



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE MEZCALES
ARTESANALES E INDUSTRIALES.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERIA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

JIMÉNEZ BASTIDA ROBERTO

ASESORAS:

DRA. MARÍA ANDREA TREJO MÁRQUEZ

M. EN C. SELENE PASCUAL BUSTAMANTE

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Comparación de la calidad de mezcales artesanales e industriales.

Que presenta el pasante: **Roberto Jiménez Bastida**

Con número de cuenta: **305283618** para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 12 de Febrero de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
VOCAL	Dra. Carolina Moreno Ramos	
SECRETARIO	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
1er. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
2do. SUPLENTE	M. en C. Enrique Fuentes Prado	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por darme la oportunidad de ser parte de uno más de sus egresados.

A mis padres, en primer lugar por darme este maravilloso don que es la vida, y en segundo lugar, porque sé que siempre puedo contar con ellos. Estoy infinitamente agradecido por apoyarme durante todo este tiempo y este logro se los debo a ellos, porque gracias a ustedes lo he podido concluir, este es uno más de muchos que tendremos juntos.

A mi hermano, que me ha dado vivencias buenas y malas, pero mientras esta vida nos lo permita, siempre estaremos juntos para seguir asiéndolas.

A la doctora Andrea Trejo y a la maestra en ciencias Selene Pascual, por soportarme durante este tiempo y abrirme las puertas durante la etapa en la que todos me las cerraron, estaré siempre muy agradecido con ustedes.

Quiero agradecer a la señora Alfonso, porque cuando más turbio fue mi panorama, con sus consejos no me dejó tirar la toalla.

Finalmente quiero agradecer a Tania, por todo el apoyo que me ha brindado en esta última etapa.



ÍNDICE DE GENERAL

1	Antecedentes	5
1.1	Generalidades del Agave	5
1.1.1	Morfología y clasificación taxonómica.	6
1.1.2	Distribución geográfica	8
1.1.3	Importancia económica	9
1.1.4	Usos del agave.....	10
1.1.5	Composición química	14
1.2	El Mezcal.	14
1.2.1	Origen.	16
1.2.2	Proceso de elaboración del Mezcal.....	18
1.3	Compuestos volátiles presentes en bebidas alcohólicas destiladas de agave.	26
1.3.1	Etanol.....	27
1.3.2	Extracto seco.....	28
1.3.3	Alcoholes superiores	28
1.3.4	Metanol	30
1.3.5	Aldehídos	31
1.3.6	Ésteres.....	32
1.3.7	Furfural.....	33
1.4	Importancia económica del mezcal.	34
1.5	Legislación de bebidas alcohólicas	35



1.5.1	NOM-070-SCFI- 1994	35
1.5.2	NOM-142-SSA-1995.	41
1.5.3	NOM-006-SCFI-2005.	42
2	Objetivos.....	45
3	Materiales y métodos	47
3.1	Secuencia metodológica	47
3.2	Evaluación de los parámetros químicos y fisicoquímicos en los mezcales artesanales e industriales.	49
3.3	Evaluación de la información del etiquetado.	50
3.4	Técnicas analíticas.	50
3.4.1	Parámetros químicos.....	50
3.4.2	Parámetros fisicoquímicos	52
3.5	Análisis estadístico	57
4	Resultados y discusión	59
4.1	Verificación del etiquetado de las botellas	59
4.2	Efecto del tipo de proceso, en la elaboración del mezcal sobre los parámetros fisicoquímicos y químicos	61
4.3	Parámetros fisicoquímicos	61
4.4	Parámetros químicos	71
	Conclusiones.	75
	Recomendaciones.	77
	Referencias.....	79



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de la diosa Mayahuel..... 5

Figura 2. Morfología del Agave. 7

Figura 3. Diversidad de agave en la República Mexicana. 9

Figura 4. Producción nacional del Agave durante 2013. 10

Figura 5. Principales variedades de agave utilizada como materia prima para producir mezcal..... 13

Figura 6. Diagrama de bloques para la elaboración de mezcal. 20

Figura 7. Estados incluidos en la denominación de origen del mezcal. 38

Figura 8. Ejemplo del holograma otorgado por el COMERCAM a los productores certificados..... 40

Figura 9. Mezcales artesanales..... 48

Figura 10. Mezcales industriales. 48

Figura 11. Tubos de ensayo para la determinación de furfural en donde: A) Curva patrón e B) Muestras..... 51

Figura 12. Material y equipo para la determinación del contenido alcohólico en donde: A) Equipo de destilación e B) Alcoholímetro para la medición del porcentaje de alcohol. 52

Figura 13. Material y equipo para la determinación de extracto seco en donde: A) Estufa de secado e B) Crisoles con la muestra seca..... 53

Figura 14. Determinación de aldehídos: A) Antes de la titulación B) Después de la titulación..... 54



Figura 15. Determinación de alcoholes superiores: A) Curva patrón B) Muestras.55

Figura 16. Determinación de ésteres: A) Ebullición de las muestras, B) Muestra antes de la titulación, C) Muestra después de la titulación. 56

Figura 17. Contenido alcohólico en mezcales; A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$ 61

Figura 18. Extracto seco en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$ 63

Figura 19. Contenido de alcoholes superiores en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$ 65

Figura 20. Contenido de aldehídos en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$ 67

Figura 21. Contenido de ésteres en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$ 69

Figura 22. Evaluación del pH en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$ 71

Figura 23. Contenido de furfural en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$ 72



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales usos que se les da a varias especies de Agave, productos y parte de la planta empleada..... 12

Tabla 2. Composición química de especies de agave utilizadas en la elaboración de bebidas alcohólicas: A. potatorum, A. tequila, A. salmiana..... 14

Tabla 3. Abocado de mezcal..... 16

Tabla 4. Formas de producción de mezcal en Oaxaca..... 19

Tabla 5. Diferentes niveles de intoxicación por etanol..... 27

Tabla 6. Clasificación de los mezcales de acuerdo a su maduración. 36

Tabla 7. Especificaciones del mezcal..... 37

Tabla 8. Especificaciones para bebidas alcohólicas destiladas..... 42

Tabla 9. Especificaciones del tequila. 42

Tabla 10. Códigos para la identificación de las botellas. 49

Tabla 11. Etiquetado de mezcales artesanales..... 59

Tabla 12. Etiquetado de mezcales industriales. 60



RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del proceso de elaboración del mezcal, artesanal e industrial, en los parámetros químicos (furfural), fisicoquímicos (contenido alcohólico, extracto seco, alcoholes superiores, aldehídos, ésteres y pH) a través de técnicas analíticas para evaluar la calidad de los productos.

Los mezcales analizados fueron adquiridos en dos sectores diferentes, los mezcales comercializados por pequeños productores que ofertan sus productos en pequeñas tiendas locales del estado de Oaxaca, los cuales se identificaron como artesanales (Benevá, Matateco, Recuerdo de Oaxaca, Sentimental y Don agave) y los mezcales producidos por empresas, que comercializan sus productos en la ciudad de México que fueron identificados como industriales (Huipil, Jaral de Berrio, El Señorío, Zignum, Gusano rojo y Fandango). Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias aplicando un nivel de significancia del 5%, mediante el programa estadístico SPSS versión 15.8.

A los mezcales estudiados se les realizó la verificación del etiquetado de las botellas con respecto a los lineamientos que marca la norma NOM-070-SCFI-1994, encontrándose que ninguno de los mezcales artesanales cumple con lo establecido por dicha norma. Con respecto a los análisis realizados los mezcales artesanales presentaron más extracto seco, esterres y pH en comparación con los mezcales industriales, siendo el más alto el mezcal Juchiteco con 2.04 g/L extracto seco, y para esterres con 68.75 mg de acetato /100 ml de a.a. mientras que en pH fue Recuerdo de Oaxaca con 7.68. Los mezcales industriales presentaron mayor contenido de alcoholes superiores (El Señorío 348.58 mg de aceite de fusel/100 ml de a.a), aldehídos (Gusano Rojo 58.97 mg acetaldehído/ 100 ml de a.a) y furfural (Fandango 3.22 mg furfural/ 100 mL de a.a). Con lo que respecta a este último parámetro, era de importancia determinar su contenido, ya que se consideró un indicador de calidad. Por lo que se observó que existe un efecto por el procesamiento del mezcal, sin embargo, las muestras estudiadas en este trabajo cumplieron con los intervalos establecidos por la norma mexicana.



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

El mezcal es un destilado de la planta de agave, de la cual sólo se utilizan algunas variedades de las 136 que existen en México. Es una bebida alcohólica regional obtenida por destilación y rectificación de mostos preparados directa y originalmente con los azúcares extraídos de las cabezas maduras de los agaves, previamente hidrolizadas o cocidas, y sometidas a fermentación alcohólica con levaduras, siendo susceptible de ser enriquecido, con hasta un 20% de otros carbohidratos en la preparación de dichos mostos (NOM-070-SCFI-1994; Martínez, 2008).

La producción de mezcal en México es una actividad que se realiza principalmente en los estados de Oaxaca, Durango, Zacatecas, Guerrero, San Luis Potosí, Tamaulipas, y Guanajuato; en tierras de agricultura de temporal. Distribuidos en casi una tercera parte del territorio nacional, sobre todo durante la época de estiaje, más de una decena de especies de agave cultivados y recolectados se convierten en mezcal (Valenzuela, 2007).

El mezcal ha tomado una nueva fuerza en el mercado, aunque en México no es bien aceptado por que se le identifica como una bebida de campesinos, de mala calidad y fácil de adulterar, lo cual fue cierto en una época. Sin embargo, las exigencias comerciales han hecho que la producción se industrialice. En el extranjero es bien recibido, además de que hoy existe mucha regulación para la producción de dicho producto (Martínez, 2008).

El proceso de obtención del mezcal comienza con el cultivo del agave. Se cortan una a una las hojas, a lo que queda de la planta se le llama piña, y este es el corazón del agave, que contiene los azúcares que se utilizarán para obtener el mezcal. Las piñas son transportadas al palenque o a la fábrica. Ahí, después de dividir las, se procede a hornearlas para su cocción, en hornos de adobe o piedra,



o en modernas autoclaves. Ya cocidas las piñas, se procede a su desmenuzamiento o desgarre, con machetes, o con máquinas, para luego someter el material a la molienda, que puede hacerse en una serie de molinos industriales o en molinos rústicos que utilizan la tracción humana o animal. Los jugos obtenidos en este proceso se depositan en tinajas de fermentación. A éstos se les adiciona un pie de levadura con la finalidad de activar el fermentado (Chapa, 2006).

En las fermentaciones alcohólicas el producto principal es el etanol y generalmente, el sabor y el aroma de las bebidas alcohólicas está constituido por este alcohol, además de una gran variedad de compuestos que se encuentran en cantidades mucho menores con respecto a este. Estos compuestos son principalmente alcoholes superiores, carbonilos, ácidos orgánicos, ésteres y compuestos azufrados, entre otros, todos en conjunto reciben el nombre de congenéricos (Santillán y García, 1998).

El origen de los congenéricos es diverso, el tipo y la concentración está determinado por diversos parámetros como cepa de la levadura, otros microorganismos presentes durante la fermentación, la composición de materia prima, factores ambientales como: temperatura de fermentación, concentración de oxígeno en el medio y la agitación. También las operaciones posteriores a la fermentación alcohólica afectan el perfil y las proporciones de los congenéricos como fermentaciones secundarias, destilación y añejamiento. Terminada la fermentación se pasa a la fase de destilación, de donde se obtendrá finalmente el mezcal (Chapa, 2006; Santillán y García, 1998).

Por lo anterior el mezcal se debe analizar siguiendo métodos normalizados y requieren el análisis de algunas sustancias que pueden ser tóxicas para los humanos, si rebasan un cierto límite establecido como son: Alcoholes superiores, aldehídos, ésteres, furfural y otras sustancias, que nos indican la calidad de una bebida y si es apta o no, para consumo humano (LAQUIMIA, 2015).



ANTECEDENTES



1 Antecedentes

1.1 Generalidades del Agave

Diferentes culturas que habitaron en el México prehispánico, conocían a esta planta de diferentes maneras dependiendo el territorio y el idioma que hablaban, fue así que la planta era conocida como metl o mexcamesl en náhuatl, tocamba en purépecha o guada en otomí (ACAMEXTEQUILA, 2014; COMERCAM, 2014b).

Los españoles la llamarían maguey, palabra adoptada en su paso por las Antillas en el siglo XVI, ya que maguey era el nombre que los naturales [antillanos] daban a la sábila o aloe y lo hicieron extensivo a todas las plantas similares que hallaron en el continente Americano desde California hasta Venezuela (COMERCAM, 2014b).

Para la cosmogonía prehispánica, el maguey era una representación de Mayahuel (Figura 1), diosa de cuatrocientos pechos para alimentar con pulque a sus “cuatrocientos hijos”, los dioses de la embriaguez, de cuyos nombres derivaban los de las tribus de las que eran patronos (Muriá, 2004).

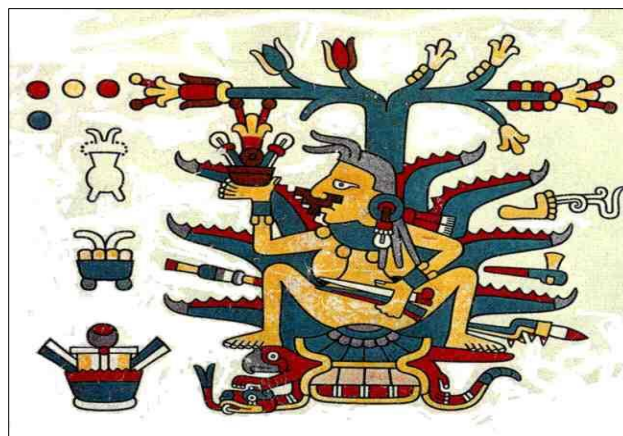


Figura 1. Representación de la diosa Mayahuel.

Fuente: Pueblos de México (2015).

La palabra Agave -del griego admirable o noble- sería su nombre científico, acuñado por el naturalista sueco Cari Von Linneo en su obra “*Species Plantarum*” en 1753 (COMERCAM, 2014b).

Muchas personas en México y fuera de este país suelen pensar que los agaves son plantas de desierto. Quizá por esta razón, de manera coloquial se refieren a ellas como cactus. Ciertamente las agaváceas tienen mucho en común con las cactáceas (masas suculentas, nervaduras paralelas, y texturas superficiales muy parecidas). Las dos familias son xerófilas, tienen espinas y son capaces de sobrevivir en climas extremos y suelos pobres. Una diferencia fundamental, es que los agaves son plantas monocotiledóneas (semillas indivisibles, como el maíz) mientras que los cactus son dicotiledóneas (como el frijol y todas esas legumbres que uno puede separar fácilmente en dos mitades) (Colunga *et al.*, 2007).

1.1.1 Morfología y clasificación taxonómica.

El agave es una planta de la familia del *Agavaceae*, de hojas largas y fibrosas de forma lanceolada, de color verde azulada. Dentro de la familia *Agavaceae*, *Agave* es el género con mayor número de especies, se estiman alrededor de 150 especies y 186 taxa¹ se encuentran en México. Este género se divide en dos subgéneros, *Littaea* y *Agave L.*, de los cuales se distinguen por presentar una estructura floral espigada o peniculada respectivamente. En cuyas formas predomina una especie de piña de la cual emergen pencas o ramas a manera de brazos delgados o espadañas, a veces rectos, a veces caprichosamente doblados. Cuando adultas, algunas son tres veces más grandes que un hombre, en ocasiones alcanzan un diámetro de 10 metros y una altura de más de tres. Sus hojas se encuentran dispuestas en forma de roseta, generalmente con espinas en los márgenes o “dientes” y una espina terminal. Son plantas perennes o

¹ Taxa: plural de taxón.

Taxón. m. Biol. Cada una de las subdivisiones de la clasificación biológica, desde la especie, que se toma como unidad, hasta el filo o tipo de organización (RAE, 2015).



monocárpicas. Su inflorescencia emerge del centro de la roseta y puede ser en forma de espiga o ramificada, con las flores creciendo en umbelas sobre los pedúnculos laterales. Sus florescencias o quiotos llegan a 12 metros, y sus colores varían desde el verde discreto pasando por varios tonos de azul, con o sin bandas amarillas de diferentes anchuras (Figura 2), (Colunga et al., 2007; Duran y Pulido, 2007; Eguiarte y Souza, 2007; Marroquín *et al.*, 2010).

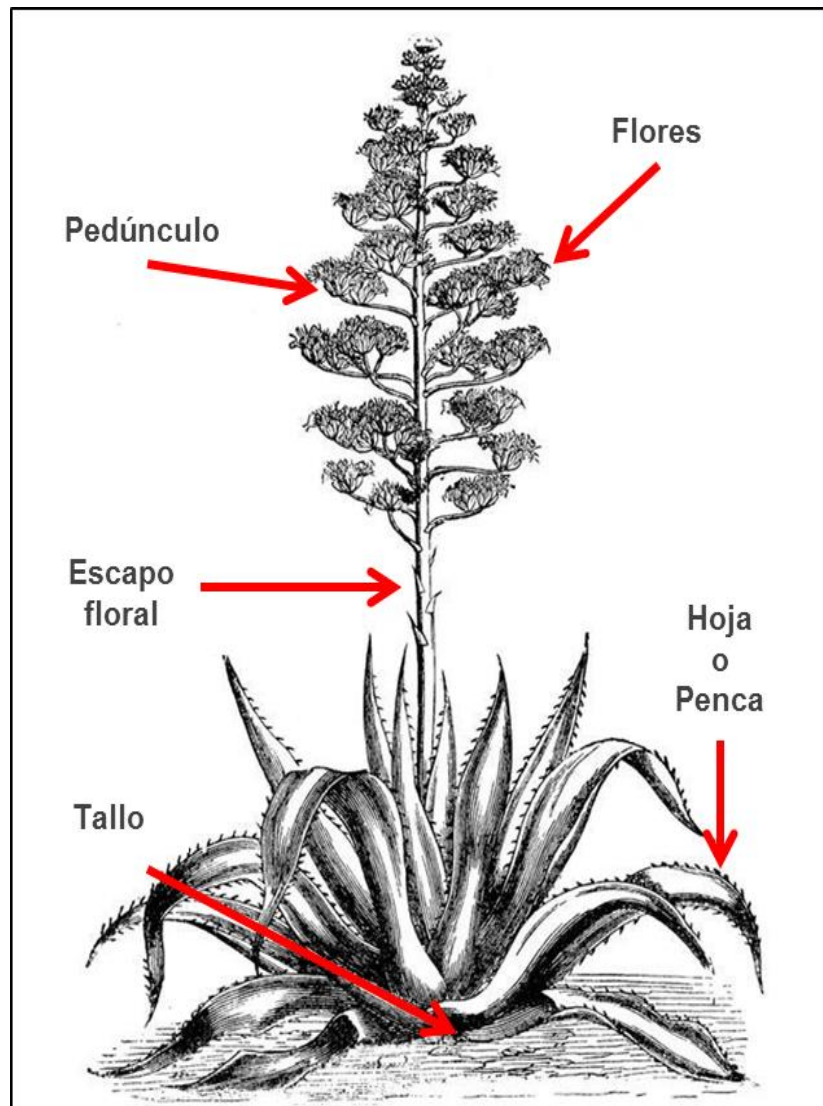


Figura 2. Morfología del Agave.

Fuente: Elaboración propia con información de Planetaflora (2015) y Acamextequila (2014).



1.1.2 Distribución geográfica

Los agaves son plantas que pueden encontrarse en gran diversidad de hábitats, desde los valles y planicies hasta cerros y laderas pedregosas, incluyendo lugares montañosos de gran altitud. Se desarrollan mejor, tanto a nivel individual como poblacional, sobre planicies extensas con suelos aluviales, de profundidad y textura medias y pH de neutro a ligeramente alcalino. Conviven también con variados tipos de vegetación, destacando entre otros: la vegetación xerófita, pastizales, matorrales, bosques, etc. Generalmente forman grupos o conglomerados dispersos dentro de la vegetación de pastizal y se le encuentra combinado con nopaleras y matorral micrófilo. Puede encontrarse lo mismo en sitios con altitudes de 300 msnm, que en lugares situados a más de 3000 msnm (García *et al.*, 2010).

Este género se distribuye a lo largo del continente americano en zonas que van desde los 40 grados latitud norte hasta los 20 grados latitud sur. Al norte se encuentra presente en zonas áridas y semiáridas de Norteamérica y México, bajando por las islas del Caribe hasta Colombia y Venezuela. En la cuenca Europea del Mediterráneo fueron introducidas con fines ornamentales, posteriormente se dispersaron fuera de los cultivos y actualmente se encuentran naturalizados (Marroquín *et al.*, 2010).

Con respecto a la distribución de los agaves en México, unas 20 especies o más, se encuentran en todos los estados de la República, excepto en Tabasco y la península de Yucatán. Unos pocos de los magueyes mezcaleros se cultivan, sobre todo el azul y el espadín, pero la mayoría son silvestres y prosperan particularmente en los bosques de pino, los encinares, las selvas y los pastizales de las regiones templadas, aunque el mayor porcentaje, se concentra en las regiones áridas y semiáridas del país (Figura 3) (García *et al.*, 2010).





Figura 3. Diversidad de agave en la República Mexicana.

Fuente: BIODIVERSIDAD (2015).

1.1.3 Importancia económica

El agave es rentable para cerca de nueve mil productores en siete estados de la república (Figura 4), generando así 29 mil empleos directos e indirectos. Contando con una superficie de siembra de 330 mil hectáreas (SAGARPA, 2014).

Números de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA) precisan que en el año 2013 se produjeron 1, 899,735.14 toneladas de Agave, de lo cual se obtuvo un valor de producción de \$3, 253,323,000 de pesos (SIAP, 2015).

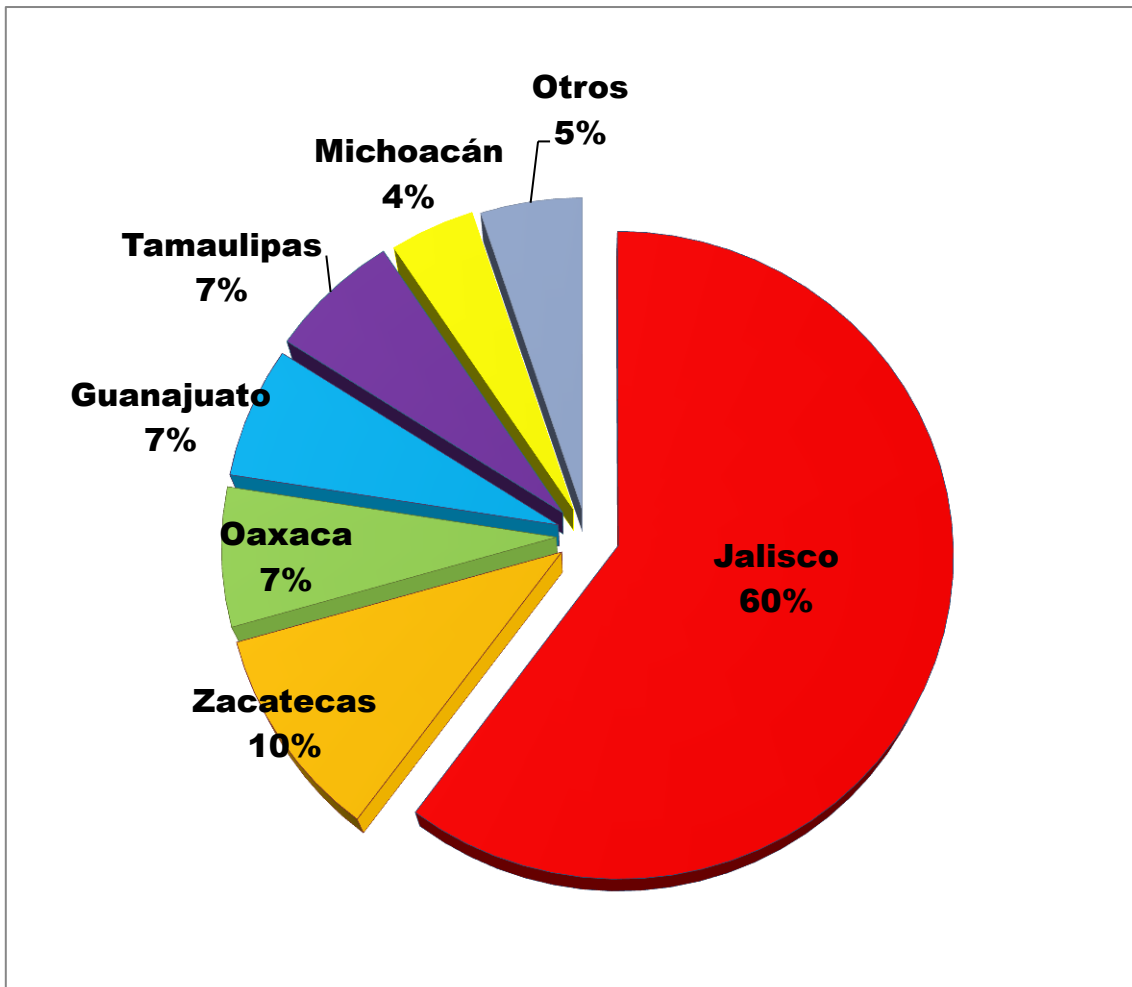


Figura 4. Producción nacional del Agave durante 2013.

Fuente: Elaboración propia con información del SIAP, (2015).

1.1.4 Usos del agave

A través de la historia del México antiguo, mucho antes de que los españoles llegaran a América, el jugo del agave y la planta entera han sido parte importante de la cultura mexicana, en toda la región central de México, el altiplano y las zonas sureñas. Desde tiempos inmemorables, el agave, era considerado una planta sagrada en el México antiguo y ocupaba un lugar privilegiado tanto en la vida religiosa y ritual como en la mitología y en la economía (Blomberg, 2000).



La importancia del uso del maguey se remonta a la época prehispánica, cuando los pueblos indígenas encontraron en esta planta una fuente de materia prima para elaborar una gran cantidad de productos. Antes de que el cultivo del maíz se estableciera, los agaves fueron la principal fuente de carbohidratos para los pobladores del occidente de México y suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica, consumiéndose los tallos, las bases de las hojas y el pedúnculo floral, cocidos en hornos de piedra. En el occidente de México, los tallos cocidos se utilizaron también para producir bebidas fermentadas de importancia nutricional y cultural, mientras que en el centro de México, las bebidas fermentadas fueron elaboradas con la savia derivada del corte del pedúnculo floral (Zizumbo y Colunga, 2007).

Un grupo de especies de este género, conocido colectivamente en muchas regiones de México como “mezcales”, está entre los alimentos prehispánicos más importante y más ampliamente usados en las regiones estacionalmente secas de México y Centroamérica, en donde se distribuyen de forma natural. Su historia de diversificación bajo cultivo y selección humana puede dividirse en tres periodos importantes: su uso como alimento, desde hace por lo menos 11,000 años; su uso en la elaboración de bebidas fermentadas (pulque), y su uso en la elaboración de bebidas destiladas (mezcales). Actualmente, en las diferentes regiones donde existen agaves, los principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica se muestran en la Tabla 1 (Colunga et al., 2007).



Tabla 1. Principales usos que se les da a varias especies de Agave, productos y parte de la planta empleada.

Usos	Producto	Parte de la planta
Alimentación	Azúcar Guisos Dulce Envolver barbacoa Mixiotes Gusanos blancos Gusano rojos (Chinicuiles) Pan de pulque Tortillas	Tallo (piña) Flores y frutos (cápsulas frescas) Escapo floral (quiote) Hojas Cutícula de cogollo Hojas Tallo (piña) Perianto de flores + nixtamal
Agrícola	Cerca viva Para evitar erosión como formadora de suelo Abono orgánico (fertilizante) Planta líder de ecosistemas	Planta completa Planta completa Composta de hojas Planta completa
Bebidas	Aguamiel, miel, atole de aguamiel, pulque, mezcal, tequila, sotol, bacanora, vinagre, jarabe.	Tallo (piña)
Construcción	Cercas, casas (jacales), corrales Tejas para cubrir techos de casas Canales para colectar agua de lluvia Materiales compuestos: resinas termoplásticas o termófilas + fibras	Escapo floral (quiote) Hojas Hojas Residuos de fibra
Doméstico	Jabón o detergente para trastes y ropa, shampoo. Macetas o recipientes para agua. Palillos para la extracción de gusanos comestibles.	Hojas, tallos y raíces. Hojas y tallo (piña) Espinas más hebra de hojas
Fibras	Cordelería, jarcería, y cestería (lazos, ropa domestica) Escobetillas y cepillos para limpieza, estropajos, tejido y vestuario.	Fibras de hojas Raíces, fibras de hojas
Forraje	Bovinos, caprinos, porcino	Hojas, escapos florales, flores y parte de la inflorescencia, bagazo.
Medicinal	Remedios caseros y medicina herbolaria	Hojas
Ornamental	Adornos corporales (aretes, collares). Adornos para casas, jardines, calles, camellones.	Semillas, espinas. Planta completa, fibras de hojas.
Otros usos	Industria química, farmacéutica, medicamentos y productos esteroides (saponinas). Productos de celulosa para papel. Producción de etanol, celulosa y glucósidos.	Hojas, raíces, tallo y semilla. Hojas (pulpa, residuos del desfibramiento, bagazo, jugos)











Fuente: García *et al.*, (2010).



De las variedades de agave, actualmente sólo unos 12 a 15 son magueyes mezcaleros (Figura 5). Cada mezcal está asociado a una especie de maguey y a una región campesina, aunque en años recientes se ha hecho mezcal a partir del maguey henequenero. (FND, 2011; García *et al.*, 2010).

En la elaboración del mezcal, el *Agave angustifolia* es la especie más utilizada principalmente en el estado de Oaxaca, aunque se utilizan otras especies silvestres (Figura 5) como: *A. potatorum*, *A. esperrima Jacobi*, *A. weberi* y *A. salmiana Otto* (Nolasco, 2007).

Figura 5. Principales variedades de agave utilizada como materia prima para producir mezcal.

 <p>Agave durangensis (cenizo)</p>	 <p>Agave cupreata (papalote)</p>	 <p>Agave potatorum (tobalá)</p>	 <p>Agave angustifolia (espadín)</p>	 <p>Agave salmiana (cimarrón)</p>
 <p>Agave maximiliana (lechuguilla)</p>	 <p>Agave rhodacantha (mexicano)</p>	 <p>Agave inivittata (estoquillo)</p>	 <p>Agave marmorata (maguey de caballo)</p>	 <p>Agave oaxacensis (sierra negra)</p>

Fuente: Elaboración propia con información del COMERCAM (2014b).

1.1.5 Composición química

La piña del agave está compuesta químicamente por, azúcares, agua y sales minerales (Tabla 2). Tiene un alto contenido de saponinas y otros productos tóxicos. Estudios realizados en piñas de agave tequilero y otros, reportan un contenido de carbohidratos del 75% de los cuales se han identificado, glucosa, dextrinas, almidón y principalmente inulina (Nolasco, 2007).

Tabla 2. Composición química de especies de agave utilizadas en la elaboración de bebidas alcohólicas: *A. potatorum*, *A. tequila*, *A. salmiana*.

Composición	Piña de agave (%)	Hojas de agave (%)
Agua	70 - 85	75 - 95
Carbohidratos	10 - 28	3 - 15
Celulosa	2 - 5.7	15 - 23
Lignina	3 - 5	3.5 - 20
Saponinas	0.09 - 0.32	0.08 - 0.61
Proteínas	0.2 - 0.5	0.5 - 1.06
Resinas y Lípidos	0.6 - 0.9	0.7 - 1.26

Fuente: Nolasco (2007)

1.2 El Mezcal.

La palabra mezcal tiene su origen en vocablos de la lengua náhuatl. Algunos sostienen que deriva de “mexicalli” (“metl” o “meztli”: maguey e “ixcalli”: cocer) la traducción sería entonces maguey “cocido”. La palabra mezcal es utilizada tanto para el maguey cocido como alimento (pencas y piña), como para el aguardiente que se obtiene de las piñas del maguey cocido (López et al., 2014; Serra y Lazcano, 2014).



No hay evidencias de que los antiguos mesoamericanos conocieran el proceso físico de la destilación. Su interacción con los agaves se limitaba a cocinar los corazones que luego se consumían como dulce o bien machacaban a golpes para extraerles el jugo y, una vez fermentado, beberlo con un sentido más ritual que gastronómico (Colunga *et al.*, 2007).

En la actualidad, en México se elabora una amplia gama de licores de agave, conocidos genéricamente como “mezcales”, los cuales están diferenciados por las especies que utilizan, por los procesos de cocimiento, fermentación y destilación, y el lugar geográfico de origen. Se han reportado 43 especies de plantas para elaborar mezcales con más de 80 nombres regionales (Zizumbo *et al.*, 2009).

Actualmente se reconocen varias denominaciones de origen (DO) para algunas bebidas, como para el “tequila”, mezcal producido con *Agave tequilana* Weber cultivado en los estados de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Guanajuato y Tamaulipas; “mezcal” para las bebidas destiladas y producidas con *A. angustifolia* Haw, *A. esperrima* Jacobi, *A. potatorum* Zucc., *A. salminana* ssp. *Crassipiana* (Trel), *A. weberi* Cela. Y otras especies que son cultivadas para este propósito en los estados de Durango, Guanajuato, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas y “Bacanora” para el “mezcal” producido con *A. angustifolia* en el estado de Sonora (Zizumbo y Colunga, 2007).

El mezcal es por lo tanto una bebida alcohólica regional obtenida por destilación y rectificación de mostos preparados directa y originalmente con los azúcares extraídos de las cabezas maduras de los agaves, previamente hidrolizadas o cocidas, y sometidas a fermentación alcohólica con levaduras, cultivadas o no, siendo susceptible de ser enriquecido, con hasta 20% de otros carbohidratos en la preparación de dichos mostos, siempre y cuando no se eliminen los componentes que le dan las características a este producto (NOM-070-SCFI-1994).



El mezcal es un líquido de olor y sabor sui-generis de acuerdo a su tipo. Es incoloro o ligeramente amarillento cuando es reposado o añejado en recipientes de madera de roble blanco o encino, o cuando es abocado² sin reposarlo o añejarlo (NOM-070-SCFI-1994). En la tabla 3 se muestran las diferentes maneras de abocar el mezcal.

Tabla 3. Abocado de mezcal.

Abocado del mezcal	
Gusano	El mezcal de gusano, en cuya botella se introduce una pequeña larva blanca o roja que vive en el propio agave y que le da al mezcal un sabor más seco, grasoso y salado, cabe explicar que si se colocara un gusano de otro tipo de agave, su sabor se alteraría.
Pechuga	Mezcal en el que antes de la fermentación se agrega al mosto una pechuga de pollo o de guajolote para absorber su grasa.
Minero	Mezcal que sólo ha pasado por una destilación y al que se le puede agregar algún saborizante natural. Es el mezcal tradicional de la región. Su nombre se debe a los mineros del norte que tomaban mezcal para soportar su duro trabajo y a quienes se les pagaba parte de su salario con mezcal.
Serrano	También conocido como bració o bronco es el que se elabora con magueyes silvestres.

Fuente: Blomberg (2000).

1.2.1 Origen.

Los productores tradicionales de mezcal son sucesores de una tradición que inició hace miles de años, cuando sus ancestros incorporaron los corazones cocidos de maguey a su cultura alimentaria. Son herederos de las variedades, los conocimientos y las técnicas con que los elaboraban, casi todas de origen prehispánico: más de veinte variedades de agave tradicionales, cocimiento de los

² Abocado: Procedimiento para suavizar el sabor del mezcal, mediante la adición de uno o más productos naturales, saborizantes o colorantes permitidos en las disposiciones legales correspondientes (NOM-070-SCFI-1994)



magueyes en hornos bajo tierra, machacado en piedra para extraer sus jugos y fermentado de los mostos en pozos de roca (Aldana, 2012).

El evento crucial para el origen de las bebidas destiladas de agave, fue la introducción del destilador en la época colonial. Esta introducción provino originalmente de los filipinos traídos por los españoles a las costas de Colima y Jalisco a finales del siglo XVI. Los filipinos introdujeron la elaboración de bebidas fermentadas y destiladas del cocotero (*Cocos nucifera* L), con su propia tecnología, usando un destilador muy diferente a los entonces conocidos en Europa, y que podía fabricarse con materiales locales, diferentes del alambique o destilador árabe, que involucra el serpentín de cobre y que era usado en ese tiempo por los españoles (Colunga y Zizumbo, 2007).

Una cultura de mezcales muy rica y diversa emergió en México con la adaptación del destilador filipino, la adopción posterior del destilador árabe (alambique), introducido por los colonizadores españoles para la destilación de la caña de azúcar, para producción de mezcales. Todas estas alternativas técnicas fueron adaptadas a las materias primas nativas y a las prácticas culturales indígenas y mestizas (Colunga y Zizumbo, 2007).

Con la introducción de la técnica de destilación y su aplicación a los fermentos de agave cocido, la producción de licor llegó a ser una actividad económica importante en el siglo XVII en respuesta a la alta demanda de la actividad minera en el centro y norte de México. La competencia resultante con los licores españoles importados condujo a la prohibición y a la comercialización del licor de agave, produciéndose de manera clandestina en áreas remotas y aisladas, alejadas de la influencia de las autoridades coloniales (Zizumbo *et al.*, 2009).

Algunos de estos mezcales vivieron su mejor época en el periodo de expansión de la minería colonial, actividad que les dio origen y cuyo mercado de consumo se



restringió básicamente a los asentamientos humanos que crecieron en torno a la minería (Colunga *et al.*, 2007).

Durante el siglo XIX, una de estas bebidas destiladas de agave, el mezcal que se producía en la ciudad de Tequila, en el estado de Jalisco, se hizo famosa con el nombre de la localidad en donde era elaborada, dando lugar al famoso “Tequila” (Colunga y Zizumbo, 2007).

Algunos autores señalan que el tequila competía en igualdad de circunstancias con los otros mezcales distribuidos a lo largo y ancho del país durante las primeras décadas del México independiente. Sin embargo, el tequila tendría una ventaja que capitalizaría a su favor: tenía a la ciudad de Guadalajara como uno de los puntos más cercanos de consumo, además del puerto de San Blas, aspectos que pronto cristalizaría para lograr la confirmación de la elite empresarial en torno a su producción en la época Porfiriana, con la expansión del mercado interno una vez que se habilitó el ferrocarril que comunicaría a Jalisco con el resto del país, por lo que aprovechó rápidamente la integración del mercado nacional, mientras que los mezcales no contaron con estos actores, ni en sus procesos de producción ni en su mercantilización (Colunga *et al.*, 2007).

1.2.2 Proceso de elaboración del Mezcal.

La producción de mezcal es el resultado de conocimientos transmitidos de generación en generación. Los mezcaleros o palenqueros³ han incorporado nuevos elementos para mejorar la elaboración del destilado de agave, pero conservando en esencia el sistema aprendido siglos atrás. Actualmente existen tres formas para producir el mezcal: la artesanal, la tradicional y la moderna (Tabla 4). Sin embargo, la mayoría de los palenques utilizan el proceso tradicional, razón por la cual la calidad del producto es muy variable (Nolasco, 2007).

³ Palenque: En Oaxaca a las destilerías se les conoce como palenque que significa “pequeña fábrica” (Nolasco, 2007; Blomberg, 2000).



Tabla 4. Formas de producción de mezcal en Oaxaca.

Forma de producción	Producción artesanal	Producción tradicional	Producción moderna
Especies de maguey	Varias, sobre todo las silvestres.	Una sola, preferentemente el espadín (<i>Agave angustifolia</i> haw)	Uso exclusivo de maguey espadín
Cocimiento	En hornos de tierra	En horno de tierra o piedra	En hornos de piedra o autoclaves.
Trituración	Con mazos de madera o piedra	En molinos con rueda de piedra jalados por bestias	Con desgarradoras mecánicas
Fermentación	En cuero de res, ollas de barro o canoas	En tinas de madera fabricadas ex profeso	En recipientes cilíndricos de acero
Destilación	En ollas de barro con carrizo como tubería	En alambiques de cobre con el uso de leña	En alambiques de cobre o acero de mayor capacidad, con usos de leña o gas.
Producción	Muy pequeña. Su uso se reserva para las fiestas patronales. Normalmente no se comercializa.	Para consumo casero y comercial	Eminentemente comercial
Productores	Indígenas zapotecos, generalmente alejados de las vías de comunicación principales	Principalmente indígenas zapotecos cercanos a las vías de comunicación y a los centros urbanos	Indígenas zapotecos y mestizos que viven cerca de los centros urbanos más importantes
Nivel de marginación de las comunidades	Alto y muy alto	Medio y alto	Bajo y medio

Fuente: Blomberg (2000).

En el estado de Oaxaca se continúa produciendo mezcal como se hacía hace más de un siglo, es decir, continúan coexistiendo alambiques de construcción artesanal de cobre laminado, formado principalmente por ollas superpuestas. Sin embargo, los campesinos productores con gran ingenio han incorporado, adoptado y adaptado a sus equipos las soluciones que les han permitido sortear los problemas que presenta la destilación y en general la producción de mezcal (Aguilar, 1993).



La producción artesanal del mezcal, al igual que el resto de las artesanías, se caracteriza por ser un negocio familiar; ya que tanto el jefe de familia, como su cónyuge, hijos y parientes cercanos dedican parte de su tiempo a producir y vender la bebida (Hernández y Domínguez, 2003).

El agave que se usa con más frecuencia en la producción de mezcal es el de tipo espadín (*Agave angustifolia* haw), cirial (*A. karwinskii*), cenizo (*A. americana*), o silvestres como papalometl (*A. potatorum*), en Oaxaca llamado tobalá (Blomberg, 2000). En la Figura 6 se muestra el proceso de elaboración de mezcal.

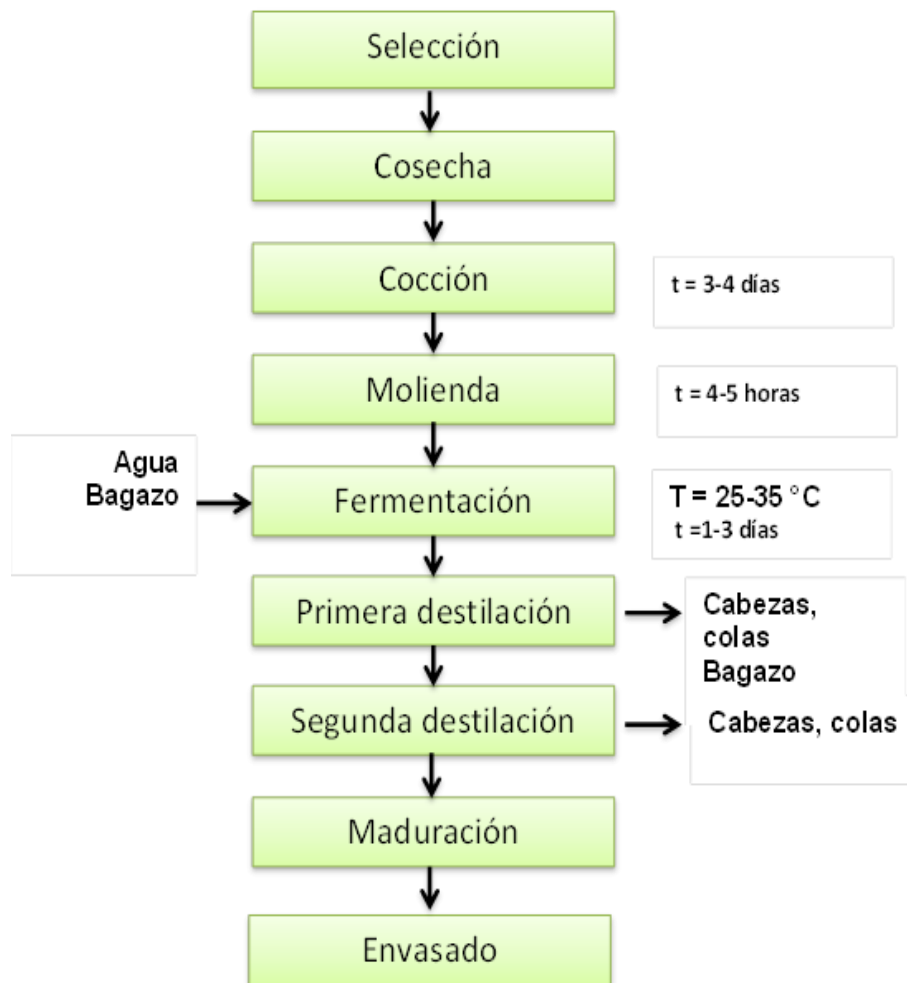


Figura 6. Diagrama de bloques para la elaboración de mezcal.

Fuente: Blomberg (2000); Nolasco (2007); Alonso (2007).

1.2.2.1. Descripción del proceso

- **Selección.** El proceso de elaboración del mezcal comienza con la selección de la piña del agave cuando los agaves silvestres o cultivados llegan a su edad adulta (presencia de escapo floral, entre 8-10 años) se procede al capado (corte del escapo floral) con la finalidad de que las reservas de la planta destinadas al desarrollo del escapo floral, sean aprovechadas para la formación de azúcares. (Nolasco, 2007).
- **Cosecha.** Al encargado de la cosecha y recolección, se le llama “cortador”, (así como jimador⁴ al de agave azul), quien tiene la difícil tarea de identificar el momento preciso en el que el agave está maduro (1 año después del capado aproximadamente), se procede a cosecharlo y en vez de trabajar con coa⁵, utiliza una barreta como palanca para voltear la planta y liberar la piña o cabeza (tallo). Luego corta las pencas y raíces con un machete aunque, a diferencia de los jimadores, no las corta al ras, sino que regularmente deja la piña con unos 10 o 15 centímetros de las hojas. Después se trasladan los corazones de maguey en camiones o mulas al palenque o destilerías (Blomberg, 2000; Nolasco, 2007).

Estas fábricas de mezcal por lo general están ubicadas cerca de las plantaciones, alejadas del pueblo, a orillas de ríos y manantiales donde se puede disponer con más facilidad de agua y leña para el cocimiento y la destilación (Blomberg, 2000).

- **Cocción.** Al llegar al palenque o destilería las piñas de agave son amontonadas cerca del horno y seccionadas en 2, 4 o más partes, dependiendo de su tamaño (cada piña pesa en promedio 50 kg) antes de ser cocidas (Nolasco, 2007).

⁴ Jimador: [Persona que lleva a cabo la acción] desbastar y asar las hojas del maguey para fabricar el mezcal [tequila] (RAE, 2015).

⁵ Coa: Especie de palo usado para la labranza (RAE, 2015).



En Oaxaca es utilizado por la mayoría de los productores, un horno tradicional de suelo, el cual es una excavación trunco-cónica, de aproximadamente cuatro metros de diámetro por dos y medio metros de profundidad, con una capacidad de tres a seis toneladas. Estos hornos, revestidos en algunos casos de piedra, se precalientan con leña de encino, sobre la cual se colocan piedras durante unas seis horas hasta alcanzar el “rojo vivo” y se cubre con una capa de bagazo húmedo, encima de la cual se colocan los pedazos de agave. Luego se le cubre con bagazo seco o húmedo, palma, petates y tierra; el horneado tiene una duración más o menos de tres a cuatro días completos, con lo que el contenido de las piñas se transforma en azúcares. Este proceso tradicional es un horneado seco, a diferencia de la producción de tequila, que se hace con vapor o agua (Blomberg, 2000; Nolasco, 2007; Alonso, 2007).

También en un proceso más tecnificado, la cocción se realiza en hornos verticales de mampostería, hidrolizadores o en autoclaves. Durante la fase de cocción se producen varias reacciones químicas, incluyendo la conversión de los hidratos de carbono complejos como la inulina, en azúcares fermentables simples (Muñoz *et al.*, 2010). A las piñas ya cocidas se les llama mezcal (Nolasco, 2007).

- **Molienda.** Hay dos formas de moler las piñas cocidas de maguey para la extracción de mieles:
 1. La extracción manual. La molienda manual se hace con instrumentos primitivos como mazos de madera, trabajados en forma de bate y martillo, se practica en fábricas familiares o palenques de Oaxaca, donde el volumen de producción es bajo y elaborado de forma tradicional.
 2. La extracción auxiliada con un molino, llamado también molino egipcio, chileno o tahona. En la reducción auxiliada se reduce el tamaño del agave y se deposita en el molino llamado tahoma que consiste en una piedra de cantera o cemento con un peso aproximado de media tonelada o hasta tonelada y media, que funciona por la fuerza de caballos, mulas o bueyes,



donde se lleva a cabo la maceración durante cuatro a cinco horas (Blomberg, 2000; Durán y Pulido, 2007; Nolasco, 2007).

Al terminar la molienda se obtiene el jugo llamado mosto y el bagazo; el mosto es depositado o bombeado a las tinas de fermentación, y el bagazo es utilizado para la fermentación (Blomberg, 2000).

- **Fermentación.** Los jugos, con o sin bagazo, se vierten en las tinas donde se agregan agua. Los microorganismos transforman los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, que sale a la superficie en forma de burbujas; este proceso, tiene una duración de 1 a 3 días. Al jugo fermentado se le conoce como mosto muerto y tiene una graduación alcohólica entre 6 y 7% (COMERCAM, 2014a).

El agua puede agregarse antes o después de iniciada la fermentación. Se fermenta al ritmo natural del proceso o acelerándolo con pulque, cortezas o agentes químicos. Se usan troncos huecos, cueros, hoyos en la roca, tinas de diversas maderas, mampostería, plástico o acero inoxidable. El material del recipiente, la pureza y los minerales del agua también influyen en las características del mezcal (COMERCAM, 2014a).

Durante la fermentación ocurre el desdoblamiento de los hidratos de carbono, por parte de los microorganismos. La fermentación alcohólica produce alcohol etílico, bióxido de carbono, aldehídos, cetonas, metanol, ésteres, etc., dependiendo de la materia prima y los microorganismos a los que se expone (Aguilar, 1993). Puede usarse como inóculo el remanente de la fermentación anterior que se deja en el fondo, o inocular con cepas de levaduras comerciales (Arratia, 2009).

En el proceso de elaboración de mezcal, la destilación se lleva a cabo en dos fases.

- **Primera destilación.** En esta operación se efectúa la separación del alcohol del resto del mosto fermentado aprovechando para ello sus diferentes puntos



de ebullición. El etanol, debido a su estructura molecular, tiene un punto de ebullición más bajo que el agua (78.5°C a nivel del mar), por lo tanto se separa de ésta al alcanzar esta temperatura. El dispositivo utilizado para la destilación tradicional es el alambique. Este equipo está conformado por elementos fabricados en cobre debido a su alta conductividad térmica. En versiones industriales, se puede utilizar una torre de platos (Arratia, 2009).

En este paso el mosto fermentado o tepache se calienta en los alambiques de cobre para evaporar el alcohol y otros compuestos. Del alambique se pasa el alcohol en forma de vapor al serpentín, el cual es enfriado en una tina de agua fría para posteriormente ser recolectada en tambores (COMERCAM, 2014a).

El destilado resultante se divide en tres partes:

- a) Puntas o cabeza: son las primeras fracciones de mayor grado alcohólico, de 30-80 °G.L.⁶, conteniendo compuestos de menor punto de ebullición al etanol. El encargado de la destilación usa un “cordón” de burbujas para saber en qué momento se debe retirar el cántaro del fuego. Con éste puede ver las formas que tienen al caer las gotas de mezcal en una jícara.
- b) Común o cuerpo: ésta compuesto principalmente de alcohol etílico de 20-40 °G.L.
- c) Colas o sobrante: este contiene alcoholes de mayor punto de ebullición que el alcohol etílico, pudiendo tener un grado alcohólico de 6 °G.L o mayor.

Las puntas, el cuerpo y las colas son depositados en recipientes por separado. Sin embargo, estas últimas se pueden regresar a la olla de destilación para ser redestiladas conociéndosele a este redestilado como “caballo”. Se saca el bagazo, se tira el agua caliente y el ciclo se repite hasta acabar con todo el tepache y finalizar con el “corte” (Blomberg, 2000; Nolasco, 2007).

⁶ G.L: Grados Gay-Lusac que corresponden al porcentaje de alcohol volumen-volumen, de amplio uso en bebidas alcohólicas (García *et al.*, 1993).



- **Segunda destilación.** Concluida la primera destilación, se procede a una segunda destilación, conocida como refinado, la cual se realiza en el mismo equipo de destilación. En esta fase se utiliza el cuerpo obtenido en la primera destilación, las fracciones de este nuevo destilado reciben el mismo nombre. En esta etapa se destila con la finalidad de elevar su contenido de alcohol. La fracción recogida después de separar las puntas en la segunda destilación es también llamada corazón que es propiamente el producto mezcal (Nolasco, 2007).

Algunos de los componentes del mezcal durante la destilación como alcoholes superiores y ésteres, pasan progresivamente durante la destilación, no por orden de volatilidades, sino por las tensiones superficiales que resultan de la solubilidad que tienen en el agua y en el alcohol, otras sustancias presentes en la destilación son aldehídos, ácidos volátiles, furfural, metanol y etanol (Aguilar, 1993).

- **Maduración.** Durante este proceso el producto destilado es sometido a maduración en recipientes de madera de roble blanco o encino. Este proceso sólo aplica en el caso de que el producto deseado sea añejado para lo cual se deja madurar por lo menos un año dentro de las barricas y para el caso en que el mezcal deseado sea reposado para el cual la maduración será de por lo menos 2 meses. No aplicando este proceso para el mezcal joven (NOM-070-SCFI-1994).
- **Envasado.** El envasado de este producto se realiza principalmente de forma manual y en muy raros casos en forma semiautomática (Hidalgo *et al.*, 2010).

La producción de mezcal para su comercialización se realiza en cinco niveles; autoconsumo, local, regional, nacional e internacional (Hidalgo *et al.*, 2010). Todas estas etapas determinarán la calidad final del producto a obtener, sin embargo, se sabe que lo más importante son la fermentación y la destilación (Arratia, 2009).



1.3 Compuestos volátiles presentes en bebidas alcohólicas destiladas de agave.

En las fermentaciones alcohólicas el producto principal es el etanol y generalmente el microorganismo productor predominante es la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. El sabor y el aroma de las bebidas alcohólicas está constituido por este alcohol además de una gran variedad de compuestos que se encuentran en cantidades mucho menores con respecto a este. Estos compuestos principalmente son alcoholes superiores, carbonilos, ácidos orgánicos, esteles y compuestos azufrados, entre otros, todos en conjunto reciben el nombre de congenéricos (Santillán y García, 1998).

Algunos congéneres por su presencia o concentración caracterizan y hacen únicas a las diferentes bebidas alcohólicas, les imparten notas que las identifican con su origen y su proceso de elaboración (Santillán y García, 1998).

El origen de los congéneres es diverso, el tipo y la concentración está determinado por diversos parámetros como cepa de la levadura, otros microorganismos que se encuentran presentes durante la fermentación, la composición de la materia prima, el uso de adjuntos, factores ambientales como: la temperatura de fermentación, la concentración de oxígeno en el medio y la agitación. También las operaciones posteriores a la fermentación alcohólica afectan el perfil y las proporciones de los congenéricos, como fermentaciones secundarias, destilación y añejamiento (Santillán y García, 1998).

Una de las labores del COMERCAM es la promoción y vigilancia del cumplimiento de la NOM-070-SCFI-1994, en donde verifica que el contenido de los componentes volátiles diferentes al alcohol etílico (alcoholes superiores, aldehídos, etc.) estén dentro de los márgenes que establece dicha norma (Tabla 7). Dichas especificaciones son definidas para asegurar que los productos



contienen el perfil de volátiles característicos que provienen de una fermentación principalmente alcohólica bajo condiciones controladas (PROFECO, 2013).

1.3.1 Etanol

Por definición el grado alcohólico son los mililitros de etanol y de sus homólogos (metanol, alcoholes superiores, 2,3-butanodiol, etc.) contenidos en 100 mL de muestra, medido a temperatura de 20 °C, los cuales se forman durante la fermentación (Amerine y Ough, 1976; Carazola y Xirau, 2005; NMX-V-013-NORMEX-2005)

El etanol es un líquido aromático combustible que se obtiene de la fermentación de sustancias azucaradas, almidones y celulosa; se constituye en el elemento activo de las bebidas alcohólicas y puede dar origen a intoxicaciones comunes, accidentales, voluntarias, crónicas y ocupacionales. Es el producto principal de la fermentación alcohólica (Calvo, 2012).

La intoxicación por etanol depende de la cantidad consumida, por lo que se puede clasificar de la siguiente manera (Tabla 5):

Tabla 5. Diferentes niveles de intoxicación por etanol.

Nivel de intoxicación	Concentración de alcohol (mg/100 ml)	Efectos
Legal	50-100	Euforia, verborrea, desinhibición, incoordinación
Leve	100-200	Farfullar de palabras, labilidad emocional, torpeza motora, ataxia, alteración de reflejos, somnolencia y náusea.
Moderada	200-300	Lenguaje incoherente, agresividad, letargia, estupor y vómito
Grave	300-400	Depresión del SNC, coma, hipotermia, midriasis bilateral, hipotonía, abolición de los reflejos osteotendinosos, bradicardia e hipertensión.
Potencialmente letal	> 400	Depresión respiratoria, convulsiones, choque y muerte.

Fuente: Calvo (2012)



Está clasificado como un depresor del sistema nervioso central (SNC). Sus efectos (o sea la ebriedad) se parecen a la respuesta humana a los anestésicos (McMurry, 2001).

La proporción de etanol varía del 2-55 % de acuerdo al tipo de bebida alcohólica. (Aleixandre, 1999).

1.3.2 Extracto seco

El extracto seco es el conjunto de todas las sustancias que no se volatilizan en determinadas condiciones físicas. Estas condiciones físicas deben establecerse de tal forma que las sustancias que componen el extracto, sufran el mínimo de alteraciones (UTU, 2014).

Está compuesto por sustancias que no se evaporan al llevar al mezcal a ebullición (ácidos fijos, azúcares, sales inorgánicas, sulfatos, cloruros, sales orgánicas, glicerina, polifenoles, proteínas) constituyendo un residuo remanente. Por lo tanto las sustancias que lo componen tienen un alto punto de ebullición. Cuanto más alto es el contenido inicial de azúcar, mayor es el residuo no alcohólico resultante. Así pues, el contenido de extracto seco es una indicación del contenido de azúcar en el mosto original (UTU, 2014).

Este parámetro junto con el contenido de alcohol, proporciona una idea del cuerpo y la estructura del mezcal en la boca. Se sabe que a mayor contenido de extracto seco el mezcal presentará un mejor cuerpo. (Almanza *et al.*, 2012).

1.3.3 Alcoholes superiores

En el mezcal, hay compuestos volátiles en concentraciones relativamente altas principalmente metanol y alcoholes superiores, que son tóxicos, por lo que sus concentraciones están reguladas por las normas oficiales mexicanas (Lozano, 2005).



Los alcoholes superiores también llamados aceite de fusel, son compuestos orgánicos con un número superior de átomos de carbono que el etanol y con uno o más grupos de hidroxilo: 1-propanol, 2-butanol, alcohol isobutílico, alcohol amílico, y alcohol isoamílico (Magnúsdóttir y Jóhannesson, 2000; Santillán y García, 1998).

La agitación, al igual que las altas temperaturas de fermentación, se relacionan con altas concentraciones de alcoholes superiores. Con respecto a las fuentes de carbono, se sabe que la sacarosa favorece la formación de alcoholes superiores (Santillán y García, 1998).

La mayor parte de estos compuestos se derivan de los aminoácidos asimilados durante la fermentación alcohólica. El grupo amino se elimina por transaminación y en seguida el ácido cetónico es descarboxilado para convertirse en un aldehído, lo que conduce a la formación de un alcohol superior que posee un carbono menos que el aminoácido de origen (Calvo, 2012).

Estos alcoholes superiores son importantes desde el punto de vista toxicológico, debido a que el alcohol amílico es tóxico en concentraciones superiores de 40 mg/dL en las bebidas alcohólicas y ocasiona efectos en el SNC, daño en médula ósea, huesos, dolor de cabeza, tos, pérdida parcial o completa del oído, delirio, mareos, náuseas, diarrea, glucosuria, hipoxia, formación de metahemoglobina, coma y muerte (Lozano, 2005).

Concentraciones de alcoholes superiores a 400 mg/L contribuirían negativamente a la calidad organoléptica especialmente en vinos. A excepción de 2-feniletanol el cual presenta aroma floral, cuyo valor umbral presenta aroma floral es de 10 mg/l, los demás alcoholes superiores imparten características sensoriales desagradables (Escalante *et al.*, 2011).

En el caso de bebidas destiladas donde se utilizan procedimientos de destilación poco refinados como en el uso de alambiques, por ejemplo en algunos procesos



de producción de ron, aumenta la concentración de alcoholes superiores (Santillán y García, 1998).

1.3.4 Metanol

El metanol es un alcohol que se encuentra presente en todas las bebidas alcohólicas en mayor o menor proporción incluso en trazas. Proviene de la hidrólisis de las pectinas (pectinas solubles y propectinas), de las materias primas vegetales que se fermentan. (NMX-V-005-NORMEX-2005)

Ocasionalmente en concentraciones arriba de 5 por ciento se emplea como desnaturante de etanol, el cual no es para consumo humano (Lozano, 2005)

Desde el punto de vista legal y toxicológico es importante señalar que el metanol ha sido utilizado como sustituto de etanol en bebidas alcohólicas fabricadas clandestinamente etanol (Lozano, 2005)

Después de la absorción, el metanol se distribuye ampliamente por todo el cuerpo y alcanza una concentración en el líquido cefalorraquídeo mayor que en el suero. Probablemente, es muy poco el metanol ingerido que se elimina en el aire aspirado o se excreta en la orina. La mayor parte es oxidada por el hígado a formaldehído y ácido fórmico por la enzima alcohol deshidrogenasa a una velocidad independiente del nivel plasmático. Puesto que el metanol se metaboliza a una séptima parte de la velocidad del metabolismo del alcohol etílico, pueden ser necesarios varios días para la oxidación completa de una dosis tóxica (Goodman, 2007).

La muerte causada por el metanol está casi siempre precedida por la ceguera. Ésta puede ser causada por tan solo 15 ml de metanol; la ingestión de 70 a 100 ml suele ser fatal, a menos que el paciente sea tratado (Goodman, 2007).



1.3.5 Aldehídos

Los aldehídos son compuestos carbonílicos que se encuentran en la mayoría de las bebidas alcohólicas, caracterizados por poseer grupo funcional (-COH), es decir el grupo carbonilo (-C =O). Se forman como productos de oxidación secundaria en los procesos de añejamiento de las mismas y durante los procesos de fermentación y destilación de los mostos que al ser destilados son transportados a las bebidas alcohólicas, mediante una reacción en que cada molécula de aldehído se adiciona una molécula de alcohol para formar un hemiacetal, que es un compuesto inestable, el cual se combina con una segunda molécula de alcohol y produce un acetal, la reacción es reversible y el acetal formado puede ser hidrolizado a aldehído y alcohol en soluciones alcohólicas diluidas. Ambas reacciones son catalizadas por ácidos, debido a esto, aunque estén presentes ambas sustancias es más frecuente la formación de aldehídos que de acetales (NMX-V-005-NORMEX-2005; Medina, 2008).

Un compuesto carbonílico es aquel que consta de un átomo de carbono unido por medio de un doble enlace a un átomo de oxígeno. En las bebidas alcohólicas y espirituosas, los compuestos carbonílicos de baja masa molecular (C_1-C_6) están presentes como productos de la fermentación, intermediarios en la formación de aceite de fusel y como resultado de la oxidación de alcohol en varias etapas de la producción de la bebida. Su presencia es baja pero algunos son los responsables de propiedades organolépticas de las bebidas alcohólicas (Medina, 2008).

Los compuestos carbonílicos más importantes y estudiados en las bebidas alcohólicas son el acetaldehído, formaldehído y las diacetonas vecinales que se describen a continuación (Medina, 2008; Santillán y García, 1998).

El formaldehído y el acetaldehído son conocidos como carcinógenos en animales y pueden listarse como probables carcinógenos en humanos por la Agencia de Protección ambiental (EPA) de los Estado Unidos de América y la Agencia



Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) respectivamente (Medina, 2008).

- **Acetaldehído:** es formado en el penúltimo paso de la vía glucolítica donde la levadura convierte el azúcar a etanol y alcanza un máximo durante la primera parte de la fermentación; su concentración depende de la cepa de levadura. Altas concentraciones de éste son indeseables en la cerveza ya que tiene un sabor graso y con notas a manzana verde si se encuentra en una concentración ≤ 40 mg/l, y la intensidad dependerá de la cantidad de acetaldehído presente, mientras que una concentración ≥ 50 mg/l produce una nota “química” que resulta desagradable al consumidor (Medina, 2008; Santillán y García, 1998).
- **Diacetonas vecinales:** Las diacetonas vecinales como el diacetilo y la 2,3-pentadiona son productos del metabolismo de aminoácidos, pero a diferencia de los alcoholes superiores son producidas sólo por procesos anabólicos. Todos tienen un sabor a mantequilla dulce, el diacetilo es el más importante por tener umbrales de identificación muy bajos (0.1 mg/l) comparado con los otros compuestos. La concentración de diacetilo tiene que ver con la cepa empleada y generalmente en todas las bebidas el contacto prolongado con la levadura baja los niveles por las transformaciones efectuadas (Santillán y García, 1998).

1.3.6 Ésteres

Los ésteres, son compuestos orgánicos de 2 o más átomos de carbono y 1 grupo éster. El perfil de ésteres y sus concentraciones depende de la cepa de levadura empleada. Los principales ésteres que se encuentran en las bebidas alcohólicas son el acetato de etilo, el lactato de etilo y el acetato isoamilico. El acetato de etilo y el acetato de isoamilo están relacionados con sabores frutales. Diferentes temperaturas de fermentación generan diferentes perfiles, especialmente la formación de acetato de etilo y de 2-fenil acetato, que están favorecidos por un



aumento de la temperatura. Las presiones cercanas a la atmosférica promueven la formación de ésteres etílicos con ácidos grasos (Santillán y García, 1998).

- ❖ Acetato de etilo: Está presente en pequeñas cantidades en las bebidas alcohólicas. La cantidad de acetato de etilo presente, dependerá del tipo de bebida, encontrándose en condiciones normales en cantidades menores a 2mg/100 ml, una concentración superior a 550 mg/100 ml indica una alteración microbiológica y no del proceso de esterificación de la bebida durante el añejamiento.

Los ésteres son de los compuestos responsables del sabor más numerosos en las bebidas alcohólicas. Son producidos intracelularmente como resultado de la condensación de ésteres de Coenzima A (CoA) de ácidos grasos con alcoholes (Santillán y García, 1998).

1.3.7 Furfural

El furfural es un producto químico cuya fórmula es: $C_5H_4O_2$ y su nombre genérico es 2-furfuraldehído; es el derivado más conocido del furano. La producción de los compuestos furánicos como el furfural son producidos por la reacción de Millard. Estos compuestos furánicos, sin embargo, son de particular interés debido a su asociación con adenomas y carcinomas hepatocelulares cuando están presentes en altas concentraciones (Rivera y Aguilera, 2000).

Es un compuesto que se forma por la deshidratación de las pentosas en medio ácido y con calor. Su concentración varía de acuerdo al tipo de bebida, al tipo de destilación y a las reacciones que presente su proceso de añejamiento. La nota que brinda es a la de almendra, pero suele verse más pronunciada en muestras añejadas ya que son compuestos cuya concentración suele verse beneficiada cuando la bebida presenta un contacto por cierto tiempo con la barrica de roble o encino (Rivera y Aguilera, 2000).



1.4 Importancia económica del mezcal.

El mezcal ya ocupa un lugar importante en el gusto de los consumidores, no sólo en México sino a nivel internacional. Tan sólo en los últimos 9 años, la producción de esta bebida típica mexicana se incrementó en más de 360 por ciento, al pasar de 433 mil a 2 millones de litros al año, mientras que en ese mismo periodo las exportaciones crecieron en 245 por ciento, de 214 mil a 739 mil litros al cierre de 2013, lo que habla de un auge en el consumo en esta bebida, que llega a cotizarse hasta en 500 euros en el viejo continente (Hernández y Castro, 2015).

El mezcal se ha convertido en una de las bebidas alcohólicas con mayor crecimiento en México ya que entre 2012 y 2013 su producción se disparó 140 por ciento, al sumar 2.5 millones de litros. Se estima que esta tendencia positiva se mantenga e incluso llegue a ser más significativa durante los próximos años, debido al crecimiento y los cambios del consumo nacional e internacional (ASERCA, 2015; González, 2015).

Para el mercado nacional se envasaron 800 mil litros en 2013, lo que implica un incremento de 150 por ciento respecto a un año antes debido al aumento en el consumo pero también a la regulación e inspección de más empresas mezcaleras por parte del CRM (González, 2015).

El organismo aseveró que el mezcal es la tercera categoría de licores más valiosa en el mercado, únicamente por debajo del coñac y el armañac, además de que las exportaciones siguen en aumento (González, 2015).

El país obtiene 40 millones de dólares anuales por exportaciones que van en aumento porque las ventas foráneas crecieron 12 por ciento en el 2013 al llegar a los 914 mil litros. Con 300 marcas registradas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual, 1,200 destilerías en el país y cerca de 26 mil familias dedicadas a la producción del mezcal, esta industria cuenta con un gran potencial



para crecer y fortalecer su capacidad exportadora (ASERCA, 2015; González, 2015).

El mezcal se ha posicionado en el mundo como una bebida de alta calidad y las principales ciudades que importan este producto cien por ciento mexicano son Londres y Nueva York, donde está considerada una bebida gourmet. Durante 2013, los principales destinos de exportación de mezcal fueron Estados Unidos (55%), Australia (9%), Chile (4%), Reino Unido (3%) y Alemania (2.5%). Las categorías más demandadas por los consumidores en mercados internacionales son el mezcal joven, joven con gusano, reposado y reposado con gusano (ASERCA, 2015; González, 2015)

Sin embargo, la producción nacional del mezcal es de 2.5 millones de litros por año, lo que equivale a apenas el uno por ciento de los 250 millones de litros de tequila que se genera en el país. Aun así la producción mezcalera reporta un crecimiento anual de 56 por ciento, según el CRM (González, 2015).

1.5 Legislación de bebidas alcohólicas

1.5.1 NOM-070-SCFI- 1994

El 28 de noviembre de 1994, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994, Bebidas Alcohólicas-Mezcal Especificaciones. Esta norma exige el certificado vigente en el envasado y etiquetado para la comercialización; además, incluye un censo de los predios plantados de agave y un esquema de prueba de laboratorio, así como la vigilancia en todo el proceso de producción. Sin dichas normas el producto no podría comercializarse (COMERCAM, 2015; López *et al.*, 2014).

Dentro de las especificaciones que contempla la norma se pueden encontrar las siguientes:



A. Clasificación del mezcal

De acuerdo al porcentaje de los carbohidratos provenientes del agave que se utilicen en la elaboración del mezcal, éste se clasifica en los tipos siguientes:

- Tipo I: Mezcal 100% agave; Es aquel producto que se obtiene de la destilación y rectificación de mostos preparados directa y originalmente con los azúcares de las cabezas maduras de los agaves, previamente hidrolizadas o cocidas y sometidas a fermentación alcohólica con levaduras, cultivadas o no. Este tipo de mezcal puede ser joven, reposado o añejo y susceptible de ser abocado (NOM-070-SCFI-1994).
- Tipo II: Mezcal; Es aquel producto que se obtiene de la destilación y rectificación de mostos en cuya formulación se han adicionado hasta un 20% de otros carbohidratos permitidos por las disposiciones legales correspondientes. Este tipo de mezcal es joven, reposado o añejo y susceptible de ser abocado (NOM-070-SCFI-1994).

De acuerdo a las características adquiridas debido a la maduración en barricas de roble blanco o encino posterior a la destilación y rectificación (Tabla 6), el mezcal se clasifica en 3 categorías (NOM-070-SCFI-1994).

Tabla 6. Clasificación de los mezcales de acuerdo a su maduración.

Clasificación	Tiempo mínimo de maduración
Joven	-
Reposado	2 meses
Añejo	12 mese

Fuente: Elaboración propia con información de la Norma Oficial Mexicana (NOM-070-SCFI-1994).



B. Especificaciones

El producto objeto de esta norma debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas que establece la Tabla 7.

Tabla 7. Especificaciones del mezcal

ESPECIFICACIONES	MÍNIMO	MÁXIMO
% de alcohol en volumen a 20 °C	36	55
Extracto seco (g/l)	0.2	10.0
Acidez total (como ácido acético)(mg/100 ml de a.a)	0.0	170.0
Alcoholes superiores (mg/100 ml a.a)	100.0	400.0
Metanol (mg/100 ml a.a)	30.0	300.0

Fuente: Norma Oficial Mexicana (NOM-070-SCFI-1994).

C. Denominación de origen

Una característica particular y muy valiosa que tiene la industria del mezcal es que tiene exclusividad de producción, llamada denominación de origen (DO). Una DO es un signo distintivo que se refiere a un nombre geográfico que se destina a un producto, el cual está asociado a las condiciones especiales (factores humanos, naturales, entre otros de la misma región) que le dan un carácter único. Al ser la denominación de origen un signo distintivo referente a una región geográfica, este producto no puede ser apropiado en forma individual o privada, lo que significa que es un elemento de Patrimonio Nacional (López *et al.*, 2014).

En esta NOM se incluye la declaración de protección a la denominación de origen del mezcal (Figura 7), que incluye a los estados de Durango, San Luis Potosí, Guerrero, Zacatecas y Oaxaca, ampliándose esta protección al municipio de San Felipe Guanajuato, el 21 de noviembre de 2001; posteriormente a 11 Municipios del Estado de Tamaulipas, el 3 de marzo de 2003; y a 29 Municipios del Estado de Michoacán, el 22 de noviembre de 2012 (COMERCAM, 2015).





Figura 7. Estados incluidos en la denominación de origen del mezcal.

Fuente: Elaboración propia con información del COMERCAM (2015).

Con la finalidad de garantizar y salvaguardar esta denominación se constituye formalmente como Asociación Civil el 12 de diciembre de 1997 El CONSEJO MEXICANO REGULADOR DE LA CALIDAD DEL MEZCAL, A.C., "COMERCAM", con el propósito de ser el organismo de certificación del mezcal con base a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994 (COMERCAM, 2015).

D. Certificación del proceso de elaboración

La certificación inicia con el registro de plantaciones de agave ante el consejo, esto se realiza con la finalidad de identificar donde se encuentran ubicados los



plantíos de agave e identificar la variedad y garantizar que se encuentre dentro de la zona protegida por la denominación de origen Mezcal (COMERCAM, 2015).

Posteriormente se certifica la fábrica de mezcal, esto se realiza a través de verificaciones en la fábrica donde el productor debe de demostrar en todo momento que no se ha adulterado el producto, desde la entrada de agave hasta la obtención del mismo. El proceso termina con la obtención de un certificado NOM con vigencia de 6 meses, tiempo en el cual el organismo establece verificación permanente en el proceso de producción, terminando este lapso el productor demuestra que sigue cumpliendo con la norma, se le emite otro certificado NOM por otro periodo igual (COMERCAM, 2015).

De igual forma se certifica el proceso de envasado, el envasador debe envasar únicamente producto que haya sido elaborado bajo supervisión del consejo, es decir, Mezcal certificado, y debe demostrar que no haya adulterado el producto desde la recepción del mismo hasta su envasado, el proceso termina con la emisión de un certificado NOM de envasado con vigencia de 6 meses, tiempo durante el cual se verifica las actividades de envasado, terminado este periodo, si demuestra que sigue cumpliendo con lo establecido en la NOM, se le emite otro certificado NOM por otro periodo igual (COMERCAM, 2015).

Como parte final del proceso de certificación, en la comercialización al consumidor final, no se puede comercializar mezcal alguno que no haya sido verificado por el organismo desde su producción y envasado, el producto envasado debe de ostentar el sello de certificación del organismo (Figura 8) , como distintivo que dicho producto es certificado por el consejo (COMERCAM, 2015).





Figura 8. Ejemplo del holograma otorgado por el COMERCAM a los productores certificados.

Fuente: Siente mezcal (2015).

E. Comercialización

No se puede comercializar mezcal alguno que no cuente con un certificado vigente expedido por el organismo de certificación acreditado, de tal suerte, que cualquier autoridad competente puede requerir en todo momento la exhibición de dicho certificado o copia de él en el comercio. La vigencia del certificado no puede ser mayor de 6 meses. El producto embotellado que se exporte o se comercialice en mercado nacional debe ostentar visiblemente sin raspadura alguna el sello del organismo de certificación de producto acreditado o, en su caso, de la unidad de verificación acreditada (NOM-070-SCFI-1994).

F. Marcado y etiquetado en el envase

Cada envase debe ostentar una etiqueta o impresión permanente, en forma destacada, legible e indeleble con la siguiente información en idioma español.

- a) La palabra “Mezcal”;
- b) Tipo y categoría al que pertenece.
- c) Marca comercial registrada en México;
- d) Contenido neto de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-030-SCFI-1993.



- e) Porcentaje de alcohol en volumen a 20°C, debiendo aparecer en el ángulo superior izquierdo, que podrá abreviarse “% Alc. Vol”.
- f) Sólo para el caso del tipo I, el por ciento de contenido de agave.
- g) Nombre o razón social, domicilio y Registro Federal de Contribuyentes del establecimiento fabricante del mezcal; o bien del titular del registro que ostente la marca comercial;
- h) En su caso, nombre o razón social, domicilio y Registro Federal de Contribuyentes del envasador;
- i) La leyenda “HECHO EN MEXICO”;
- j) En su caso, las leyendas “ENVASADO DE ORIGEN” o, en su defecto, “ENVASADO EN MEXICO”.

1.5.2 NOM-142-SSA-1995.

En caso de que la bebida alcohólica no cuente con la certificación del mezcal, la bebida para poder ser comercializada como “destilado de Agave” deberá cumplir con las especificaciones que establece la NOM-142-SSA-1995, Bienes y servicios. Bebidas Alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.

La presente Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer las especificaciones sanitarias y disposiciones de etiquetado sanitario y comercial de las bebidas alcohólicas (Tabla 8) que se comercialicen en el territorio nacional (NOM-142-SSA-1995).



Tabla 8. Especificaciones para bebidas alcohólicas destiladas.

ESPECIFICACIONES	MÍNIMO	MÁXIMO
% de alcohol en volumen a 20 °C	36	55
Aldehídos (mg/ 100 ml a.a)	0.2	10.0
Furfural	0	4
Alcoholes superiores (mg/100 ml a.a)	0	500.0
Metanol (mg/100 ml a.a)	0	300.0

Fuente: Norma Oficial Mexicana (NOM-142-SSA-1995).

1.5.3 NOM-006-SCFI-2005.

La NOM-006-SCFI-2005, Bebidas Alcohólicas-Tequila-Especificaciones, se aplica a todos los procesos y actividades relacionados con el abasto de agave, la producción, envase, comercialización, información y prácticas comerciales vinculadas a la bebida alcohólica destilada denominada Tequila (Tabla 9) (NOM-006-SCFI-2005).

Tabla 9. Especificaciones del tequila.

ESPECIFICACIONES	MÍNIMO	MÁXIMO
Alcohol en volumen a 20 °C (%)	35	55
Extracto seco (g/l)	0	5.0
Alcoholes superiores (mg/100 ml a.a)	20.0	500.0
Metanol (mg/100 ml a.a)	30.0	300.0
Aldehídos (mg/100 ml a.a)	0	40
Ésteres (mg/100 ml a.a)	2	250
Furfural	0	4

Fuente: Norma Oficial Mexicana (NOM-006-SCFI-2005).



¿Es tequila o es mezcal? Debido a la amplia difusión y comercialización que ha tenido el tequila, tanto en el nivel nacional como mundial, es menester establecer la diferencia que existe entre ambas bebidas. El tequila es producido únicamente a partir de la planta de agave *Tequilana Weber* (agave azul) y debe contener desde un 51% hasta un 100% de agave. En tanto que el mezcal se produce a partir de diversos tipos de agave, debe ser producido con un 80 al 100% de agave (López *et al.*, 2014).

Como consecuencia de lo anterior, se puede decir que el tequila es un tipo de mezcal y su nombre apropiado debería ser: “Mezcal de tequila”; de hecho, el nombre original del tequila era: ‘Vino mezcal de tequila’, (López *et al.*, 2014).



OBJETIVOS



2 Objetivos.

Objetivo general

Evaluar el efecto del proceso de elaboración del mezcal, (artesanal e industrial), en los parámetros químicos (fufural) y fisicoquímicos (contenido alcohólico, extracto seco, alcoholes superiores, aldehídos, ésteres y pH) para establecer la influencia del proceso en la calidad de los productos.

Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Evaluar el efecto del tipo de proceso de elaboración de mezcal (artesanal e industrial), en los parámetros fisicoquímicos (contenido alcohólico, extracto seco, alcoholes superiores, metanol, aldehídos, ésteres y pH), para establecer las diferencias en su composición y calidad del producto de acuerdo a las normas mexicanas (NOM-142-SSA1-1995 y NOM-070-SCFI-1994).

Objetivos particular 2

Determinar el efecto del tipo de proceso de elaboración del mezcal (artesanal e industrial), sobre el contenido de furfural, para establecer si dicho parámetro puede ser un indicador de calidad sanitaria del producto.

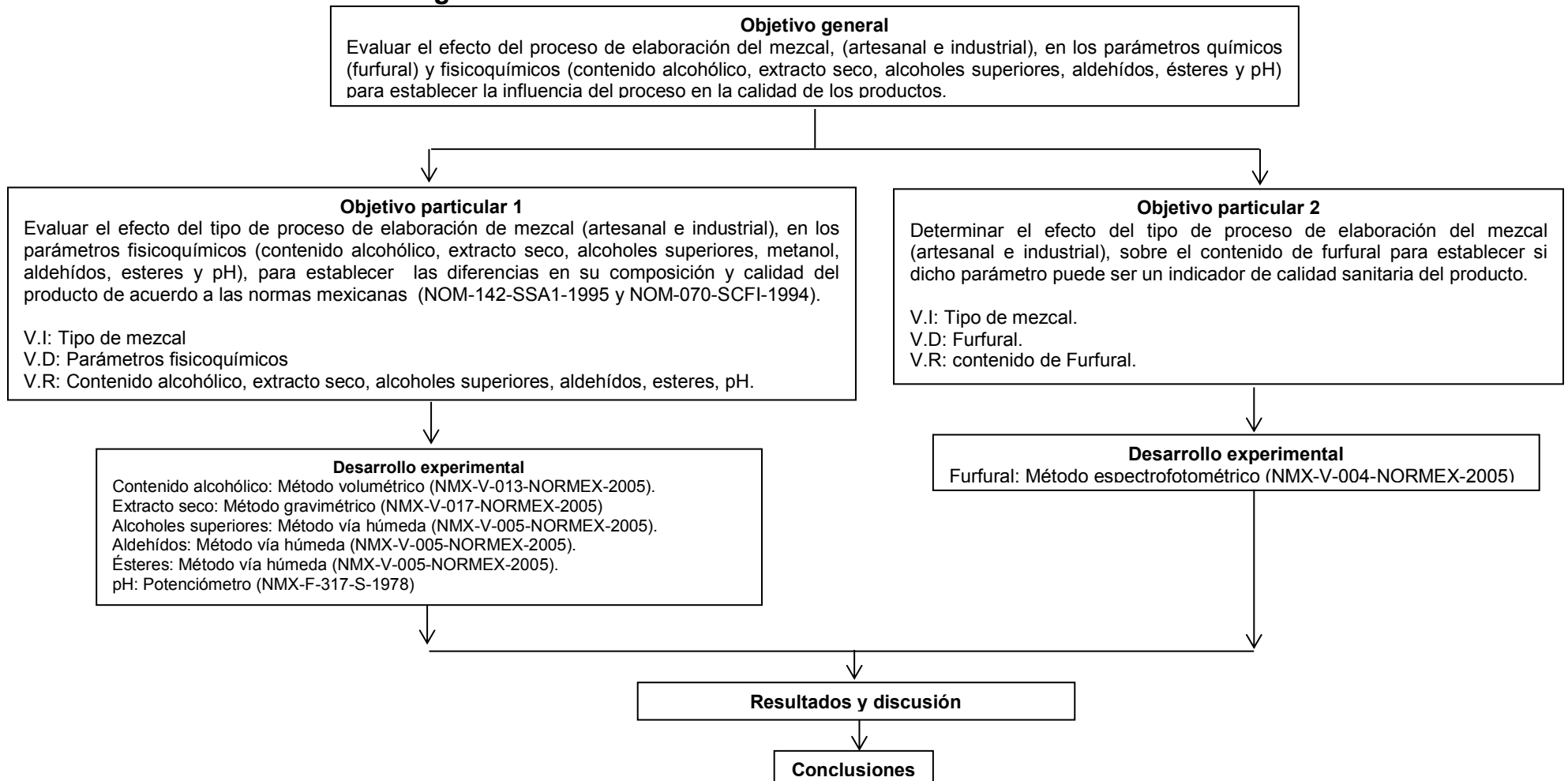


MATERIALES Y MÉTODOS



3 Materiales y métodos

3.1 Secuencia metodológica



Material de estudio.

En el presente estudio se emplearon un total de 12 botellas de mezcal de diferentes marcas. Se dividieron en dos grupos de 6 botellas cada uno, denominando los grupos como “mezcales artesanales” y “mezcales comerciales”.

Los mezcales artesanales fueron adquiridos con pequeños productores en la región de Juchitán, Oaxaca (Figura 9).



Figura 9. Mezcales artesanales.

Los mezcales comerciales fueron adquiridos en vinaterías y tiendas especializadas en la zona metropolitana de la ciudad de México (Figura 10).



Figura 10. Mezcales industriales.

Para la identificación de las 12 marcas de estudio durante la experimentación y análisis de resultados se le asignó un código a cada mezcal compuesto de 2 caracteres, que eran las dos primeras consonantes de la marca de cada botella y cuando la marca constaba de dos palabras se tomó en cuenta la primera consonante de cada palabra (Tabla 10).

Tabla 10. Códigos para la identificación de las botellas.

Clasificación	Marca de mezcal	Código
Artesanal	Benevá	BN
	Matatéco	MT
	Recuerdo de Oaxaca	RO
	Sentimental	SN
	Don Agave	DA
	Juchitéco	JC
Comercial	El Señorío	EL
	Huipil	HP
	Jaral de Berrio	JB
	Zignum	ZG
	Gusano Rojo	GR
	Fandango	FN

3.2 Evaluación de los parámetros químicos y fisicoquímicos en los mezcales artesanales e industriales.

Los mezcales fueron evaluados con doce réplicas para cada marca y se determinaron sus propiedades químicas (furfural) y fisicoquímicas (contenido alcohólico, extracto seco, alcoholes superiores, aldehídos, ésteres y pH). A las técnicas descritas por la norma se les hicieron algunas modificaciones de tiempos y de volúmenes conforme se fue avanzando con la experimentación. Dándoles el mismo tratamiento a todas las muestras, las cuales fueron destiladas, y con el

destilado se realizaron las determinaciones de acuerdo a las técnicas que se describen en el apartado 3.5. A excepción del extracto seco que se trabajó con la muestra de mezcal directa de las botellas. Las muestras destiladas se almacenaron en cámara fría, para llevar a cabo las evaluaciones en los días siguientes con respecto a lo indicado en las técnicas de análisis.

3.3 Evaluación de la información del etiquetado.

Se verificó qué la información contenida en la etiqueta cumpliera con la normatividad vigente (NOM-070-SCFI-1994 y NOM-142-SSA1-1995) y se realizó un cuadro para cada botella, los datos verificados fueron:

- Contenido de alcohol.
- Identificación del número de lote.
- Leyenda precautoria “El abuso en el consumo de este producto es nocivo para la salud”.
- Marca.
- Denominación del producto.
- Contenido neto.
- Nombre, denominación o razón social y domicilio fiscal del productor responsable de la fabricación.
- Tipo y categoría del mezcal al que pertenece.
- Leyenda “Envasado de origen” o “Envasado en México”.
- Sello del COMERCAM

3.4 Técnicas analíticas.

3.4.1 Parámetros químicos

Furfural. El fundamento de la técnica se basa en la determinación colorimétrica del compuesto colorido que se forma al hacer reaccionar el furfural que contenga



la bebida alcohólica destilada con anilina, en presencia de ácido (NMX-V-004-NORMEX-2005).

Para realizar la determinación fue necesario elaborar una curva patrón a diferentes concentraciones de furfural, para lo cual se prepararon soluciones estándar de furfural a partir de una solución madre a una concentración de 0.1 mg/mL (Figura 11). La muestra se preparó diluyendo 1 mL de destilado y completando a 5 mL de volumen total con etanol al 50% y se preparó un blanco con etanol al 50%, se adicionaron tanto a la curva patrón, como a la muestra y al blanco, 100 μ L de anilina y 50 μ L de HCl. Una vez transcurridos 30 minutos se midió la absorbancia a 516 nm en un espectrofotómetro (marca Genesys 10). Expresándose los resultados en mg de furfural/100 mL de alcohol anhidro (a.a).

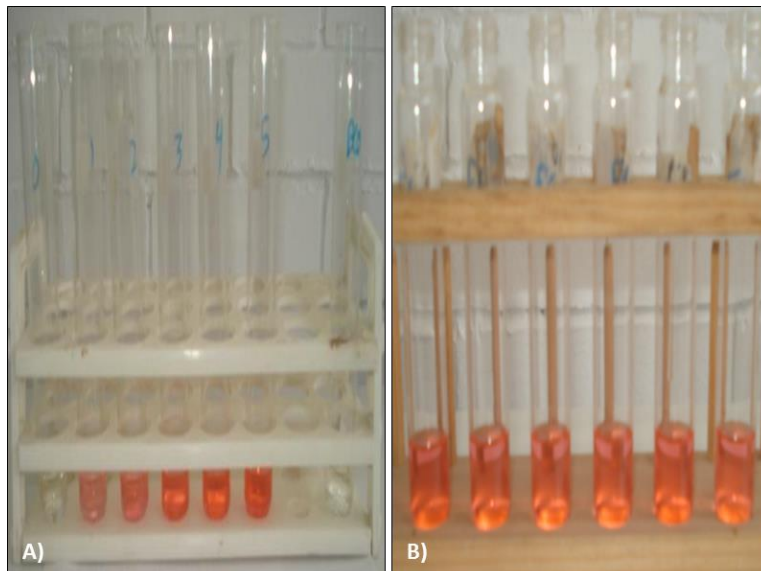


Figura 11. Tubos de ensayo para la determinación de furfural en donde: A) Curva patrón e B) Muestras.

3.4.2 Parámetros fisicoquímicos

Contenido alcohólico (% Alc. Vol.). El contenido alcohólico es la cantidad de alcohol etílico en 100 volúmenes de una mezcla alcohólica. Esta determinación está basada en la medición del contenido alcohólico a una temperatura estable en una mezcla hidroalcohólica, a través de un alcoholímetro y de un termómetro (NMX-V-013-NORMEX-2005).

Se realizó una destilación de 500 mL de mezcal y se le adicionaron 150 mL de agua y se agregaron 20 mL de agua en el matraz de recepción del destilado, a una temperatura de la parrilla de 300°C. Al destilado obtenido se le hizo la lectura directa del contenido de alcohol. Expresándose los resultados en % de alcohol a 20 °C (Figura12).

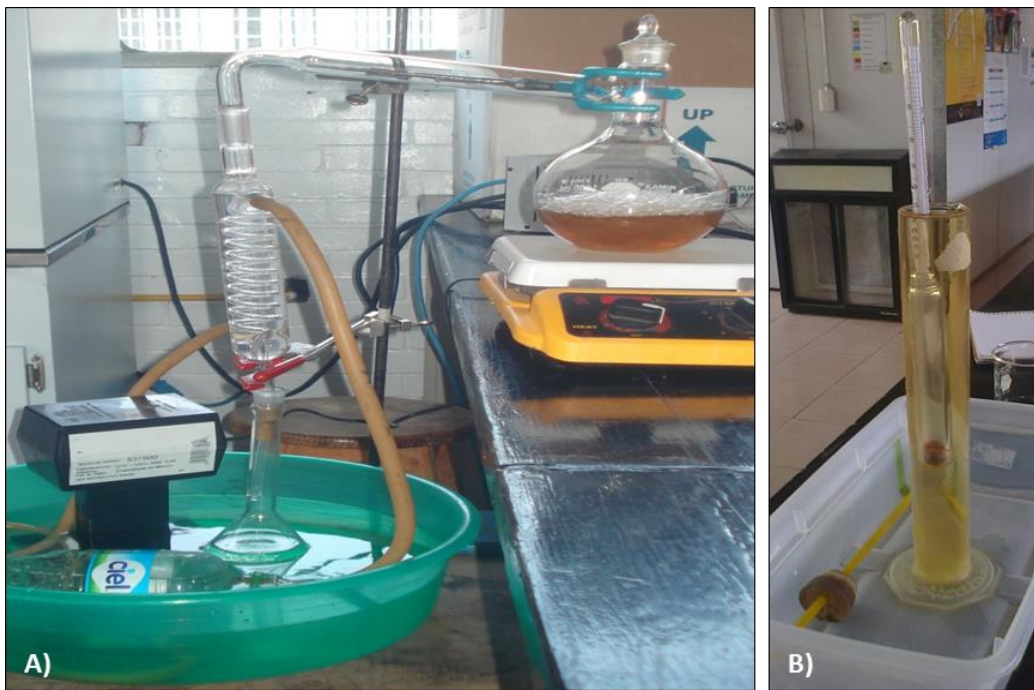


Figura 12. Material y equipo para la determinación del contenido alcohólico en donde: A) Equipo de destilación e B) Alcoholímetro para la medición del porcentaje de alcohol.

Extracto seco. Se basa en la determinación de la masa debida a la evaporación del alcohol, agua y otros compuestos volátiles presentes en las bebidas alcohólicas, a puntos de ebullición o temperaturas cercanas a éste. La proporción de estos compuestos aumenta al elevar la temperatura, por lo tanto, es muy importante comparar sólo los resultados obtenidos usando las mismas condiciones de secado (NMX-V-017-NORMEX-2005).

La determinación de extracto seco se llevó acabo en una estufa con 25 mL de muestra a una temperatura interior de entre 85 y 95 °C, hasta la evaporación total de la muestra. Expresándose los resultados en g/L (Figura13).

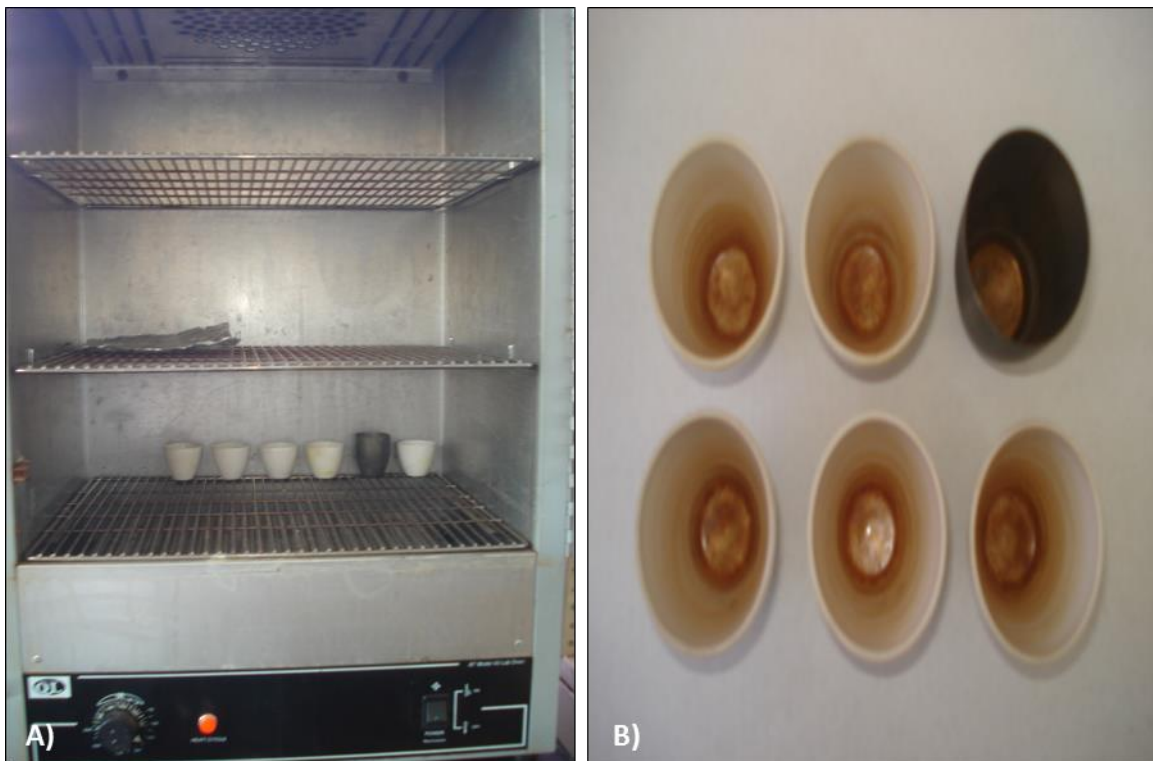


Figura 13. Material y equipo para la determinación de extracto seco en donde: A) Estufa de secado e B) Crisoles con la muestra seca.

Aldehídos. La técnica se basa en el aprovechamiento de la reactividad química del grupo carbonilo del acetaldehído para combinarse fácilmente con un exceso de agentes sulfatados y formar el ácido etanol sulfúrico, el contenido de aldehídos se



determina por el procedimiento indirecto de bisulfito de sodio, el cual se valora mediante una titulación del exceso de yodo con bisulfito de sodio (NMX-V-005-NORMEX-2005).

La determinación de aldehídos en los destilados, se llevó a cabo mediante una titulación, donde se tomaron 10 mL de muestra, se le agregaron 10 mL de agua y 2 mL de bisulfito de sodio 0.05N. Después de media hora se le agregaron 2.5 mL de yodo y se tituló con tiosulfato de sodio, usando como indicador 5 gotas de almidón. Expresándose los resultados en mg de acetaldehído/100 mL de alcohol anhidro (a.a) (Figura 14).

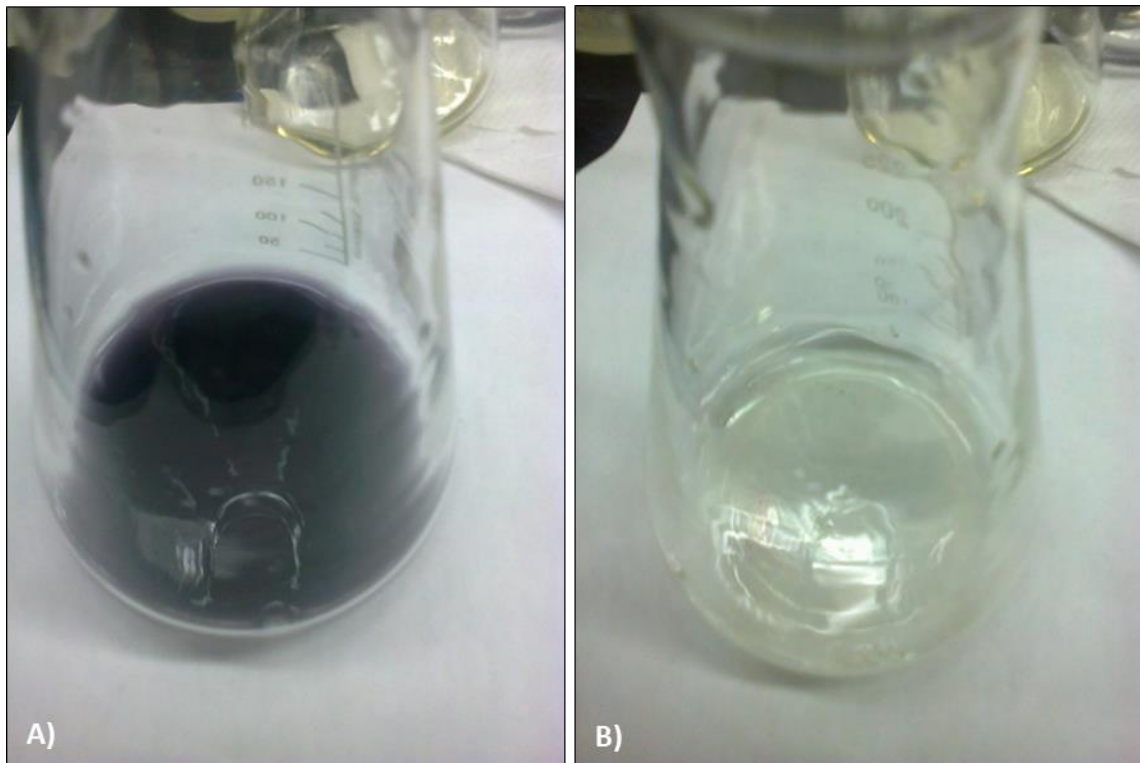


Figura 14. Determinación de aldehídos: A) Antes de la titulación B) Después de la titulación.

Alcoholes superiores. Esta técnica determina los alcoholes superiores de 4 carbonos en adelante (es decir superiores al propílico) y el fundamento se basa en la coloración producida cuando se somete a los alcoholes superiores al calor y a la



presencia de ácido sulfúrico concentrado, la reacción se sensibiliza con la adición del p-dimetilamino benzaldehído. El color producido se lee en el espectrofotómetro a 453 nm (NMX-V-005-NORMEX-2005).

El método para la determinación de alcoholes superiores fue por vía húmeda, realizando la curva patrón a diferentes concentraciones, para lo cual se prepararon soluciones estándar a partir de una solución madre de aceite de fusel (0.1 % m/v) Se preparó aparte la muestra diluyendo 200 μL y completando a 4000 μL de volumen total con agua destilada, de esta solución se tomaron 500 μL de muestra y se pusieron en tubos, se preparó un blanco con 500 μL de agua. Se adicionaron tanto a la curva patrón, como a la muestra y al blanco 250 μL p-dimetilamino benzaldehído, 2.5 mL de H_2SO_4 , se pusieron en agua hirviendo por 30 minutos, se dejó enfriar en agua con hielo por 5 minutos y se atempero por 10 minutos. Una vez atemperadas se midió la absorbancia a 453 nm en un espectrofotómetro marca Genesys 10. Expresándose los resultados en mg de aceite de fusel/100 mL de alcohol anhidro (Figura 15).



Figura 15. Determinación de alcoholes superiores: A) Curva patrón B) Muestras.

Ésteres. La técnica se basa en la titulación de neutralización con solución de ácido clorhídrico al hidróxido de sodio adicionado a un volumen de muestra después de una saponificación (NMX-V-005-NORMEX-2005).

La determinación de ésteres se llevó a cabo mediante una titulación, en donde se tomaron 50 mL de destilado, usando fenolftaleína como indicador se neutralizó con NaOH (0.1 N), posteriormente se agregó un exceso de 5 mL de NaOH (0.1 N). Con la ayuda de condensadores se puso en ebullición por 2 horas, transcurrido el tiempo se enfrió y se atemperó por 15 minutos. Posteriormente se tituló con HCl (0.1 N). Se hizo el mismo tratamiento para el blanco con 50 mL de agua destilada. Expresándose los resultados en mg de acetato de etilo/100 mL de alcohol anhidro (Figura 16).

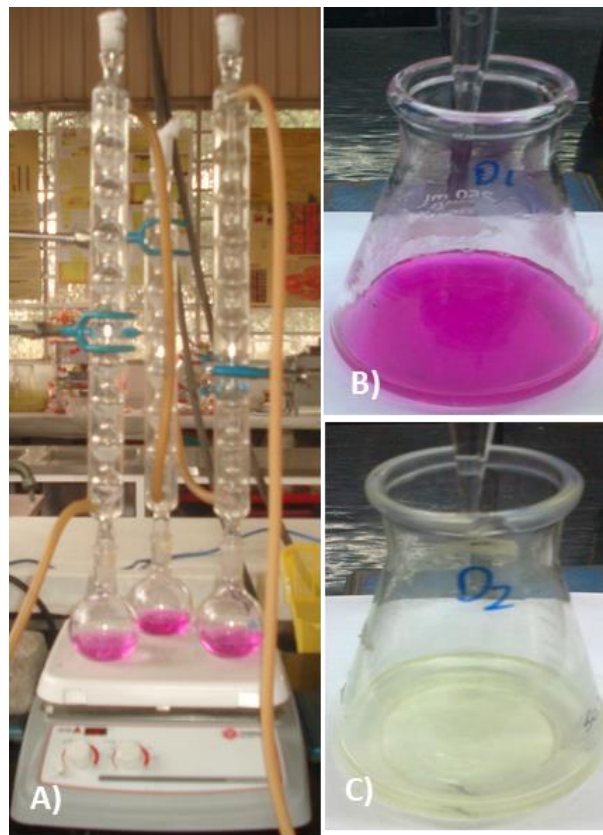


Figura 16. Determinación de ésteres: A) Ebullición de las muestras, B) Muestra antes de la titulación, C) Muestra después de la titulación.

pH. El pH se determinó a través de un potenciómetro utilizando 10 mL de muestra para cada replica. El valor de pH del destilado se midió directamente en la escala

del potenciómetro. Su fundamento es la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto (NMX-F-317-S-1978).

3.5 Análisis estadístico

Un análisis de varianza (ANOVA) se realizó para establecer si existía diferencia significativa entre los procesos de elaboración de mezcal y comparación de medias aplicando un nivel de significancia del 5 % utilizando el modelo de HSD de Tuckey por el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 20.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4 Resultados y discusión

4.1 Verificación del etiquetado de las botellas

La norma para mezcales establece que: “No se puede comercializar mezcal alguno que no cuente con un certificado vigente expedido por el organismo de certificación (COMERCAM) y la vigencia del certificado no puede ser mayor de 6 meses” (PROFECO, 2013).

En la Tabla 11 se presenta el análisis del etiquetado de las botellas de mezcal artesanal, de acuerdo a lo que establece la norma NOM-070-SCFI-1994.

Tabla 11. Etiquetado de mezcales artesanales.

Marca	Contenido de alcohol (% de Alc. a 20°C)	Tipo de mezcal	Categoría de mezcal	Etiquetado
Benevá	38.0	100% de Agave	Joven con gusano	No presenta holograma del COMERCAM
Matateco	40.0	100% de Agave	Joven	No presenta holograma del COMERCAM. No indica lote.
Recuerdo de Oaxaca	N.E	N.E	N.E	No presenta holograma del COMERCAM Sin etiqueta, botella decorada a mano y de reúso.
Sentimental	38.0	100% de Agave	N.E con caña de Agave.	No presenta holograma del COMERCAM. No indica lote.
Don Agave	38.0	100% de Agave	Joven	No presenta holograma del COMERCAM No indica leyenda “Hecho en México”
Juchiteco	N.E	N.E	N.E con caña de Agave	No presenta holograma del COMERCAM Sin información del productor. No indica lote. No indica leyenda “Hecho en México”



Se puede observar que de las 6 marcas de mezcal artesanal con las que se trabajó, el total de las botellas no cumplen con las especificaciones que establece la norma, por lo que no pudieran ser comercializados por no tener la información necesaria en la etiqueta y al no contar con la certificación que otorga el COMERCAM.

En la Tabla 12 se presenta el análisis del etiquetado de las botellas de mezcal industrializado, de acuerdo a lo que establece la norma NOM-070-SCFI-1994.

Tabla 12. Etiquetado de mezcales industriales.

Marca	Contenido de alcohol (% de Alc. a 20 °C)	Tipo de mezcal	Categoría de mezcal	Etiquetado
El Señorío	38.0	100% de Agave	Joven con gusano	Completo
Huipil	38.0	Mezcal	Reposado con gusano	Completo
Jaral de Berrio	36.0	100% de Agave	Joven	Completo.
Zignum	38.0	100% de Agave	Reposado	Completo
Gusano rojo	40.0	100% de Agave	Reposado	No presenta holograma del COMERCAM No indica lote
Fandango	36.0	100% de Agave	Reposado	No especifica leyenda "envasado de origen"

De los mezcales industriales solo cuatro marcas (El Señorío, Huipil, Jaral de Berrio y Zignum) cumplen con el etiquetado completo y la certificación por parte del organismo. Dos marcas (Gusano rojo y Fandango) no cumplen con las especificaciones de etiquetado y de estas marcas solo Gusano rojo no presenta el holograma por parte del organismo certificador. Por lo cual estas dos marcas tampoco pudieran ser comercializadas de acuerdo a lo establecido por la norma NOM-070-SCFI-1994.



4.2 Efecto del tipo de proceso, en la elaboración del mezcal sobre los parámetros fisicoquímicos y químicos

4.3 Parámetros fisicoquímicos

- Contenido alcohólico

En la Figura 17 se presenta el contenido alcohólico obtenido del análisis de los mezcales artesanales (A) e industriales (B).

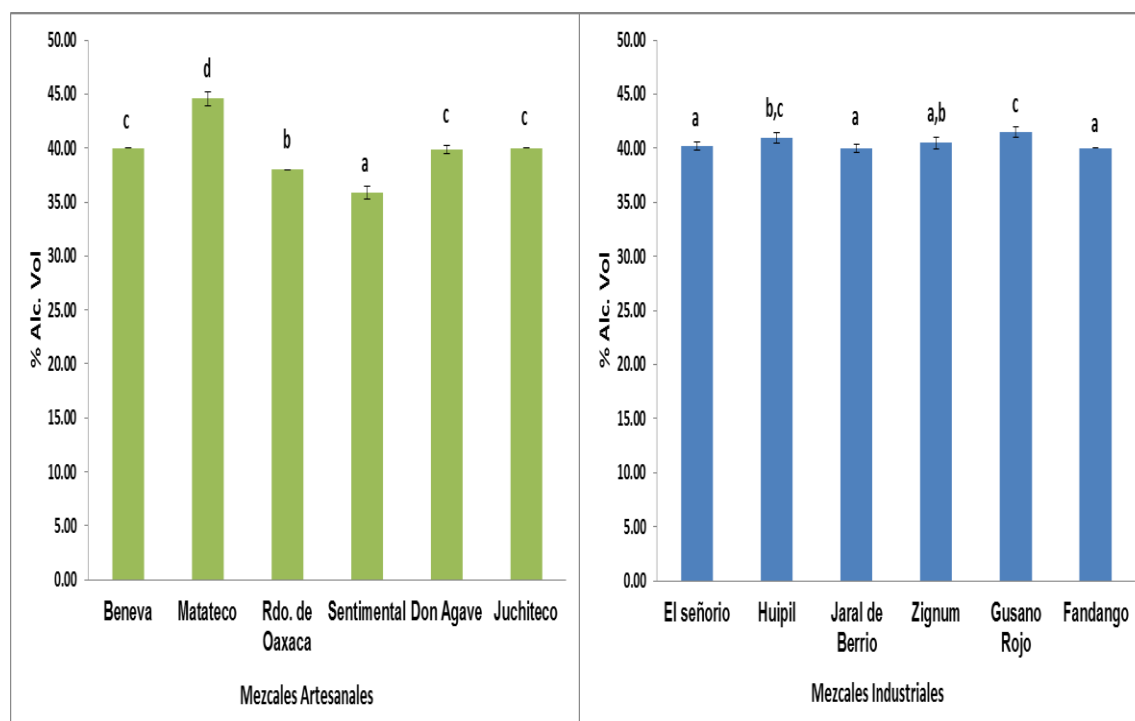


Figura 17. Contenido alcohólico en mezcales; A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$.

Se puede observar que de los mezcales artesanales (Figura 17A), el que presentó la concentración más alta de alcohol en volumen fue Matateco con 44.58 % representando un contenido mayor de 14.75% en comparación con el mezcal Recuerdo de Oaxaca y de 19.62% en comparación con el mezcal Sentimental que

fue el que presentó un menor porcentaje (38% Alc. Vol.), presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) de estas dos marcas con respecto al resto de los mezcales.

De los mezcales industriales (Figura 17B), el que presentó la mayor concentración de alcohol en volumen fue Huipil con un contenido de 41.5% siendo 3.20% mayor, en comparación con el mezcal Señorío y de 3.61% con respecto al mezcal Fandango, presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre estas marcas de mezcales.

A nivel comercial, el contenido alcohólico es de gran importancia ya que las bebidas alcohólicas se comercializan y cotizan según su grado alcohólico. También es importante conocer la concentración de etanol debido a su relación con las sensaciones sensoriales que mejoran la calidad de la bebida; por ejemplo, para el caso de los vinos con bajo contenido de alcohol poseen un carácter sin cuerpo, por el contrario los vinos que tienen un elevado contenido de alcohol, generalmente son de carácter "insulso" y "ardiente" (Fernández *et al.*, 2009).

La diferencia en la concentración de etanol puede ser por falta del control de condiciones durante la fermentación o por la evaporación de este alcohol al ser almacenada la bebida en contenedores inadecuados.

En un estudio realizado por la PROFECO (2013), el grado alcohólico que se reporta para mezcales con características similares a los utilizados en este trabajo fue de 36-49 % Alc. Vol, por lo que los mostrados en este estudio se encuentran dentro de este intervalo, no siendo así para el mezcal Sentimental (35.83%) ya que presenta un valor menor que incumple con el rango que establece la norma de 36-55 % Alc. Vol. El incumplimiento en la concentración de etanol puede ser por falta de control de las condiciones durante la fermentación o por la evaporación de este alcohol al ser la bebida almacenada en contenedores inadecuados. Por lo que ésta bebida no pudiera ser comercializada con la



denominación de mezcal por no cumplir con el parámetro establecido por la norma NOM-070-SCFI-1994 ni tampoco con lo que declara en su etiquetado

- **Extracto seco**

En la Figura 18 se presenta el contenido de extracto seco, obtenido del análisis de los mezcales artesanales (A) e industriales (B).

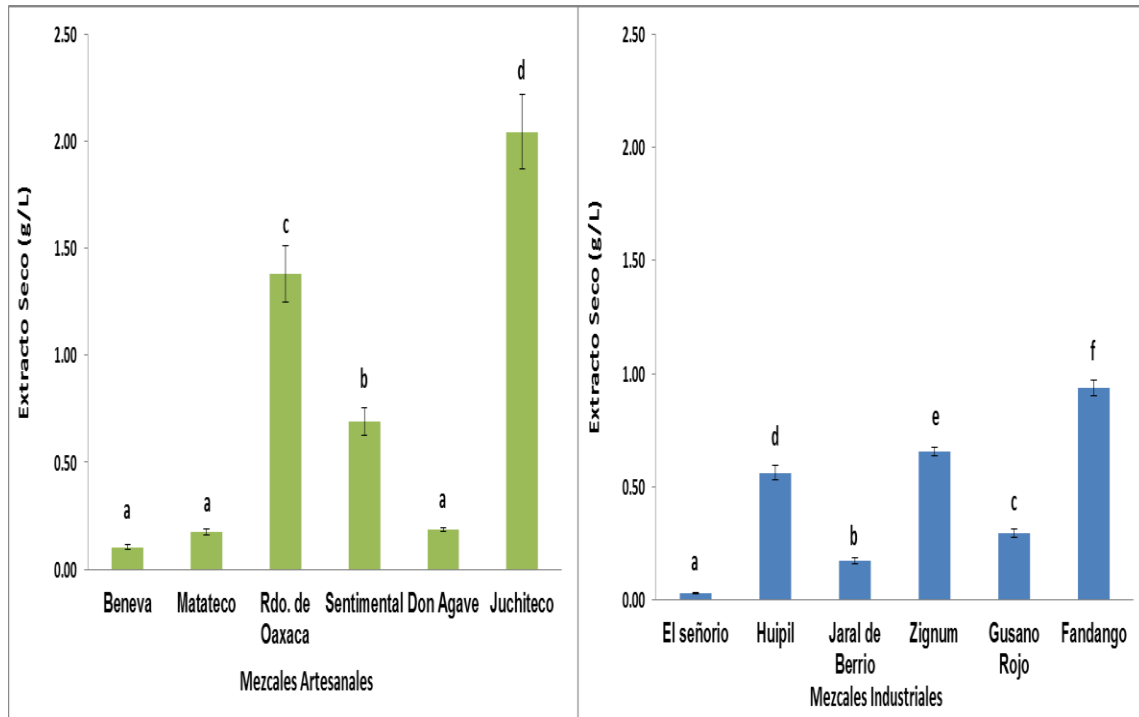


Figura 18. Extracto seco en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$.

En la Figura 18A se observa el contenido de extracto seco obtenido del análisis de los mezcales artesanales, el que presentó mayor contenido de este parámetro fue Juchiteco con 2.04 (g/L) representando un contenido mayor de 90.68%, con respecto a Don Agave, un 91.17% con respecto a Matateco y de un 95.09% en comparación con Benevía, que fueron los mezcales con el menor contenido para este parámetro, presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los diferentes mezcales. Esto fue debido a que los mezcales Juchiteco y Recuerdo de Oaxaca,

fueron abocados con trozos de agave que al mantenerse en las botellas, con el transcurso del tiempo comenzaron a deshacerse y esto influyó directamente sobre el extracto seco de dichos mezcales, es por eso que en el contenido de extracto seco es mayor en comparación con los demás mezcales artesanales. Este parámetro junto con el contenido de alcohol, proporciona una idea del cuerpo y la estructura de la bebida en la boca. Se sabe que a mayor contenido de extracto seco, presentará mejor cuerpo (Almanza *et al.*, 2012).

En el caso de los mezcales industriales (Figura 18B) se puede observar que la marca que presentó el mayor contenido de extracto seco fue Fandango con 0.94 (g/L) lo que representa un 96.80% más que el mezcal El Señorío que fue el de menor contenido. En los mezcales Jaral de Berrio y El Señorío, el menor contenido de extracto seco fue debido a que fueron mezcales jóvenes que no pasaron por un periodo de añejamiento en barrica, por lo cual, este tiempo de maduración influye directamente en el contenido de extracto seco en los mezcales. Cabe señalar que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de extracto seco en los mezcales industriales.

El contenido de extracto seco reportado por López *et al.* (2014) para tequila de 0.04-0.79 g/L, por lo que mezcales como Fandango, Recuerdo de Oaxaca y Juchiteco se encuentran por arriba de los mostrados en ese estudio, por lo que se puede decir que un contenido alto de este compuesto es indeseado para los mezcales ya que representa una adulteración por impurezas que como en este caso se da por el desprendimiento de partículas por las cañas contenidas en los mezcales o por el desprendimiento de partículas de la madera durante el añejamiento y que esta característica no se busca en los mezcales. Para este parámetro lo que establece la norma NOM-070-SCFI-1994 es un intervalo de extracto seco de 0.2-10 g/L por lo que con respecto a los resultados anteriores los mezcales Benevía, Don Agave, Jaral de Berrio y El Señorío, no cumplen con esta especificación.



• Alcoholes superiores

En la Figura 19 se presenta el contenido de alcoholes superiores obtenido del análisis de los mezcales artesanales (A) e Industriales (B).

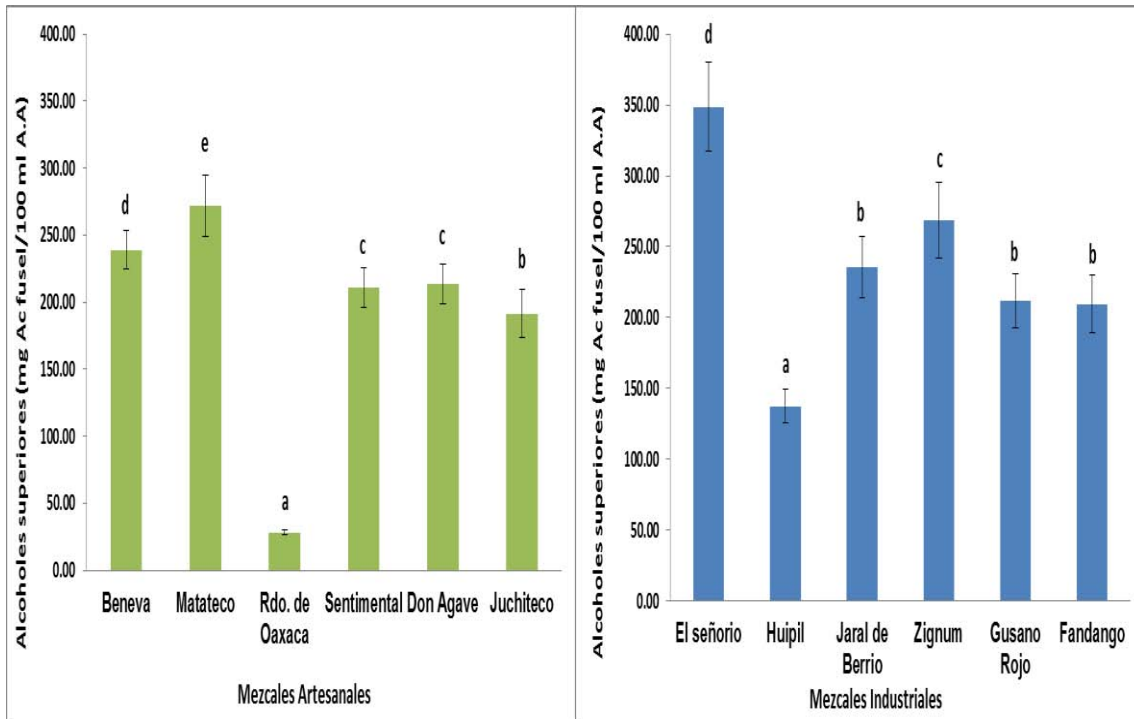


Figura 19. Contenido de alcoholes superiores en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$.

De los mezcales artesanales (Figura 19A) el de mayor contenido de alcoholes superiores fue Matateco con un contenido de 271.92 (mg Ac. De fusel/ 100 mL de a.a) que representa el 89.5 %, mayor que el mezcal Recuerdo de Oaxaca que fue el de menor contenido. De los mezcales industriales (Figura 19B) el de mayor contenido de alcoholes superiores fue El Señorío con 348.58 (mg Ac. De fusel/ 100 mL de a.a) que representó un 60.6% más de alcoholes superiores en comparación con el mezcal Huipil, que fue el de menor contenido. Los mezcales

Jaral de Berrio, Gusano Rojo y Fandango tuvieron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los otros tres mezcales.

El contenido de alcoholes superiores en los mezcales depende de las condiciones del proceso de elaboración, principalmente durante la fermentación y de la técnica de destilación empleada al momento de hacer los cortes de las principales fracciones, puntas, cuerpo y colas, ya que la mayor concentración de alcoholes superiores se encuentra en las puntas y disminuye conforme transcurre la destilación (Vera *et al.*, 2009), por lo que se puede suponer que el corte de colas y puntas en los mezcales se realiza de manera correcta, ya que Vera y colaboradores (2009) señalan valores de alcoholes superiores en mezcales que van desde 285-389 mg de aceite de fusel/100 mL de a.a, y para lo cual la norma MNOM-070-SCFI-1994 establece que el contenido de alcoholes superiores debe de ser de (100-400 mg de aceite de fusel/100 ml de a.a.), se puede observar que el único mezcal que no cumple con lo establecido es Recuerdo de Oaxaca, siendo menor el contenido, por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se puede deducir que este mezcal ha sido rebajado con las colas de la destilación y los productores al hacer este tipo de prácticas sin un análisis posterior recurren a vender la bebida fuera de la especificación que establece la norma . Es importante señalar que el consumo de estos productos no representa un riesgo de toxicidad por la presencia de alcoholes superiores.

- **Aldehídos**

En la Figura 20 se presenta el contenido de aldehídos obtenido del análisis de los mezcales artesanales (A) e Industriales (B).

Los mezcales artesanales (Figura 20A) con mayor contenido de aldehídos fueron Don Agave y Matateco, con 18.82 y 18.33 (mg acetaldehído/ 100 mL de a.a) representando un porcentaje de 54% mayor que los mezcales Benevía y Sentimental, mientras que fueron mayores en un 51.35% en comparación con los mezcales Recuerdo de Oaxaca y Juchiteco. Cabe destacar que los mezcales



Benevía, Recuerdo de Oaxaca, Sentimental y Juchiteco no presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en este parámetro.

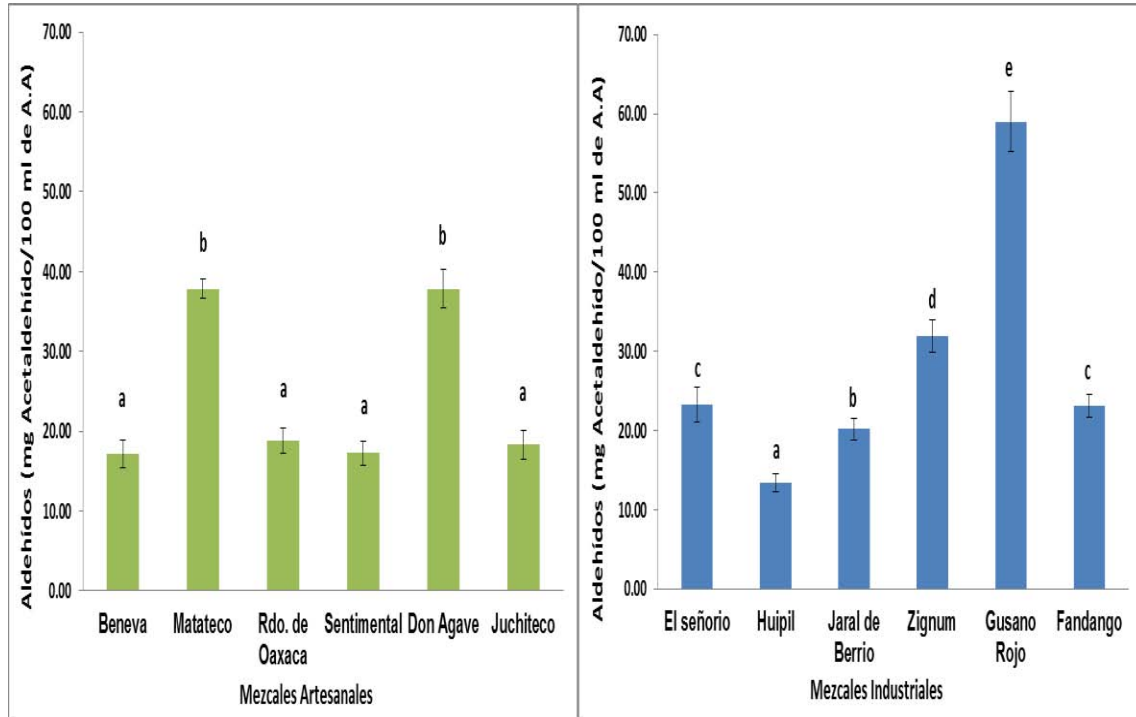


Figura 20. Contenido de aldehídos en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican \pm desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$.

Para el caso de los mezcales industriales (Figura 20B) todos presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de aldehídos, siendo mayor el mezcal Gusano Rojo con (58.97 mg de acetaldehído/ 100 mL de a.a) que representó un 77.25% mayor en comparación el mezcal Huipil que fue el de menor contenido de aldehídos.

La concentración final de aldehídos depende de la calidad de las materias primas y las condiciones de fermentación (Medina *et al.*, 2011), por lo que se podría esperar que para los mezcales industrializados al contar con sus procesos estandarizados el contenido de aldehídos sea más homogéneo que para los mezcales artesanales, que carecen de control durante la fermentación y selección

de materias primas. En este estudio se puede observar que esta hipótesis es falsa, ya que los que presentan mayor contenido de este compuesto son los industriales y al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio y los obtenidos por López *et al*, (2013) que reporta valores de aldehídos en tequilas que van de 4.6 hasta 13.7 mg de acetaldehído/100 mL de a.a, se observa que los valores encontrados son superiores a los reportados por dicho autor, por lo que se puede concluir que la variedades de agave influyen directamente en el contenido de aldehídos. Por otra parte Vera y López (2009) ha identificado aldehídos, cetonas y terpenos, entre otros compuestos volátiles minoritarios que están presentes en el mezcal; sin embargo, la normatividad de dicha bebida no los contempla, es por eso que este parámetro fue evaluado con respecto a la norma NOM-006-SCFI-2005 que establece un intervalo de 0-40 mg de acetaldehído/100 ml de a.a, siendo el mezcal Gusano Rojo el que no cumple con dicho intervalo, lo cual indica que si hay un efecto por el proceso de producción en los diferentes mezcales.

- **Ésteres**

En la Figura 21 se presenta el contenido de ésteres obtenido del análisis de los mezcales artesanales (A) e Industriales (B).

Los mezcales artesanales (Figura 21A) que presentaron el mayor contenido de ésteres, fueron Juchiteco y Matateco con 61.68 y 61.40 (mg de acetato/100 mL de a.a) respectivamente que representaron un porcentaje mayor de 26.64% y 18.22% en comparación con el mezcal Don Agave que fue el del menor contenido. En este parámetro los mezcales artesanales no muestran diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los mezcales Matateco, Recuerdo de Oaxaca y Sentimental.



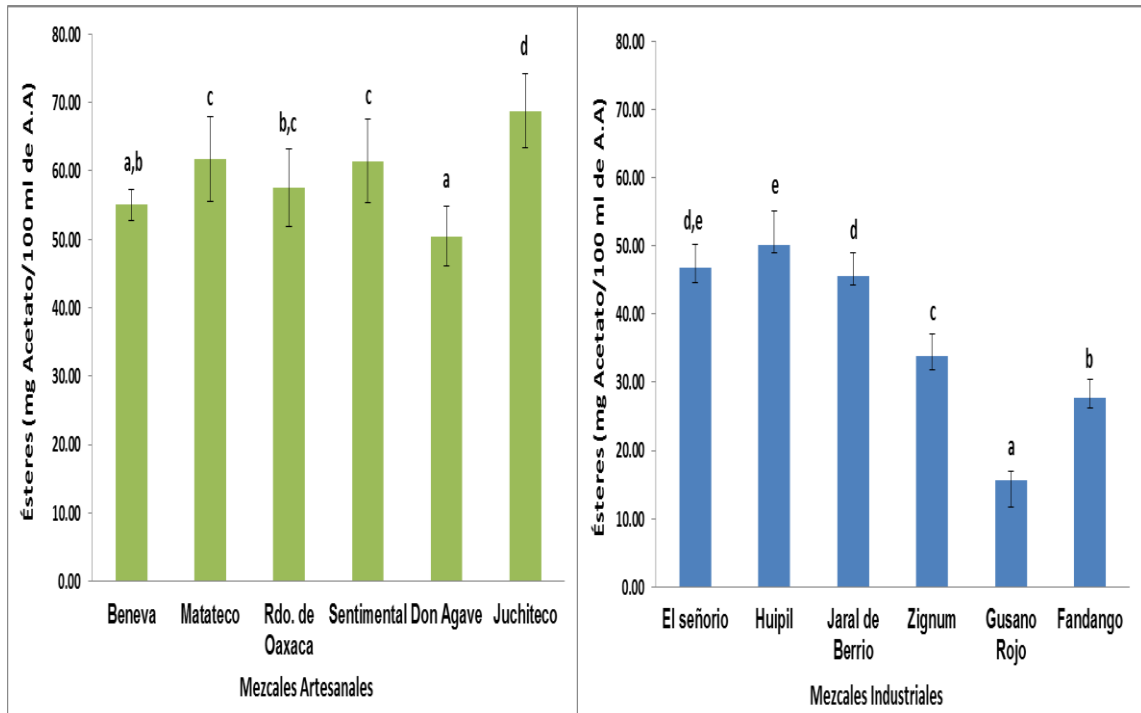


Figura 21. Contenido de ésteres en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$.

Los mezcales industriales (Figura 21B) presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en el contenido de ésteres, no existiendo esta entre los mezcales Huipil y El Señorío, siendo los de mayor contenido con 50.08 y 46.74 (mg de acetato/100 mL de a.a) que representaron el 68.94% y 66.73% respectivamente en comparación con el mezcal Gusano Rojo que fue el de menor contenido.

Los mezcales artesanales presentan un mayor contenido de ésteres, debido a que al no existir control durante la fermentación pudiera verse afectada la operación por contaminación de bacterias lácticas como *Lactobacillus* que llevan a cabo la esterificación de alcoholes tales como el etanol, geraniol, alcohol isoamílico y 2-feniletanol, aumentando las concentraciones de ésteres. Es probable que la mayoría de los ésteres determinados sean producto del metabolismo de las levaduras, o bien, podrían haber sido formados durante su almacenamiento por la

esterificación de los ácidos grasos en presencia de concentraciones altas de etanol. Se encontró que diversos autores reportan concentraciones de ésteres de 17.51% en diferentes mezcales lo cual refuerza los hallazgos encontrados en este estudio donde se puede observar que el proceso de elaboración influye en el contenido de los congéneres analizados, sin embargo y debido a que la norma NOM-070-SCFI-1994 no contempla este parámetro, se hizo el análisis con respecto a lo que establece la norma NOM-006-SCFI-2005 que permite un contenido de ésteres de 2-250 mg de acetato/100 ml de a.a por lo que se puede observar que todos los mezcales analizados están dentro de dicho intervalo (Escalante *et al.*, 2008; Molina *et al.*, 2007).

- **pH**

En la Figura 22 se presenta el pH de los mezcales artesanales (A) e Industriales (B) analizados.

En la Figura 22A se muestra el pH de los mezcales artesanales analizados, en donde se puede observar que el mezcal con mayor pH fue Recuerdo de Oaxaca con 7.68 que representa un 46.61 %, en comparación con el mezcal Benevía, que fue el de menor pH. Entre los mezcales Matateco, Sentimental, Don Agave y Juchiteco no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) al presentar un pH de 41.4 a 44.0% respectivamente en comparación con el mezcal Recuerdo de Oaxaca.

Para los mezcales industriales (Figura 22B) el de mayor pH fue El Señorío con 7.02 y los de menor pH fueron Huipil con 61.96% y Zignum con 68.9% en comparación con El Señorío, presentándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre todos los mezcales analizados.

Para el caso de bebidas alcohólicas no existe una norma mexicana que regule el pH de las mismas, pero estudios realizados por Pérez *et al.*, (2013) reportan valores de pH de 3.6-5 en mezcales elaborados con Agave cupetra, se puede determinar que el pH de las bebidas varía de acuerdo a la especie de agave



utilizada como materia prima y a las condiciones de operación durante la cocción y la fermentación (Vera et al, 2009). Por lo que no es posible comparar los resultados aquí obtenidos, con algunos encontrados en la literatura porque no sabemos el tipo de agave utilizado para la elaboración de los mezcales analizados en este estudio.

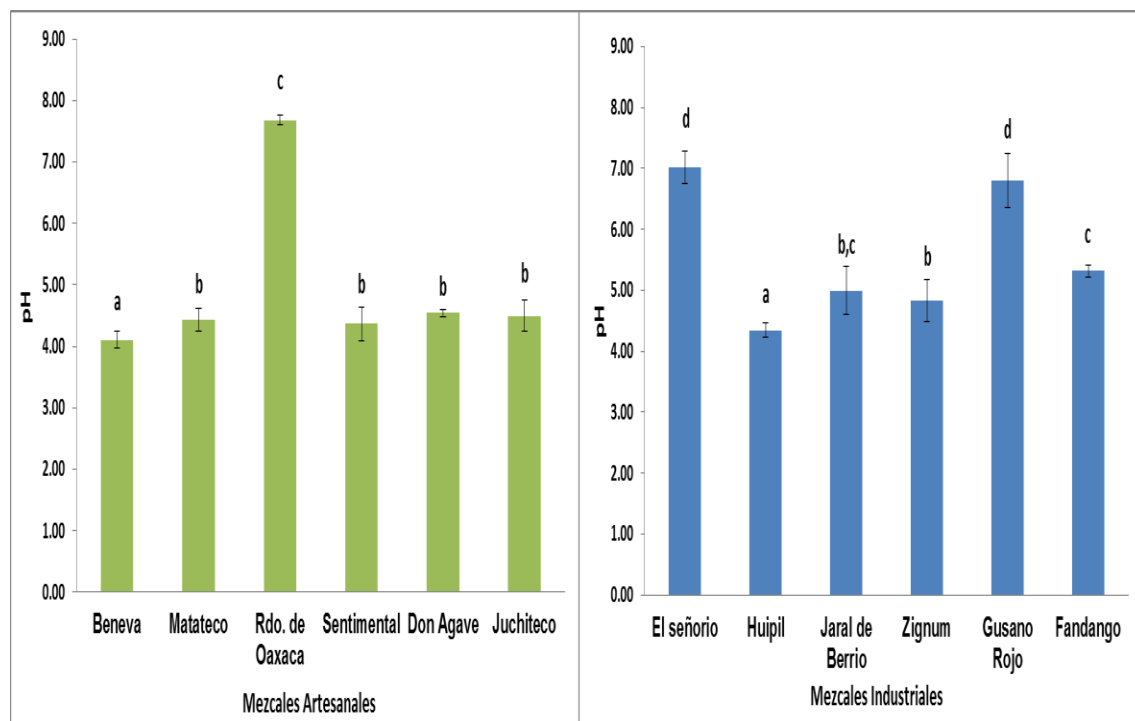


Figura 22. Evaluación del pH en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$.

4.4 Parámetros químicos

- **Furfural.**

En la Figura 23 se presenta el contenido de furfural presente en mezcales artesanales (A) e Industriales (B) analizados.

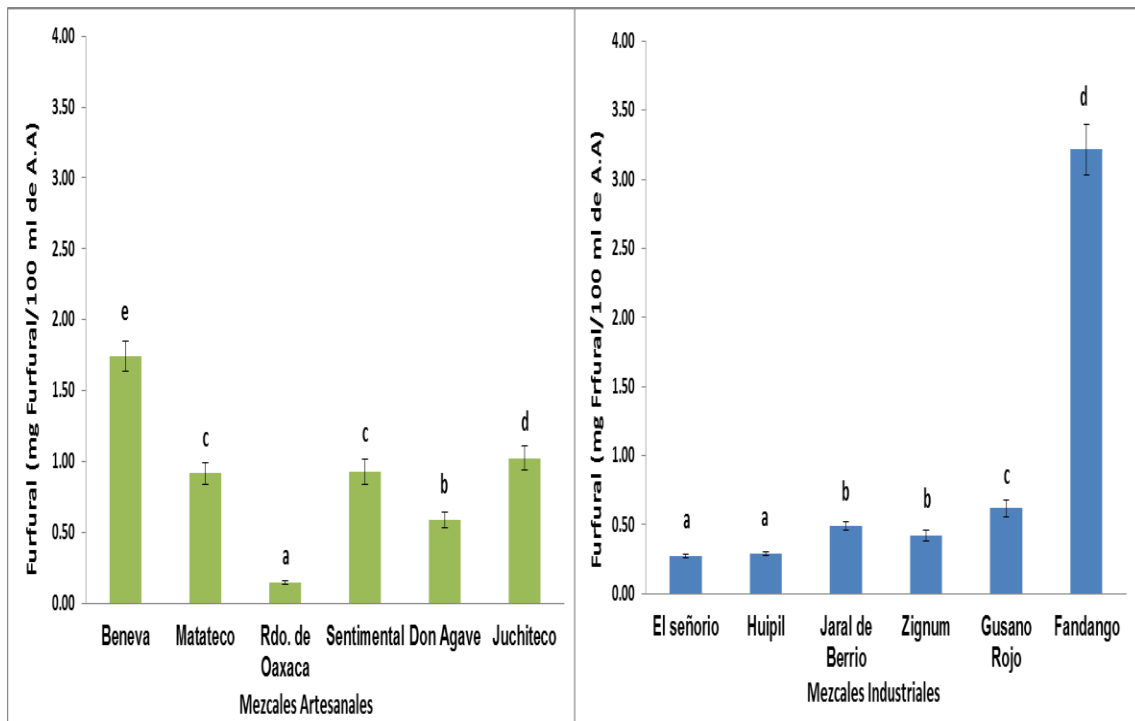


Figura 23. Contenido de furfural en mezcales, A) Artesanales e B) Industriales. Las barras verticales indican +/- desviación estándar de doce réplicas. Las letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa $p > 0.05$.

De los mezcales artesanales (Figura 23A) el de menor contenido de furfural fue Recuerdo de Oaxaca con 0.15 (mg de furfural/100 mL de a.a) representando un 8.62% menor en comparación con Benevá que fue el de mayor contenido, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los diferentes mezcales artesanales.

De los mezcales industriales (Figura 23B) el de mayor contenido fue Fandango con 3.22 (mg de furfural/100 mL de a.a) representando un 93.78% mayor en comparación con los de menor contenido que fueron El Señorío y Huipil, existiendo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las diferentes marcas de mezcal industrial que fueron analizadas.

El contenido de furfural en los mezcales artesanales puede servir como indicador para comprobar que la bebida se obtuvo a partir de Agave como materia prima y

que la formación de estos compuestos se lleva a cabo durante la cocción y el añejamiento, por lo que es de suponer que un mezcal que pasó por un reposo en barrica presentará un contenido mayor de furfural, sin embargo, se puede observar que de acuerdo a los resultados presentados en este estudio el contenido de furfural fue ligeramente mayor en los mezcales artesanales, lo que podría indicar que no se tuvo un control adecuado durante el proceso de cocción y por lo tanto no se controlan las reacciones no enzimáticas que son las principales responsables de la formación de este compuesto por lo que se podría suponer que pasa lo mismo para el caso del mezcal industrial Fandango. Se puede decir que para este compuesto el proceso de elaboración tiene un efecto sobre el contenido de este componente. Sin embargo éste parámetro no está considerado en la norma NOM-070-SCFI-1994, pero si en la norma para bebidas alcohólicas NOM-142-SSA1-1995 y la norma para tequila NOM-006-SCFI-2006, en las cuales se establece un rango de aceptación de hasta 4 mg de furfural/100 mL de a.a para lo cual se puede observar que todos los mezcales analizados cumplen con dicho parámetro, resultados que coinciden con estudios realizados por la revista del consumidor (2013) y por Molina *et al.* (2006).



CONCLUSIONES



Conclusiones.

Con base en los resultados mostrados se puede concluir lo siguiente:

1. Los mezcales artesanales no cumplieron con las especificaciones de etiquetado y envasado que establece la norma NOM-070-SCFI-1994, sin embargo, y de acuerdo a los resultados presentados en este estudio, esto no afecta la calidad del producto. En cuanto a los mezcales industriales no todos cuentan con la certificación del COMERCAM, y cumplen al 100% las especificaciones de los parámetros fisicoquímicos de la norma.
2. Los mezcales artesanales presentaron los valores más altos en extracto seco, esterres, furfural y pH, siendo evidente que el proceso de elaboración del mezcal afecta directamente su composición. Sin embargo casi todos los mezcales evaluados cumplieron con los intervalos establecidos en la norma NOM-070-SCFI-1994 por lo cual el consumo medido no representaría ningún daño para el consumidor, demostrando que los mezcales artesanales son de alta calidad.
3. Los productores artesanales no cuentan con el certificado del Consejo Regulador Mexicano de la Calidad del Mezcal (COMERCAM) y por lo cual no pueden comercializar sus productos más allá de un mercado local, a pesar de ello se muestran dentro de este estudio que poseen alta calidad para ampliar su mercado no solo nacional sino internacionalmente.



RECOMENDACIONES



Recomendaciones.

Con base en los resultados mostrados anteriormente se puede recomendar lo siguiente:

- Realizar un estudio de evaluación sensorial de los mezcales analizados.
- Estudiar mezcales artesanales producidos en otras regiones que comprenden la denominación de origen (Durango, Zacatecas, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Michoacán, Guerrero).
- Validar los procedimientos de análisis para ofrecer curso de asesoría y capacitación a pequeños productores.
- Aprovechar la moda en el consumo de mezcales para promover una actualización de la normatividad vigente.
- Estudiar otras bebidas alcohólicas en las que se usa al agave como materia prima.



REFERENCIAS



Referencias.

- ACAMEXTEQUILA. (2014). Academia Mexicana del Tequila, A.C. El Agave. Cámara de la Industria Nacional del Tequila. (Consultado el 01 de junio, 2014; Disponible en: <http://www.acamextequila.com.mx/amt3/elagave.html>).
- Aguilar, A. (1993). Estudio sobre el proceso de producción y calidad del mezcal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
- Aldana, P. (2012). Los mezcales del Occidente de México y la Destilación Prehispánica.). En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves. CICY-CONACYT-CONABIO-INE. Mérida, Yucatán.
- Aleixandre, J. (1999). Vinos y bebidas alcohólicas. Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Almanza, E., Figueroa, J., Alvarado, D., Herrera, G. y Guzmán, H. (2012). Caracterización fisicoquímica de vinos tinto Malbec con diferente tiempo de añejamiento. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3(7): 1374-1360.
- Alonso, R. (2007). Determinación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) en Mezcal por Cromatografía de Gases y Espectrometría de Masas (CG-EM). Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. UNAM.
- Amerine, M. y Ough, C. (1976). Análisis de vinos y mostos. Acribia. Zaragoza, España.
- Arratia, J. (2009). Diversidad genética de las levaduras involucradas en la fermentación del mezcal tamaulipeco. Tesis de Maestría. Centro de biotecnología genómica. Instituto Politécnico Nacional. Reynosa, Tamaulipas. México.
- ASERCA. (2015). Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. Degustación de Tequila y Mezcal. (Consultado el 16 de septiembre, 2015; Disponible en: http://www.aserca.gob.mx/promocion/desarrollo/Eventos_2015/Lists/Noviembre/Attachments/53/PROYECTO_Degustacion_TEQUILA_MEZCAL_2015.pdf).



- Biodiversidad. (2015). (Consultado el 31 de marzo, 2015; Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/mezcales/mMapa.html>).
- Blomberg, L. (2000). Tequila, Mezcal y el pulque. Lo auténtico mexicano. Diana, México.
- Calvo, M. (2012) Toxicología de los alimentos. México. McGraw-Hill Interamericana.
- Carazola, J. y Xirau, M. (2005). Técnicas usuales de análisis en enología. Panreac Química. Barcelona, España.
- Chapa, M. (2006). Bebidas mexicanas: la ruta del espíritu. Everest. León, España.
- Colunga, P. y Zizumbo, D. (2007). Tequila and other Agave spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. *Biodiversity and Conservation*. 16 (6): 1653-1667.
- Colunga, P., Larqué, A., Eguiarte, L. y Zizumbo, D. (2007). En lo ancestral hay futuro: del tequila, lo mezcales y otros agaves. CICY-CONACYT-CONABIO-INE. Mérida, Yucatan. 402.
- COMERCAM, (2014a). Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (México), Elaborando mezcal. (Consultado el 01 de junio, 2014; Disponible en: <http://www.crm.org.mx/revista/Elaboracion>).
- COMERCAM, (2014b). Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (México), Diversidad de Agave. (Consultado el 01 de junio, 2014; Disponible en: <http://www.crm.org.mx/revista/Diversidad/>).
- COMERCAM. (2015). Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (México). (Consultado el 02 de abril, 2015; Disponible en: http://www.crm.org.mx/Quienes_Somos.html)
- Durán, H. y Pulido, J. (2007). Análisis de la molienda en el proceso de elaboración de mezcal. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí*. 18(1): 47-52.



- Eguiarte, L. y Souza, V. (2007). Historia natural del *Agave* y sus parientes: Evolución y Ecología. Departamento de Ecología Evolutiva, Instituto de Ecología, UNAM.
- Escalante, P., Blasck, H., Barba de la Rosa, A., Santos, L. y De León A. (2008). Identification of yeast and bacteria involved in the mezcals fermentation of *Agave salmiana*. Letters in applied microbiology.
- Escalante, W., Rychtera, M., Melzoch, K., Quilama, E. y Hatta, Beatriz. (2011). Estudio de la actividad fermentativa de *Hansenula anomala* y producción de compuestos químicos de importancia sensorial. Revista Peruana de Biología. 18(3): 325-334. Diciembre. Facultad de ciencias biológicas. UNMSM.
- Fernández. V., Berradre, M., Ojeda, G. y Peña, J. (2009). Caracterización química y contenido mineral en vinos comerciales venezolanos. Facultad de Ciencias. Universidad del Zulia. Venezuela. Rev. Fac. Agron. 26(1): 382-397.
- FND. (2011). Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. Monografía del Mezcal. (Consultado el 23 de febrero, 2014; Disponible en: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaMezcal\(mar11\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaMezcal(mar11).pdf)).
- García, E., Méndez, S. y Talavera, D. (2010). El género *Agave SPP*, en México: Principales usos de importancia socioeconómica y Agroecológica. Profesores investigadores. Campus San Luis Potosí. México.
- García, M., Quintero, R. y López, A. (1993). Biotecnología alimentaria. Editorial Limusa. México.
- González, S. (2015). Aumenta 140% producción de mezcal en México entre 2012 y 2013. La Jornada en línea. (Consultado el 02 de abril, 2015; Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2014/11/28/aumenta-140-produccion-de-mezcal-en-mexico-entre-2012-y-2013-3894.html>).
- Goodman, L. (2007). Las bases farmacológicas de la terapéutica. México. McGraw-Hill Interamericana.



- Hernández, J. y Domínguez, M. (2003). Estrategias de Mercadotecnia y los negocios de mezcal. Convergencia. Revista de Ciencias Sociales. Enero-abril. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 10(31).
- Hernández, S. y Castro, Y. (2015). Mezcal michoacano: de su origen a sus estrategias de comercialización, una aproximación. Global Conference on Business and Finance Proceedings. 10(1).
- Hidalgo, M., Cruz, P. y Pérez, L. (2010). Tecnificación del proceso de producción de mezcal, en el estado de Oaxaca, México. XIV Congreso Internacional de dirección e ingeniería de proyectos. Madrid, España.
- LAQUIMIA (2015). Laboratorio Químico Industrial y Agrícola S.A de C.V (Consultado el 01 de agosto, 2015; Disponible en: <http://www.laquimia.com/index.php/servicios/analisis/bebidas-alcoholicas>).
- López, G., Martínez, J., Cavazos, J. y Mayett, Y. (2014). La cadena de suministro del mezcal del estado de Zacatecas. Situación actual y perspectiva de desarrollo. Contaduría y Administración, abril-junio 2014. Universidad Popular Autónoma de Puebla. 59 (2): 227-252.
- López, J., Martín del Campo, S., Escalona, H., García, J. y Estarrón, M. (2013). Physicochemical quality of tequila during barrel maturation. A preliminary study. Journal of Food. 11(3): 223—233.
- Lozano, J. (2005). Intoxicación por metanol en el consumo de bebidas alcohólicas adulteradas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México.
- Magnúsdóttir, K. y Johannesson, T. (2000). Ethanol in blood after of light alcoholic beverages. Pharmacology and Toxicology. 297-298. Denmark.
- Marroquín, L., Pérez, A., Resendez, D., Moreno, C., Lara, S., Lázaro, D., y Luna C. (2010). Determinación química y estudio terapéutico de *Agave Tequilana Weber*. Revista Salud Pública y Nutrición. Facultad de ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Martínez, A. (2008). Tequila, mezcal y cerveza: De México para el mundo. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 5:2 143-150.



- McMurry, J. (2001) Química orgánica. México. International Thomson.
- Medina, G., Juárez, R. y Peña, A. (2011) Identification and quantification of aldehydes in mezcal by solid phase microextraction with On-fiber derivatization-Gas Chromatography. Departamento de química analítica de la Facultad de Química. UNAM. México.
- Medina, M. (2008). Cuantificación de alcoholes superiores y aldehídos en mezcal por cromatografía de gases y microextracción en fase sólida seguido de cromatografía de gases. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. UNAM.
- Molina, A., Botello, E., Estrada, A., Navarrete, L., Jiménez, H., Cárdenas, M. y Rico, R. (2007). Compuestos volátiles en el mezcal. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 6(1): 41-50.
- Muñoz, A., Pichardo, J., Ramos, G., Barbosa, O., Maldonado, J., Meneses, M. y López, P. (2010). Identification and quantification of furanic compounds in tequila and mezcal usin spectroscopy and chemometric methods. Journal of Brazilian Chemical Society, 21(1): 1077-1087.
- Muriá, J. (2004). Tequila. Sant Salvador, Lleida. Milenio.
- NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- NMX-V-004-NORMEX-2005. Bebidas Alcohólicas-Determinación de furfural-Métodos de Ensayo (Prueba).
- NMX-V-005-NORMEX-2005. Bebidas Alcohólicas-Determinación de aldehídos, ésteres, metanol y alcoholes superiores-Métodos de Ensayo (Prueba).
- NMX-V-013-NORMEX-2005. Bebidas alcohólicas-Determinación del contenido alcohólico (por ciento de alcohol en volumen a 293 K) (20 °C) (% Alc. Vol.)-Métodos de Ensayo (Prueba).
- NMX-V-017-NORMEX-2005. Bebidas Alcohólicas-Determinación de extracto seco y cenizas-Métodos de Ensayo (Prueba).



- Nolasco, H. (2007). Caracterización y cuantificación de lípidos simples en mezcal y sus productos intermedios por cromatografía de gases. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Químicas. UNAM.
- NOM-006-SCFI-2005. Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones
- NOM-070-SCFI-1994. Bebidas alcohólicas-mezcal-especificaciones.
- NOM-142-SSA1-1995. Bienes y servicios. Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.
- Pérez, E., González, J., Chávez, M. y Cortés C. (2013). Caracterización fermentativa de levaduras productoras de etanol a partir de jugo de *Agave cupetra* en la elaboración de mezcal. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 12(3) 451-461.
- Planetaflora. (2015). (Consultado el 31 marzo, 2015. Disponible en: <https://planetaflora.wordpress.com/2014/07/31/dibujos-familia-agavaceae/>).
- PROFECO. (2013). Procuraduría Federal del Consumidor. Revista del consumidor. Septiembre. México. 56-74.
- Pueblos de México (2015). (Consultado el 31 marzo, 2015; Disponible en: http://www.pueblosmexico.com.mx/articulo_pueblos.php?id_article=24325).
- RAE. (2015). Real Academia Española. Diccionario en línea. (Consultado el 02 de abril, 2015; Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=ZH7MMY9>).
- Rivera, M. y Aguilera, J. (2000). Propiedades físicas y termodinámicas del furfural (Primera parte). Revista Tecnología química. Vol. XX. Núm. 1. Universidad de Oriente. La Habana, Cuba.
- SAGARPA. (2014). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (Consultado el 23 de febrero, 2014; Disponible en: <http://www.gob.mx/sagarpa/archivo/todos>).
- Santillán, M. y García, M. (1998). Biosíntesis de congenéricos durante las fermentaciones alcohólicas. Revista Latinoamericana de Microbiología. 40: 109-119.
- Serra, M. y Lazcano, J. (2014). ¿Es el mezcal una bebida de origen prehispánico? Fundación de investigaciones Sociales A.C. (Consultado el 01



- de junio, 2014; Disponible en: <http://www.alcoholinformate.org.mx/saberdelmundo.cfm?id=63&catID=4>).
- SIAP. (2015). Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. (Consultado el 02 de abril, 2015; Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>).
 - Siente mezcal (2015). Origen y calidad. (Consultado 02 abril 2015. A las 13:58, disponible en: http://www.sientemezcal.com/origen_y_calidad.php).
 - UTU. (2014) Universidad del trabajo del Uruguay. Extracto seco. (Consultado el 01 de junio, 2014; Disponible en: <http://www.utu.edu.uy/Escuelas/departamentos/canelones/vitivinicultura/Laboratorio/Modulo%20propedeutico%20Teorico/Extracto%20seco%20.pdf>).
 - Valenzuela, A. (2007). Signos distintivos en los alimentos y bebidas mexicanas: una propuesta a partir de la denominación de origen mezcal. Revista de salud pública y nutrición (Abril/Junio 2007), 8. (Consultado el 11 de febrero, 2015; Disponible en: <http://www.respyn.uanl.mx/viii/2/ensayos/mezcal.htm>).
 - Vera, A., Guzmán, P. y López, M. (2009). Compuesto volátiles generados durante la elaboración de mezcal de *Agave angustifolia* y *Agave potatorum*. Revista fitotecnia mexicana. Vol. 32. Núm. 4. Octubre-diciembre, 2009, pp 273-279. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. México.
 - Zizumbo, D. y Colunga, P. (2007). La introducción de la destilación y el origen de los mezcales en el occidente de México. Centro de investigación científica de Yucatán. México.
 - Zizumbo, D., Colunga, P., Vargas, O., Rosales, J. y Nieto, R. (2009). Tecnología agrícola tradicional en la producción de vino mezcal (mezcal y tequila) en el sur de Jalisco, México. Revista de Geografía Agrícola, enero-junio. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 42: 65-82.

