776>
- García-Barrón, S. E., Hernández, J. 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, Agroindustria y Ruralidad*, 4(12), 138-162.
- García-Madariaga, J., Blasco López, M. F., Burgos, I. M., & Recuero Virto, N. (2019). Do isolated packaging variables influence consumers' attention and preferences? *Physiology and Behavior*, 200, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.04.030>
- Giacalone, D., Frøst, M. B., Bredie, W. L. P., Pineau, B., Hunter, D. C., Paisley, A. G., Beresford, M. K., & Jaeger, S. R. (2015). Situational appropriateness of beer is influenced by product familiarity. *Food Quality and Preference*, 39, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.06.012>
- Gómez-Cuevas, K., Delgado-Cruz, A., & Palmas-Castrejón, Y. D. (2020). Tequila Originality as a Symbol of Mexican Identity. Tourist-Consumer Perception from its Export. *Revista Iberoamericana de Viticultura Agroindustria y Ruralidad*, 7(21), 59–80. <https://doi.org/10.35588/rivar.v7i21.4638>
- Gunaratne, N. M., Fuentes, S., Gunaratne, T. M., Torrico, D. D., Francis, C., Ashman, H., Gonzalez Viejo, C., & Dunshea, F. R. (2019). Effects of packaging design on sensory liking and willingness to purchase: A study using novel chocolate packaging. *Heliyon*, 5(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01696>
- Gupta, M. K., Torrico, D. D., Ong, L., Gras, S. L., Dunshea, F. R., & Cottrell, J. J. (2022). Plant and Dairy-Based Yogurts: A Comparison of Consumer Sensory Acceptability Linked to Textural Analysis. *Foods*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/foods11030463>
- Gutjar, S., de Graaf, C., Kooijman, V., de Wijk, R. A., Nys, A., ter Horst, G. J., & Jager, G. (2015). The role of emotions in food choice and liking. *Food Research International*, 76, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.022>
- Hu, X., & Lee, J. (2019). Emotions elicited while drinking coffee: A cross-cultural comparison between Korean and Chinese consumers. *Food Quality and Preference*, 76, 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.08.020>
- Jaeger, S. R., & Ares, G. (2017). Dominant meanings of facial emoji: Insights from Chinese consumers and comparison with meanings from internet resources. *Food Quality and Preference*, 62, 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.04.009>
- Jaeger, S. R., Lee, P.-Y., & Ares, G. (2018). Product involvement and consumer food-elicited emotional associations: Insights from emoji questionnaires.

- Food Research International*, 106, 999–1011.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.024>
- Jaeger, S. R., Roigard, C. M., Jin, D., Vidal, L., & Ares, G. (2019). Valence, arousal and sentiment meanings of 33 facial emoji: Insights for the use of emoji in consumer research. *Food Research International*, 119, 895–907.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.074>
- Jaeger, S. R., Vidal, L., Kam, K., & Ares, G. (2017). Can emoji be used as a direct method to measure emotional associations to food names? Preliminary investigations with consumers in USA and China. *Food Quality and Preference*, 56, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.09.005>
- Jaeger, S. R., Xia, Y., Lee, P. Y., Hunter, D. C., Beresford, M. K., & Ares, G. (2018). Emoji questionnaires can be used with a range of population segments: Findings relating to age, gender and frequency of emoji/emoticon use. *Food Quality and Preference*, 68, 397–410.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.12.011>
- Kaiser, H. F. (1974). An Index Of Factorial Simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31–36.
- Kaneko, D., Toet, A., Brouwer, A.-M., Kallen, V., & van Erp, J. B. F. (2018). Methods for Evaluating Emotions Evoked by Food Experiences: A Literature Review. *Frontiers in Psychology*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00911>
- Kim, Y. K., Valentin, D., & Kim, K. O. (2015). Familiarity and liking playing a role on the perception of trained panelists: A cross-cultural study on teas. *Food Research International*, 71, 155–164.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.022>
- King, S. C., Meiselman, H. L., & Carr, B. T. (2010). Measuring emotions associated with foods in consumer testing. *Food Quality and Preference*, 21(8), 1114–1116. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.08.004>
- King, S. C., Meiselman, H. L., & Thomas Carr, B. (2013). Measuring emotions associated with foods: Important elements of questionnaire and test design. *Food Quality and Preference*, 28(1), 8–16.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.08.007>
- König, L. M., Giese, H., Schupp, H. T., & Renner, B. (2016). The environment makes a difference: The impact of explicit and implicit attitudes as precursors in different food choice tasks. *Frontiers in Psychology*, 7(AUG).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01301>
- Konuk, F. A. (2021). The moderating impact of taste award on the interplay between perceived taste, perceived quality and brand trust. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 63.
<https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102698>

- Lazo, O., Guerrero, L., & García-Barrón, S. E. (2022). Conceptualizing a Product with the Food-Related Lifestyle Instrument. *Foods*, 11(22), 3549. <https://doi.org/10.3390/foods11223549>
- Lazo Zamalloa, O., & García-Barrón, S. E. (2024). Aspectos socio-económicos del Agave-Mezcal. *Aspectos socio-económicos del Agave-Mezcal*. Universidad Tecnocientífica del Pacífico. pp. 131–149. <https://doi.org/10.58299/utp.187>
- Lebart, L., Piron, M., & Morineau, A. (2006). *Statistique exploratoire multidimensionnelle* (3rd ed.). Dunod.
- Lee, L., Frederick, S., & Ariely, D. (2006). Try It, You'll Like It The Influence of Expectation, Consumption, and Revelation on Preferences for Beer. *Psychol Sci*, 17(12). <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01829>
- Logrén, N., Pohjanheimo, T., Sandell, M., & Hopia, A. (2025). Old, new, or borrowed – the role of familiarity and cross-cultural recipe integration in the liking and choices of fish products. *Food Quality and Preference*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2025.105631>
- 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>
- Ma, Q., Abdeljelil, H. M., & Hu, L. (2019). The influence of the consumer ethnocentrism and cultural familiarity on brand preference: Evidence of event-related potential (ERP). *Frontiers in Human Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00220>
- Macfie, H. J., Bratchell, N., & Greenhoff, K. (1989). Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. *Journal of Sensory Studies*, 4: 129-148. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1989.tb00463.x>
- Marchini, A., Riganelli, C., Diotallevi, F., & Polenzani, B. (2021). Label information and consumer behaviour: evidence on drinking milk sector. *Agricultural and Food Economics*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-021-00177-5>
- McRae, K., Misra, S., Prasad, A. K., Pereira, S. C., & Gross, J. J. (2012). Bottom-up and top-down emotion generation: Implications for emotion regulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(3), 253–262. <https://doi.org/10.1093/scan/nsq103>
- Meyners, M., Jaeger, S. R., & Ares, G. (2016). On the analysis of Rate-All-That-Apply (RATA) data. *Food Quality and Preference*, 49, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.11.003>
- Mora, M., Dupas de Matos, A., Vázquez-Araújo, L., Puente, V., Hernando, J., & Chaya, C. (2021). Exploring young consumers' attitudes and emotions to sensory and physicochemical properties of different red wines. *Food*

- Mora, M., Urdaneta, E., & Chaya, C. (2018). Emotional response to wine: Sensory properties, age and gender as drivers of consumers' preferences. *Food Quality and Preference*, 66, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.12.015>
- Nacef, M., Lelièvre-Desmas, M., Symoneaux, R., Jombart, L., Flahaut, C., & Chollet, S. (2019). Consumers' expectation and liking for cheese: Can familiarity effects resulting from regional differences be highlighted within a country? *Food Quality and Preference*, 72, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.10.004>
- Nava-Cárdenas, J. Q., Palacios Rangel, M. I., Ocampo-Ledesma, J. G., Aguilar-Ávila, J., & Ortiz-Martínez, G. (2024). Cadena de valor y comercialización de la raicilla en el municipio de Mascota, Jalisco. *Textual*, 83, 1–40. <https://doi.org/10.5154/r.textual/2023.82.1>
- 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 (Switzerland)*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/su16198633>
- Penna, A. C. G., Durço, B. B., Pagani, M. M., Pimentel, T. C., Mársico, E. T., Silva, A. C. O., & Esmerino, E. A. (2022). Kefir with artificial and natural dyes: Assessment of consumer knowledge, attitude, and emotional profile using emojis. *Journal of Sensory Studies*, 37(2). <https://doi.org/10.1111/joss.12734>
- Pinto, V. R. A., Teixeira, C. G., Lima, T. S., De Almeida Prata, E. R. B., Vidigal, M. C. T. R., Martins, E., Perrone, Í. T., & de Carvalho, A. F. (2020). Health beliefs towards kefir correlate with emotion and attitude: A study using an emoji scale in Brazil. *Food Research International*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108833>
- Piqueras-Fiszman, B., & Jaeger, S. R. (2014). The impact of the means of context evocation on consumers' emotion associations towards eating occasions. *Food Quality and Preference*, 37, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.04.017>
- Piqueras-Fiszman, B., & Spence, C. (2015). Sensory expectations based on product-extrinsic food cues: An interdisciplinary review of the empirical evidence and theoretical accounts. *Food Quality and Preference*, 40(PA), 165–179. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.09.013>
- Prescott, J. (2004). Odor-Taste Interactions: Effects of Attentional Strategies during Exposure. *Chemical Senses*, 29(4), 331–340. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh036>

- Proi, M., Cubero-Dudinskaya, E., Gambelli, D., Naspetti, S., & Zanolì, R. (2025). Bottom-up and top-down factors influencing consumer responses to food labels: a scoping review of eye-tracking studies. *Agricultural and Food Economics*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-025-00382-6>
- Reis Rocha, L. C., Passos, L. P., Silas Souza, A. H., Amorim, K. A., Rodrigues, J. F., & Pinheiro, A. C. M. (2024). Association of emojis to the five basic tastes (sweet, salty, sour, bitter and umami). *Food Quality and Preference*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2024.105177>
- Sáenz-Navajas, M. P., Ballester, J., Peyron, D., & Valentin, D. (2014). Extrinsic attributes responsible for red wine quality perception: A cross-cultural study between France and Spain. *Food Quality and Preference*, 35, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.02.005>
- Saghravanian, S. J. (2025). Rethinking attention: A unified perspective on top-down and bottom-up processes. *Acta Psychologica*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105244>
- Saïdi, M., & Giraud, G. (2020). The differentiated effect of information on the sensorial appreciation of wine. *British Food Journal*, 122(8), 2639–2653. <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2019-0471>
- Salazar-Solano, V. (2007). La industria del bacanora: historia y tradición de resistencia en la sierra sonorenses. *Región y Sociedad*, 19(39), 105–133.
- Salcedo, J., Garza, A., Gandolfi, F., Gutierrez, M., & Trevino, B. (2025). The effect of emotional intelligence on work engagement: Validation of the Emotional Intelligence Self-Instrument for Latin America. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8(2), 1321–1330. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i2.5460>
- Schiebler, T., Lee, N., & Brodbeck, F. C. (2025). Expectancy-disconfirmation and consumer satisfaction: A meta-analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science*. <https://doi.org/10.1007/s11747-024-01078-x>
- Schifferstein, H. N. J., & Desmet, P. M. A. (2010). Hedonic asymmetry in emotional responses to consumer products. *Food Quality and Preference*, 21(8), 1100–1104. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.07.004>
- Schouteten, J. J., Verwaeren, J., Lagast, S., Gellynck, X., & De Steur, H. (2018). Emoji as a tool for measuring children's emotions when tasting food. *Food Quality and Preference*, 68, 322–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.03.005>
- Sick, J., Spinelli, S., Dinnella, C., & Monteleone, E. (2020). Children's selection of emojis to express food-elicited emotions in varied eating contexts. *Food Quality and Preference*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103953>

- Siegrist, M., & Cousin, M. E. (2009). Expectations influence sensory experience in a wine tasting. *Appetite*, 52(3), 762–765. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.02.002>
- Sinding, C., Coureaud, G., Bervialle, B., Martin, C., Schaal, B., & Thomas-Danguin, T. (2015). Experience shapes our odor perception but depends on the initial perceptual processing of the stimulus. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(5), 1794–1806. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0883-8>
- Souza-Coutinho, M., Brasil, R., Souza, C., Sousa, P., & Malfeito-Ferreira, M. (2020). Consumers Associate High-Quality (Fine) Wines with Complexity, Persistence, and Unpleasant Emotional Responses. *Foods*, 9(4), 452. <https://doi.org/10.3390/foods9040452>
- Spence, C. (2024). Cognitive influence on the evaluation of wine: The impact and assessment of price. *Food Research International*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114411>
- Spinelli, S., & Jaeger, S. R. (2019). What do we know about the sensory drivers of emotions in foods and beverages? *Current Opinion in Food Science*, 27, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.06.007>
- Spinelli, S., Masi, C., Zoboli, G. P., Prescott, J., & Monteleone, E. (2015). Emotional responses to branded and unbranded foods. *Food Quality and Preference*, 42, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.12.009>
- Spinelli, S., & Monteleone, E. (2018). Emotional Responses to Products. *Methods in Consumer Research*, 1, 261–296. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102089-0.00011-X>
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Torres-Salas, V., & Hernández-Montes, A. (2021). Respuestas emocionales en consumidores de queso de Zacazonapan y probabilidad de consumo durante maduración. *Agrociencia*, 55(3), 243–259. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i3.2416>
- van Zyl, H., & Chaya, C. (2021). Emotion in beverages. *Emotion Measurement*, 731–771. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821124-3.00023-5>
- Verlegh, P. W. J., & Steenkamp, J.-B. E. M. (1999). A review and meta-analysis of country-of-origin research. *Journal of Economic Psychology*, 20(5), 521–546. [https://doi.org/10.1016/S0167-4870\(99\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0167-4870(99)00023-9)
- Vidal, L., Ares, G., & Jaeger, S. R. (2016). Use of emoticon and emoji in tweets for food-related emotional expression. *Food Quality and Preference*, 49, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.12.002>
- Wang, Q. J., Mielby, L. A., Junge, J. Y., Bertelsen, A. S., Kidmose, U., Spence, C., & Byrne, D. V. (2019). The role of intrinsic and extrinsic sensory factors

- in sweetness perception of food and beverages: A review. *Foods*, 8(6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods8060211>
- White, T. L., Thomas-Danguin, T., Olofsson, J. K., Zucco, G. M., & Prescott, J. (2020). Thought for food: Cognitive influences on chemosensory perceptions and preferences. *Food Quality and Preference*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103776>
- Wongprawmas, R., Sogari, G., Gai, F., Parisi, G., Menozzi, D., & Mora, C. (2022). How information influences consumers' perception and purchasing intention for farmed and wild fish. *Aquaculture*, 547. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737504>
- Wu, H., Gonzalez Viejo, C., Fuentes, S., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2024). Assessing the influence of spontaneous fermentation on consumer emotional responses to roasted arabica coffee in a biometric approach. *Food Research International*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114973>
- Yang, J., & Lee, J. (2020). Current Research Related to Wine Sensory Perception Since 2010. *Beverages*, 6(3), 47. <https://doi.org/10.3390/beverages6030047>

8. CONCLUSIONES GENERALES

La presente investigación permitió abordar de manera integral el estudio de la raicilla como destilado tradicional, mediante la articulación de enfoques de caracterización fisicoquímica, sensorial y espectroscópica, evaluación ambiental y análisis del comportamiento del consumidor. En conjunto, los resultados evidencian que la raicilla es un producto altamente complejo cuya tipicidad y diferenciación están determinadas por la interacción entre la materia prima, el origen geográfico y los procesos de elaboración, así como por su composición química y atributos sensoriales.

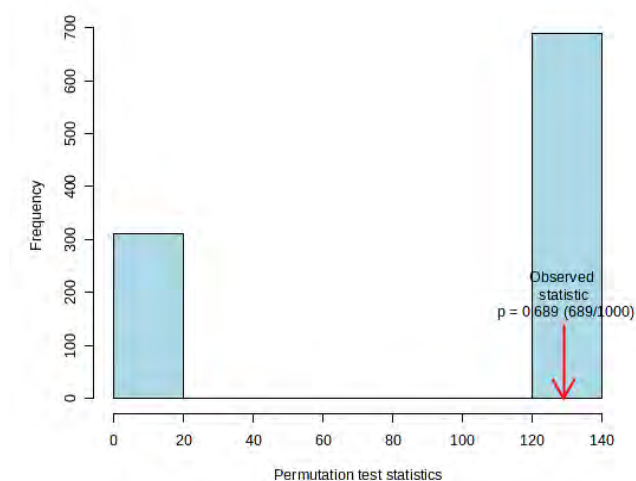
Desde el punto de vista analítico, se demostró que las metodologías convencionales resultan limitadas para una autenticación robusta, mientras que el uso de herramientas quimiométricas y técnicas como FT-NIR y GC-MS permite establecer huellas digitales químicas con alto potencial para la clasificación, trazabilidad y verificación de autenticidad del producto. Paralelamente, la evaluación sensorial confirmó la existencia de atributos característicos que contribuyen a la identidad del destilado, destacando la relevancia de los procesos tradicionales en la generación de perfiles más complejos y valorados por los consumidores.

En términos ambientales, el Análisis de Ciclo de Vida evidenció que la producción de raicilla presenta impactos comparables a otros destilados, identificando a las etapas térmicas, particularmente la destilación, como los principales puntos críticos debido al consumo intensivo de energía. Asimismo, se identificaron oportunidades claras de mejora asociadas a la eficiencia energética y a la gestión de residuos líquidos, lo que aporta una base científica para el diseño de estrategias orientadas a la sostenibilidad del sistema productivo.

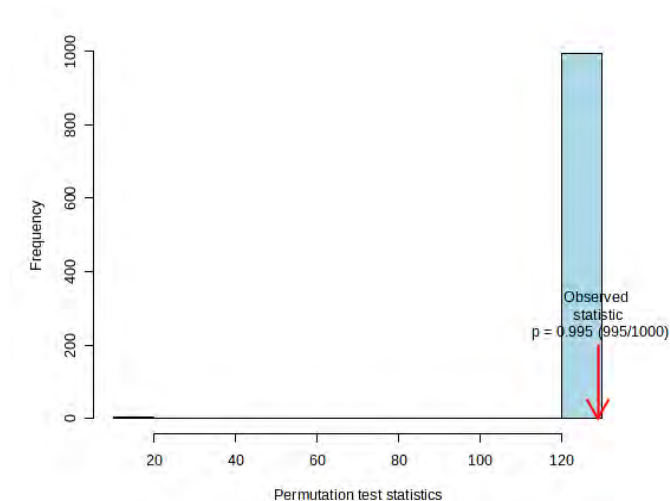
Por otra parte, el estudio del consumidor mostró que la percepción y valoración de la raicilla no dependen únicamente de sus atributos intrínsecos, sino también de factores extrínsecos como el origen, el proceso de producción y la información asociada al producto, los cuales influyen significativamente en la disposición a pagar. Adicionalmente, se evidenció que las respuestas emocionales y el nivel de agrado están determinados por la interacción dinámica entre procesos cognitivos bottom-up y top-down, siendo la familiaridad un factor clave en la forma en que los consumidores interpretan la información y construyen su experiencia de consumo.

En conjunto, esta investigación demuestra que la integración de enfoques químicos, sensoriales, ambientales, económicos y cognitivos permite generar una visión holística de la raicilla, aportando evidencia científica para su autenticación, valorización y posicionamiento en el mercado. Asimismo, los hallazgos contribuyen al desarrollo de estrategias orientadas a la sostenibilidad, la diferenciación del producto y la toma de decisiones tanto en el ámbito productivo como en el comercial, fortaleciendo el reconocimiento de la Raicilla como un destilado tradicional con identidad propia dentro del sistema agroalimentario.

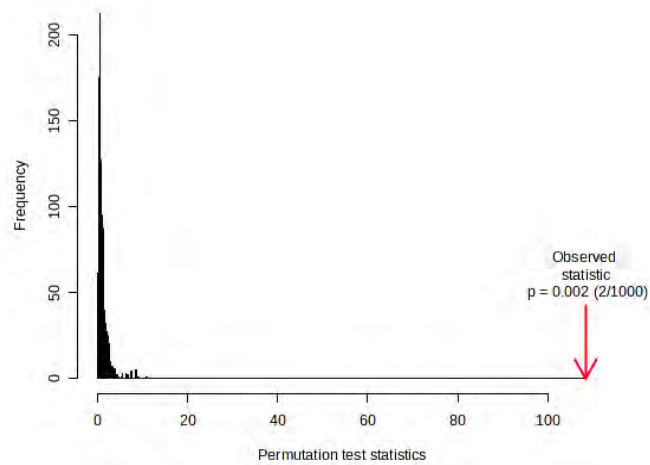
ANEXOS



Anexo 1. Prueba de permutaciones para datos obtenidos en NIR (clasificados por especie de agave), con una distancia de separación B/W y un conjunto de 1000 permutaciones con un nivel de confianza de al menos 95 %.



Anexo 2. Prueba de permutaciones para datos obtenidos en NIR (clasificados por región de producción), con una distancia de separación B/W y un conjunto de 1000 permutaciones con un nivel de confianza de al menos 95 %.



Anexo 3. Prueba de permutaciones para datos obtenidos en NIR (clasificados por proceso de elaboración), con una distancia de separación B/W y un conjunto de 1000 permutaciones con un nivel de confianza de al menos 95 %.

Anexo 4. Índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/).

Nombre	Fórmula	Pm	Muestra	Rt	Área	Score (lib)	IK	CAS ID	IK-NIST	Diferencia	Referencia IK-NIST
1-Butanol, 3-methyl-	C5H12O	88.089	CA-MTS	16.239	4463185	90.19	1215	123-51-3	1211	-4	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=123-51-3&Units=SI&cGC=on#ref-20 (Tatsuka, Suekane, et al., 1990) Polar column, temperature ramp
			DC-AAC	16.3	24406958	88.18	1217			-6.4	
			DG-MTS	16.309	28204512	87.57	1218			-6.8	
			LV-AAC	16.317	36262721	87.55	1218			-7.1	
			LD-MTS	16.339	37407821	87.38	1219			-8	
			LJ-ACS	16.235	1999860	77.03	1215			-3.8	
			RR-ATC	16.304	28207223	88.15	1218			-6.6	
			TS-MTS	16.27	21906323	86.88	1216			-5.2	
1-Butanol, 3-methyl-, acetate	C7H14O2	130.099	XO-ATC	16.288	22061780	87.15	1217	123-92-2	1126	-6	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=123-92-2&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Tatsuka, Suekane, et al., 1990) Polar column, temperature ramp
			CA-MTS	13.374	949480	82.45	1122			4.3	
			DC-AAC	13.373	1096579	80.78	1122			4.3	
			DG-MTS	13.382	6186356	84.45	1122			4	
			LV-AAC	13.392	6621905	84.77	1122			3.7	
			LD-MTS	13.369	3867804	83.25	1122			4.5	
			LJ-ACS	13.371	259585	75.48	1122			4.4	
			RR-ATC	13.381	2033479	81.88	1122			4	
1-Propanol, 2-methyl-	C4H10O	74.073	TS-MTS	13.392	2831664	81.43	1122	78-83-1	1108	3.7	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=78-83-1&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Rezende and Fraga, 2003) Polar column, custom temperature program
			XO-ATC	13.383	1853720	82.16	1122			4	
			CA-MTS	12.85	515821	84.5	1103			4.8	
			DC-AAC	12.881	6005003	98.76	1104			3.7	
			DG-MTS	12.88	7194248	98.73	1104			3.8	
			LV-AAC	12.866	9826418	99.64	1104			4.3	
			LD-MTS	12.9	10033893	99.49	1105			3	
			LJ-ACS	12.85	318257	89.77	1103			4.8	
			RR-ATC	12.867	6327630	99.58	1104			4.2	
			TS-MTS	12.826	5879771	98.33	1102			5.7	
			XO-ATC	12.851	2994093	93.93	1103			4.8	

Anexo 4. Índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/) (Continuación).

Nombre	Fórmula	Pm	Muestra	Rt	Área	Score (lib)	IK	CAS ID	IK-NIST	Diferencia	Referencia IK-NIST
Acetaldehyde diethyl acetal	C ₆ H ₁₄ O ₂	118.09	CA-MTS	7.141	2983302	88.92	887.5	105-57-7	886	-1.5	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=105-57-7&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Brander, Kepner, et al., 1980) Polar column, custom temperature program
			DC-AAC	7.136	7912161	88.97	887.2			-1.2	
			DG-MTS	7.131	3997516	88.21	887			-1	
			LV-AAC	7.138	3394954	88.21	887.4			-1.4	
			LD-MTS	7.133	3350660	88.14	887.1			-1.1	
			LJ-ACS	7.126	587386	85.33	886.7			-0.7	
			RR-ATC	7.13	1696229	87.65	886.9			-0.9	
			TS-MTS	7.128	3382904	88.58	886.8			-0.8	
Ethyl Acetate	C ₄ H ₈ O ₂	88.052	XO-ATC	7.131	2349665	87.96	887	141-78-6	884	-1	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=141-78-6&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Tatsuka, Suekane, et al., 1990) Polar column, temperature ramp
			CA-MTS	7.061	58809414	98.23	883			1	
			DC-AAC	7.019	19902356	99.28	880.6			3.4	
			DG-MTS	7.035	37271062	98.12	881.5			2.5	
			LV-AAC	7.04	47099691	98.05	881.8			2.2	
			LD-MTS	7.024	26049869	98.46	880.9			3.1	
			LJ-ACS	7.014	7196267	99.08	880.4			3.6	
			RR-ATC	7.025	15528989	98.71	881			3	
Hexanoic acid, ethyl ester	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.115	TS-MTS	7.026	38255850	92.69	881	123-66-0	1246	3	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=123-66-0&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Umano and Shibamoto, 1988) Polar column, temperature ramp
			XO-ATC	7.024	31431391	98.13	880.9			3.1	
			CA-MTS	16.795	805664	81.98	1237			9.2	
			DC-AAC	16.788	612352	80.96	1237			9.5	
			DG-MTS	16.792	1500542	84.51	1237			9.3	
			LV-AAC	16.807	2657441	86.79	1237			8.7	
			LD-MTS	16.789	2142028	86.35	1237			9.4	
			LJ-ACS	16.793	160702	81.73	1237			9.3	
			RR-ATC	16.801	1068977	84.12	1237			9	
			TS-MTS	16.804	1632100	84.11	1237			8.8	
			XO-ATC	16.804	1074107	83.81	1237			8.8	

Anexo 4. Índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/) (Continuación).

Nombre	Fórmula	Pm	Muestra	Rt	Área	Score (lib)	IK	CAS ID	IK-NIST	Diferencia	Referencia IK-NIST
Linalool	C10H18O	154.136	DC-AAC	23.21	486919	74.33	1550	78-70-6	1552	2.3	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=78-70-6+&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Tatsuka, Suekane, et al., 1990) Polar column, temperature ramp
			DG-MTS	23.21	2152301	83.26	1550			2.3	
			LV-AAC	23.202	1018571	70.92	1549			2.8	
			LD-MTS	23.212	2586342	84.01	1550			2.1	
			LJ-ACS	23.221	545292	83.21	1551			1.5	
			RR-ATC	23.214	274415	71.85	1550			2	
			TS-MTS	23.212	2156427	81.74	1550			2.1	
			XO-ATC	23.211	1618790	83.48	1550			2.2	
Acetic acid	C2H4O2	60.021	CA-MTS	21.641	5628418	97.68	1454	64-19-7	1447	-7.3	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=64-19-7+&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Garruti, Franco, et al., 2001) Polar column, custom temperature program
			DC-AAC	21.667	2353027	97.84	1456			-8.7	
			DG-MTS	21.673	1166565	96.95	1456			-9.1	
			LV-AAC	21.671	2160815	82.06	1456			-9	
			LD-MTS	21.661	3022100	97.51	1455			-8.4	
			LJ-ACS	21.685	503000	98.35	1457			-9.8	
			TS-MTS	21.647	4277494	97.68	1455			-7.6	
			XO-ATC	21.669	2322133	86.48	1456			-8.9	
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	C6H6O2	110.037	CA-MTS	23.821	725244	89.97	1589	620-02-0	1582	-7	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=620-02-0+&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Shimoda and Shibamoto, 1990) Polar column, temperature ramp
			DC-AAC	23.819	1549386	89.68	1589			-6.9	
			DG-MTS	23.823	881402	88.9	1589			-7.1	
			LD-MTS	23.817	526330	84.84	1589			-6.8	
			RR-ATC	23.823	250965	82	1589			-7.1	
			TS-MTS	23.818	419959	86.3	1589			-6.8	
			XO-ATC	23.823	1047977	87.99	1589			-7.1	
Decanoic acid, ethyl ester	C12H24O2	200.178	CA-MTS	24.595	513313	77.69	1646	110-38-3	1643	-3	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=110-38-3+&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Umano, Shoji, et al., 1986) Polar column, temperature ramp
			DC-AAC	24.576	2034802	88.99	1645			-1.6	
			DG-MTS	24.578	2632987	87.1	1645			-1.7	
			LV-AAC	24.574	8407538	89.95	1644			-1.4	
			LD-MTS	24.572	1906292	70.23	1644			-1.3	
			RR-ATC	24.594	1478443	81.17	1646			-2.9	
			TS-MTS	24.584	1022724	81.77	1645			-2.2	
			XO-ATC	24.583	2534762	83.12	1645			-2.1	

Anexo 4. Índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/) (Continuación).

Nombre	Fórmula	Pm	Muestra	Rt	Área	Score (lib)	IK	CAS ID	IK-NIST	Diferencia	Referencia IK-NIST
Furfural	C ₅ H ₄ O ₂	96.021	CA-MTS	21.985	2473263	98.34	1474	98-01-1	1467	-6.7	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=98-01-1&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Tatsuka, Suekane, et al., 1990) Polar column, temperature ramp
			DC-AAC	21.983	716120	98.13	1474			-6.6	
			DG-MTS	21.983	1399287	98.16	1474			-6.6	
			LV-AAC	21.982	809396	98.58	1474			-6.5	
			LD-MTS	21.98	588830	98.35	1473			-6.4	
			RR-ATC	21.98	138221	96.7	1473			-6.4	
			TS-MTS	21.983	621634	98.78	1474			-6.6	
			XO-ATC	21.984	858745	98.17	1474			-6.6	
Octanoic acid, ethyl ester	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172.146	CA-MTS	21.379	3935928	85.43	1439	106-32-1	1441	1.8	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=106-32-1&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Umano, Shoji, et al., 1986) Polar column, temperature ramp
			DC-AAC	21.377	6422252	85.36	1439			1.9	
			DG-MTS	21.386	13514678	86.19	1440			1.4	
			LV-AAC	21.404	23730989	85.92	1441			0.3	
			LD-MTS	21.373	16181397	86.39	1439			2.1	
			RR-ATC	21.38	6276464	85.77	1439			1.7	
			TS-MTS	21.384	9314648	86.47	1440			1.5	
			XO-ATC	21.382	8117287	85.71	1439			1.6	
1-Propanol	C ₃ H ₈ O	60.057	DG-MTS	11.115	731479	90.43	1048	71-23-8	1046	-1.6	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=71-23-8&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Castello, Vezzani, et al., 1991) Polar column, isothermal
			LV-AAC	11.115	1290731	84.65	1048			-1.6	
			LD-MTS	11.112	1400127	93.56	1048			-1.5	
			LJ-ACS	11.113	701397	94.12	1048			-1.5	
			RR-ATC	11.123	1141358	77.59	1048			-1.9	
			TS-MTS	11.106	1886079	88.43	1047			-1.3	
			XO-ATC	11.11	595281	93.43	1047			-1.4	
2,4-Pentadienoic acid, 1-cyclopenten-3-on-1-yl ester	C ₁₀ H ₁₀ O ₃	178.063	DC-AAC	18.22	1295297	67.43	1289	1000150-80-4			No encontrado en la base de Datos
			DG-MTS	18.225	697401	69.38	1289				
			LV-AAC	18.224	537444	65.93	1289				
			LD-MTS	18.229	680627	68.83	1290				
			RR-ATC	18.222	325075	63.67	1289				
			TS-MTS	18.222	398104	62.62	1289				
			XO-ATC	18.227	1281126	66.97	1290				

Anexo 4. Índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/) (Continuación).

Nombre	Fórmula	Pm	Muestra	Rt	Área	Score (lib)	IK	CAS ID	IK-NIST	Diferencia	Referencia IK-NIST
Butane, 1,1-diethoxy-3-methyl-	C9H20O2	160.146	CA-MTS	12.022	448168	84.64	1078	3842-03-3	1068	-9.5	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=+3842-03-3&Units=SI&cGC=on
			DC-AAC	12.035	406757	75.52	1078			-9.9	
			DG-MTS	12.023	408709	80.76	1078			-9.5	
			LV-AAC	12.033	4568137	93.45	1078			-9.8	
			LD-MTS	12.025	377216	80.63	1078			-9.6	
			TS-MTS	12.021	238939	70.57	1077			-9.4	
			XO-ATC	12.024	408361	72.95	1078			-9.5	
Methyl Alcohol	CH4O	32.026	DC-AAC	7.357	1479580	89.43	899.4	67-56-1	899	-0.4	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=67-56-1&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Shimadzu, 2003) Polar column, temperature ramp
			LV-AAC	7.344	1099074	69.36	898.7			0.3	
			LD-MTS	7.358	1219579	79.27	899.4			-0.4	
			LJ-ACS	7.359	72614	63.18	899.5			-0.5	
			RR-ATC	7.359	1034985	85.12	899.5			-0.5	
			TS-MTS	7.358	817215	63.28	899.4			-0.4	
			XO-ATC	7.364	783023	91.23	899.7			-0.7	
p-Cymene	C10H14	134.11	CA-MTS	17.751	365560	85.97	1273	99-87-6	1266	-6.5	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=99-87-6&Units=SI&cGC=on
			DC-AAC	17.747	554750	85.48	1272			-6.3	
			DG-MTS	17.749	494448	81.15	1272			-6.4	
			LV-AAC	17.762	1346231	85.97	1273			-6.9	
			LD-MTS	17.743	437989	82.69	1272			-6.2	
			TS-MTS	17.767	405222	77.75	1273			-7.1	
			XO-ATC	17.758	242255	81.51	1273			-6.7	
Propanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	C6H12O2	116.084	CA-MTS	8.986	762449	83.9	969.5	97-62-1	975	5.5	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=97-62-1&Units=SI&cGC=on#Gas-Chrom (Umano, Shoji, et al., 1986) Polar column, temperature ramp
			DG-MTS	8.992	378644	83.03	969.8			5.2	
			LD-MTS	9.006	286421	80.9	970.3			4.7	
			RR-ATC	9.023	219278	75.47	970.9			4.1	
			TS-MTS	8.981	623414	82.82	969.3			5.7	
			XO-ATC	8.987	246258	79.13	969.6			5.4	
1-Butanol, 2-methyl-	C5H12O	88.089	DG-MTS	16.202	7953177	82.77	1214	137-32-6	1211	-2.5	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=137-32-6&Units=SI&cGC=on
			LV-AAC	16.203	8887131	64.36	1214			-2.6	
			LD-MTS	16.217	12460009	83.23	1214			-3.1	
			TS-MTS	16.177	5112025	85.28	1213			-1.5	
			XO-ATC	16.193	6267034	82.74	1213			-2.2	

Anexo 4. Índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/) (Continuación).

Nombre	Fórmula	Pm	Muestra	Rt	Área	Score (lib)	IK	CAS ID	IK-NIST	Diferencia	Referencia IK-NIST
2H-Pyran, 2-ethenyltetrahydro-2,6,6-trimethyl-	C10H18O	154.136	CA-MTS	12.934	271810	66.16	1106	7392-19-0			Encontrado en la base de Datos, pero no el valor del IK
			DG-MTS	12.911	563390	69.11	1105				
			LV-AAC	12.93	472956	65.26	1106				
			TS-MTS	12.951	596722	76.71	1107				
			XO-ATC	12.937	732112	71.51	1106				
2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-	C4H10O2	90.068	DC-AAC	19.645	690645	81.83	1353	19132-06-0			Encontrado en la base de Datos, pero no el valor del IK
			LV-AAC	19.641	517044	73.28	1353				
			RR-ATC	19.645	926879	79.74	1353				
			XO-ATC	19.639	497961	74.43	1352				
Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene	C8H8	104.063	DC-AAC	17.432	2210550	86.25	1261	694-87-1	1263	2.2	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=694-87-1+&Units=SI&cGC=on
			LV-AAC	17.441	2123171	85.73	1261			1.8	
			RR-ATC	17.443	1053591	85.16	1261			1.8	
			XO-ATC	17.439	1049233	85.04	1261			1.9	
1,6-Heptadien-4-ol, 4-propyl-	C10H18O	154.136	DG-MTS	19.029	1301188	64.61	1324	52939-61-4			Encontrado en la base de Datos, pero no el valor del IK
			LD-MTS	19.026	617799	59.71	1324				
			TS-MTS	19.017	946655	68.1	1323				
2,4-Hexadienoic acid, ethyl ester	C8H12O2	140.084	DC-AAC	16.864	1337231	80.3	1240	110318-09-7			No encontrado en la base de Datos
			RR-ATC	16.865	253924	80.01	1240				
			XO-ATC	16.869	427028	72.48	1240				
3,4-Hexadienal, 2-butyl-2-ethyl-5-methyl-	C13H22O	194.167	LV-AAC	22.304	1086379	67.05	1491	23739-80-2			No encontrado en la base de Datos
		194.167	RR-ATC	22.303	238370	61.84	1491				
		194.167	XO-ATC	22.305	605186	67.21	1492				
Benzaldehyde	C7H6O	106.042	CA-MTS	23.087	166872	85.48	1542	100-52-7	1538	-3.7	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=100-52-7+&Units=SI&cGC=on
			DC-AAC	23.084	55459	57.14	1542			-3.5	
			LV-AAC	23.086	537495	68.61	1542			-3.6	
Butanoic acid, 3-methyl-, ethyl ester	C7H14O2	130.099	CA-MTS	11.794	770924	78.18	1070	108-64-5	1075	4.8	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=108-64-5+&Units=SI&cGC=on
			LJ-ACS	11.786	152149	82.98	1070			5.1	
			TS-MTS	11.798	662832	82.92	1070			4.7	
Ethyl lactate	C5H10O3	118.06	CA-MTS	19.643	681604	75.1	1353	687-47-8	1356	3.4	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=687-47-8+&Units=SI&cGC=on
			LJ-ACS	19.646	959138	82.67	1353			3.3	
			TS-MTS	19.638	1465595	82.67	1352			3.7	

Anexo 4. Índices de retención de Kovats (KRI) de cada compuesto, estos índices se compararon con los reportados en la base de datos del NIST (NIST:webbok.nist.gov/chemistry/) (Continuación).

Nombre	Fórmula	Pm	Muestra	Rt	Área	Score (lib)	IK	CAS ID	IK-NIST	Diferencia	Referencia IK-NIST
Propane, 1,1-diethoxy-2-methyl-	C8H18O2	146.131	CA-MTS	9.221	151666	71.49	978.4	1741-41-9	970	-8.4	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=1741-41-9&Units=SI&cGC=on
			DC-AAC	9.249	139338	66.19	979.4			-9.4	
			DG-MTS	9.228	216147	69.4	978.6			-8.6	
.alpha.-Terpineol	C10H18O	154.136	DC-AAC	25.5	240178	71.13	1716	98-55-5	1718	2	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=98-55-5&Units=SI&cGC=on
			LJ-ACS	25.52	176515	73.35	1716			2	
2,4-Dimethylstyrene	C10H12	132.094	DC-AAC	21.439	606069	73.58	1443	2234-20-0	1440	-2.7	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=2234-20-0&Units=SI&cGC=on
			XO-ATC	21.456	345412	75.32	1444			-3.7	
Benzene, 2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)-	C11H16O	164.12	LV-AAC	24.13	254934	76.68	1611	1076-56-8	1611	0.5	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=1076-56-8&Units=SI&cGC=on
			XO-ATC	24.135	452057	82.06	1611			0.2	
Butanoic acid, ethyl ester	C6H12O2	116.084	CA-MTS	10.857	4107650	84.79	1039	105-54-4	1040	1.4	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=105-54-4&Units=SI&cGC=on
			LJ-ACS	10.854	186767	71.15	1039			1.5	
Ethanone, 1-(2-furanyl)-	C6H6O2	110.037	DG-MTS	22.743	213653	70.26	1519	1192-62-7	1512	-7	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=1192-62-7&Units=SI&cGC=on
			LD-MTS	22.739	282723	74.81	1519			-6.7	
Styrene	C8H8	104.063	LD-MTS	17.424	404213	83.18	1261	100-42-5	1254	-6.5	https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=100-42-5&Units=SI&cGC=on
			TS-MTS	17.44	327762	83.81	1261			-7.1	

Anexo 5. Análisis comparativo de K proporciones por condición

Condición	Proporción	Grupos
C-1	0.334	A B
C-2	0.354	B
C-3	0.312	A

Anexo 6. Análisis comparativo de K proporciones de los emoji dentro de cada condición experimental.

Emojis	Ciegas (C1)	Condición Antes (C2)	Después (C3)
😞 Triste (Inconsolable)	0.4 a		0.2 ab
😭 Triste (Lloroso)	0.6 a	0.2 ab	0.1 a
😞 Triste (Deprimido)	0.7 a	0.3 abc	0.5 ab
😞 Triste (Avergonzado)	1.1 a	0.3 abc	0.6 ab
😞 Triste (Desesperado)	1.1 a	0.6 abcd	0.2 ab
😞 Triste (Cansado)	1.2 ab	0.3 abc	0.3 ab
😞 Triste (Nostálgico)	1.3 abc	0.1 a	0.8 abc
😡 Enojado (Molesto)	1.4 abcd	1.6 abcde	0.6 ab
😞 Aburrido (Frustrado)	1.6 abcde	0.4 abc	0.6 ab
😞 Aburrido	1.7 abcde	1.2 abcde	1.2 abc
😞 Triste (Decepcionado)	1.8 abcdef	1.5 abcde	1.0 abc
😞 Triste (Confundido)	2.0 abcdefg	1.1 abcde	0.5 ab
😞 Frustrado	2.0 abcdefg	3.5 cdefgh	2.4 abcde
😞 Tranquilo (Somnoliento)	2.0 abcdefgh	0.5 abc	1.1 abc
😞 Sorprendido (Asustado)	2.1 abcdefgh	0.8 abcde	0.9 abc
😍 Amoroso	2.5 abcdefgh	1.6 abcde	3.5 abcdefg
😞 Divertido (Repulsión)	2.5 abcdefgh	0.9 abcde	1.1 abc
😄 Divertido (Juguetón)	2.6 abcdefgh	1.1 abcde	1.1 abc
😄 Divertido (Bobo)	2.6 abcdefgh	1.1 abcde	1.8 abcd
😞 Preocupado	2.9 abcdefgh	4.3 defghi	2.0 abcd
😄 Divertido (Coqueto)	3.1 abcdefgh	1.2 abcde	1.7 abcd
😄 Divertido (Travieso)	3.3 abcdefgh	1.2 abcde	1.4 abcd
😄 Feliz (Alborotado)	3.4 abcdefgh	2.3 abcdef	2.8 abcde
😞 Disgustado	3.4 abcdefgh	4.5 efghi	3.2 abcdef
😍 Afectivo	3.4 abcdefgh	2.2 abcdef	4.9 cdefg
😞 Atrevido	3.6 abcdefgh	3.4 bcdefg	3.8 bcdefg
😞 Calmado	5.8 bcdefgh	6.6 fghi	6.3 defg
😞 Sorprendido	5.9 cdefgh	10.2 i	8.1 efg
😄 Buen carácter (Genial)	6.2 defgh	8.9 ghi	9.1 fg
😄 Satisfecho	6.5 efgh	10.2 i	9.9 g
😄 Feliz	6.9 fgh	9.4 hi	9.8 g
😄 Alegre	7.2 gh	9.2 ghi	9.0 fg
😄 Contento	7.3 h	9.4 hi	9.6 fg

Anexo 7. Comparación de medias de las puntuaciones promedio de los emoji significativos.

Grupo	Emoji	Bacanora		
		Ciegas (C1)	Antes (C2)	Después (C3)
Valencia positiva	😊 Feliz	4.68 a^z	3.57 b	4.23 ab
	😄 Alegre	4.61 a	3.71 b	3.65 b
	😌 Satisfecho	4.31 a	3.97 a	3.74 a
	😍 Amoroso	3.92 a	2.17 a	3.15 a
	😊 Contento	4.60 a	3.83 b	3.75 b
	😌 Calmado	4.00 a	3.23 ab	2.71 b
	😎 Buen carácter (Genial)	5.33 a	4.49 ab	3.89 b
	😜 Divertido (Repulsión)	4.78 a	3.33 a	3.33 a
	😜 Divertido (Travieso)	3.43 a	3.29 a	3.00 a
	😜 Divertido (Coqueto)	3.80 a	2.75 a	3.00 a
	😘 Afectivo	3.67a	1.90 b	2.93 ab
	😜 Divertido (Bobo)	3.70 a	3.00 a	3.60 a
	😂 Feliz (Alborotado)	3.88 a	2.63 a	2.87 a
Valencia neutral/disperso	😬 Preocupado	4.11 a	2.50 b	2.00 b
	😴 Tranquilo (Somnoliento)	3.57 a	2.00 a	4.00 a
	😮 Sorprendido	4.14 a	5.02 a	4.29 a
	😬 Atrevido	4.00 a	2.50 b	2.55 b
	😄 Divertido (Juguetón)	4.12 a	3.20 a	3.00 a
	😮 Sorprendido (Asustado)	4.00 a	3.40 a	2.33 a
Valencia negativa	😞 Triste (Confundido)	4.14 a	3.40 a	2.00 a
	😡 Frustrado	5.50 a	4.00 a	2.31 a
	😡 Disgustado	3.83 a	3.28 a	2.20 a

^z Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre condiciones para cada emoji ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

Anexo 7. Comparación de medias de las puntuaciones promedio de los emoji significativos (Continuación).

Grupo	Emoji	Mezcal		
		Ciegas (C1)	Antes (C2)	Después (C3)
Valencia positiva	😊 Feliz	4.46 b^z	5.08 ab	5.77 a
	😄 Alegre	4.56 b	4.47 b	6.00 a
	😁 Satisfecho	4.38 b	4.72 ab	5.71 a
	😍 Amoroso	3.57 a	3.56 a	3.93 a
	😊 Contento	3.89 b	4.69 ab	5.55 a
	😌 Calmado	4.26 a	3.79 a	4.33 a
	😎 Buen carácter (Genial)	5.00 a	5.25 a	5.89 a
	😜 Divertido (Repulsión)	3.82 a	3.20 a	2.75 a
	😝 Divertido (Travieso)	3.69 a	3.33 a	2.17 a
	😏 Divertido (Coqueto)	3.40 a	3.00 a	3.50 a
	😘 Afectivo	3.39 a	2.20 a	3.87 a
	😂 Divertido (Bobo)	3.67 a	3.67 a	4.00 a
	😄 Feliz (Alborotado)	4.15 a	3.00 ab	2.70 b
Valencia neutral/disperso	😬 Preocupado	4.00 a	3.36 a	2.83 a
	😴 Tranquilo (Somnoliento)	3.63 a	3.00 a	4.33 a
	😲 Sorprendido	3.56 b	4.81 a	3.54 b
	😏 Atrevido	3.60a	2.73 a	2.85 a
	😄 Divertido (Juguetería)	3.40 a	3.50 a	2.50 a
	😱 Sorprendido (Asustado)	4.78 a	7.00 a	3.67 a
Valencia negativa	😞 Triste (Confundido)	3.40 a	4.67 a	4.50 a
	😡 Frustrado	3.75 a	2.71 a	2.25 a
	😠 Disgustado	3.10 a	2.82 a	4.50 a

^z Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre condiciones para cada emoji ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

Anexo 7. Comparación de medias de las puntuaciones promedio de los emoji significativos (Continuación).

Grupo	Emoji	Raicilla		
		Ciegas (C1)	Antes (C2)	Después (C3)
Valencia positiva	😊 Feliz	4.42 a ^z	4.32 a	4.67 a
	😄 Alegre	4.69 a	4.03 a	4.35 a
	😌 Satisfecho	3.72 a	4.11 a	4.17 a
	😍 Amoroso	4.43 a	2.50 a	3.90 a
	😊 Contento	4.56 a	3.68 b	4.19 ab
	😌 Calmado	3.36 a	3.14 a	2.94 a
	😎 Buen carácter (Genial)	4.45 a	4.56 a	4.36 a
	😜 Divertido (Repulsión)	3.50 a	2.25 a	3.25 a
	😝 Divertido (Travieso)	4.78 a	2.67 a	3.67 a
	😏 Divertido (Coqueto)	4.43 a	3.00 a	3.60 a
	😘 Afectivo	3.89 a	2.57 a	3.58 a
	😝 Divertido (Bobo)	3.57 a	3.00 a	3.25 a
	😂 Feliz (Alborotado)	4.71 a	3.16 a	3.38 a
Valencia neutral/disperso	😐 Preocupado	3.14 a	3.40 a	2.33 a
	😴 Tranquilo (Somnoliento)	2.86 a	2.67 a	2.67 a
	😲 Sorprendido	3.44 b	4.71 a	4.03 ab
	😏 Atrevido	3.91 a	2.29 b	2.25 b
	😄 Divertido (Juguetón)	4.67 a	2.50 a	3.86 a
	😱 Sorprendido (Asustado)	4.88 a	5.00 a	2.40 a
Valencia negativa	😞 Triste (Confundido)	3.50 a	2.00 a	2.00 a
	😡 Frustrado	2.08 a	3.55 a	2.00 a
	😠 Disgustado	2.23 a	3.17 a	2.00 a

^z Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre condiciones para cada emoji ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

Anexo 7. Comparación de medias de las puntuaciones promedio de los emoji significativos (Continuación).

Grupo	Emoji	Tequila		
		Ciegas (C1)	Antes (C2)	Después (C3)
Valencia positiva	😊 Feliz	4.00 b^z	5.41 a	5.43 a
	😄 Alegre	3.84 b	5.41 a	5.24 a
	😊 Satisfecho	3.88 a	4.62 a	5.08 a
	😍 Amoroso	2.88 a	3.43 a	4.00 a
	😊 Contento	4.28 a	5.13 a	5.27 a
	😌 Calmado	3.74 a	4.00 a	3.48 a
	😎 Buen carácter (Genial)	4.00 b	5.32 a	5.87 a
	😜 Divertido (Repulsión)	3.86 a	3.00 a	2.67 a
	😝 Divertido (Travieso)	3.46 a	4.00 a	3.20 a
	😏 Divertido (Coqueto)	3.08 a	3.40 a	3.38 a
	😘 Afectivo	3.27 a	2.33 a	4.33 a
	😂 Divertido (Bobo)	4.00 a	4.00 a	3.00 a
	😂 Feliz (Alborotado)	3.83 a	4.08 a	3.09 a
Valencia neutral/disperso	😬 Preocupado	3.42 a	4.55 a	2.75 a
	😴 Tranquilo (Somnoliento)	3.71 a	3.50 a	3.67 a
	😮 Sorprendido	3.47 b	6.16 a	4.18 b
	😏 Atrevido	3.00 a	2.33 a	3.00 a
	😄 Divertido (Juguetería)	3.00 a	3.00 a	3.67 a
	😱 Sorprendido (Asustado)	4.50 a	4.67 a	2.00 a
Valencia negativa	😞 Triste (Confundido)	3.61 a	4.50 a	1.50 a
	😡 Frustrado	2.83 ab	3.75 a	1.43 b
	😡 Disgustado	3.50 ab	4.19 a	2.00 b

^z Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre condiciones para cada emoji ($p \leq 0.05$), de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.