

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA Y BIOQUIMICA

TESIS PROFESIONAL

ESTABLECIMIENTO DE LOS PARAMETROS DE CONTROL DEL PROCESO DE ELABORACION DE MEZCAL EN EL PALENQUE "RECUERDO DE MI PADRE" DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO MATATLAN, OAXACA.

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTA:

KAREN SUGEY JUAN JOSE

ASESOR:

ING. JORGE MIGUEL MARTINEZ CANSECO

COMISIÓN REVISORA

DRA. CLAUDIA LÓPEZ SANCHEZ

M. en C. MINERVA DONAJÍ MÉNDEZ LÓPEZ

M. en D. FLOR DE BELEM PÉREZ CHÁVEZ

RESUMEN

La elaboración de mezcal es una de las actividades económicas más representativas del estado de Oaxaca. La alta demanda se debe a la gran variedad de especies de maguey empleadas en su elaboración y a su riqueza en sabor y olor características de la bebida. El proceso de elaboración comienza con la selección y corte del maguey seguido de la cocción en donde los fructanos son hidrolizados a azúcares simples; la molienda, proceso que permite reducir el tamaño de partícula y obtener jugos azucarados; la fermentación, etapa fundamental en la cual los microorganismos presentes producen los diferentes compuestos que le proporcionan el aroma y sabor a la bebida, posteriormente se continua con la destilación en alambiques de cobre, donde se busca la concentración de los componentes del mezcal, mediante dos destilaciones (ordinaria y refinado).

Este trabajo se basó en el control del proceso de elaboración de mezcal de la especie de *Agave angustifolia* Haw de una fábrica artesanal del municipio de Santiago Matatlán, Oaxaca, mediante el seguimiento de la cocción, fermentación y destilación. Para muestras de agave crudo se realizó el análisis de Azúcares Reductores Totales (ARD) y Azúcares Reductores Directos (ARD) en muestras de agave cocido; posteriormente, en la destilación se tomaron muestras de mezcal ordinario y mezcal refinado, realizando la determinación de acidez de acuerdo al método normativo NMX-AA-036-SCFI-2001 y grado alcohólico mediante el método normativo NMX-V-013-NORMEX-2005. En base a los datos obtenidos mejorar las condiciones de fabricación y establecer medios para el control de calidad del proceso.

Lo anterior permitió establecer parámetros de control de calidad que lleven a tipificar el proceso y determinar los parámetros de control necesarios de implementar para mantener proceso estandarizado.

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	V
INDICE DE GRAFICAS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
INTRODUCCION.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
OBJETIVOS	10
Objetivo general.	10
Objetivos específicos	10
JUSTIFICACION	11
CAPITULO I. MARCO TEORICO	12
1.1 El Mezcal y su Clasificación.....	12
1.2 AGAVE	16
1.3 Proceso de Producción de Mezcal	18
1.3.1 Corte.....	18
1.3.2 Cocción.....	19
1.3.3 Molienda.....	20
1.3.4 Fermentación.....	20
1.3.5 Destilación	22
1.4 Características fisicoquímicas del mezcal	23
1.5 Compuestos volátiles presentes en el mezcal.....	24
CAPITULO 2. METODOLOGIA	27
2.1 Cocción	29
2.1.1 Toma de muestra maguey crudo.....	30
2.1.2 Toma de muestra de maguey cocido.....	31
2.1.3 Análisis de ARD y ART.....	32
2.2 Fermentación.....	34
2.3 Destilación.....	34
2.3.1 Toma de muestra primera destilación u ordinario.....	34
2.3.2 Toma de muestra de refinado.....	35
2.3.3 Determinación de grado alcohólico.	37

2.3.4 Determinación de acidez titulable.	38
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	39
3.1 Cocción	39
5.3 Destilación.....	44
CONCLUSIONES	49
Bibliografía	50
ANEXOS	53
ANEXO A	53
ANEXO B	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias de producción en las tres categorías de mezcal.....	15
Tabla 2. Especies de agave mezcaleros. Fuente: (Nogales, 2018)	16
Tabla 3. Especificaciones de la norma reguladora del mezcal. Fuente: (NOM-070-SCFI-2016, 2016)	21
Tabla 4. Especificaciones de las normas reguladoras de mezcal.	24
Tabla 5. sabores y olores característicos del mezcal.	25
Tabla 6. compuestos aromáticos del mezcal.	26
Tabla 7. Concentraciones de azúcares reductores totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave crudo.	39
Tabla 8. Promedio de las concentraciones de Azúcares Reductores Totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave crudo.	40
Tabla 9. Resultados de las concentraciones de azucars reductores totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave cocido.	41
Tabla 10. Concentraciones de Azúcares Reductores Directos en gr/100ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave cocido.	42
Tabla 11. Resultados de las concentraciones de azucars reductores totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave cocido.	43
Tabla 12. concentraciones de azucars reductores totales en g/ml por el método de Lane-Eynon para muestras de jugos de agave cocido.	44
Tabla 13. Resultados obtenidos de porciento de alcohol y acidez total para mezcales ordinarios de la primera postura.	45
Tabla 14. Resultados obtenidos de porciento de alcohol y acidez total para mezcales ordinarios de la primera postura.	46
Tabla 15. Variación estadística de la determinación de acidez total.....	46
Tabla 16. Resultados obtenidos de porciento de alcohol y acidez total para las muestras de la segunda postura	47
Tabla 17. Resultados obtenidos de porciento de alcohol y acidez total para mezcales ordinarios de la segunda postura.	47
Tabla 18. Porcentaje de coeficiente de variación para las fracciones de la segunda destilación.....	48
Tabla 19. Grado alcohólico, acidez total y % de coeficiente de variación para la mezcla del refinado.	48
Tabla 20. Porcentaje de coeficiente de variación para las fracciones de la segunda destilación.....	48

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Desviaciones estándar de las concentraciones de ART en muestras de agave crudo respecto a la media.....	40
Grafica 2. Desviaciones estándar de las concentraciones de ARD en muestras de agave cocido respecto a la media.....	42
Grafica 3. Desviaciones estándar de las concentraciones de ARD en muestras de jugos de agave cocido respecto a la media.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Territorio amparado por la Denominación de Origen de Mezcal Vigente	
Fuente: (Consejo Regulador del Mezcal , s.f.)	12
Figura 2. Ubicación geográfica de las regiones dedicadas a la producción de mezcal artesanal (Akaki & Vera, 2017).....	13
Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración de mezcal.....	27
Figura 4. Proceso de producción de mezcal en el palenque “recuerdo de mi padre”	
Fuente: Fotografías tomadas en estudio de campo.	28
Figura 5. Recolección de la materia prima. Fuente: fotografías tomadas en estudio de campo.	30
Figura 6. Toma de muestra de agave crudo	31
Figura 7. Retiro de la piñas cocidas del horno Fuente: Fotografía tomada en estudio de campo Fuente: fotografía tomada en estudio de campo.....	31
Figura 8. Técnica de Lane-Eynon para la determinación de ARD y ART. Fuente: fotografía tomada en estudio de campo.	33
Figura 9. Partes que forman el alambique de cobre. Fuente: fotografías tomadas en estudio de campo.	36
Figura 10. Determinación de grado alcohólico. Fuente: fotografías tomadas durante análisis experimentales.	37
Figura 11. Determinación de acidez titulable. Fuente: fotografías tomadas durante	38

INTRODUCCION

La palabra mezcal se deriva de la palabra náhuatl "*mezcalli*" que significa agave cocido en horno. Según la NOM-070-SCFI-2016 el mezcal es una bebida alcohólica destilada mexicana, 100% de maguey o agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de magueyes o agaves cocidos, cosechados en el territorio comprendido por la resolución. Es un líquido de aroma y sabor derivado de la especie de maguey o agave empleado, así como del proceso de elaboración; diversificando sus cualidades por el tipo de suelo, topografía, clima, agua, productor autorizado, maestro mezcalero, graduación alcohólica, microorganismos, entre otros factores que definen el carácter y las sensaciones organolépticas producidas por cada mezcal.

Debido a que el proceso de elaboración del mezcal en el estado de Oaxaca es principalmente de tipo artesanal, los productores realizan su proceso mediante conocimiento adquirido por generaciones, sin embargo, es necesario que se realice un control del proceso, debido a lo anterior, el presente trabajo se basó en el seguimiento del proceso en las etapas de cocción, fermentación (último día de fermentación) y destilación en el palenque "Recuerdo de mi padre" del municipio de Santiago Matatlán, Oaxaca, los datos e información recaudados en campo y control de laboratorio permitirán tipificar el proceso y establecer los parámetros de control necesarios.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mezcal es una bebida alcohólica destilada mexicana, 100 % de maguey o agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de magueyes o agaves cocidos, cosechados en el territorio comprendido por la Resolución. Es un líquido de aroma y sabor derivado de la especie de maguey o agave empleado, así como del proceso de elaboración; diversificando sus cualidades por el tipo de suelo, topografía, clima, agua, productor autorizado, maestro mezcalero, graduación alcohólica, microorganismos, entre otros factores que definen el carácter y las sensaciones organolépticas producidas por cada Mezcal (NOM-070-SCFI-2016, 2016).

En la actualidad, la elaboración de mezcal resulta atractiva, debido a la gran demanda que este producto ha alcanzado en el mercado nacional e internacional. La mayor producción en el estado de Oaxaca es artesanal lo que implica que es un proceso de elaboración sin seguimiento (control de producción), lo que implica una falta o desconocimiento del control del proceso de producción (elaboración), con lo cual se lograría mantener o modificar las diferentes etapas, logrando mejorar los rendimientos. Por consiguiente, el presente trabajo realizado en el Palenque “Recuerdo de mi Padre” en el municipio de Santiago Matatlán, Oaxaca se requiere un análisis en las etapas primordiales del proceso e identificar los puntos de interés para la mejora y especificar los criterios necesarios para el control del proceso, en base a las normas oficiales.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Establecer los parámetros de control del proceso de elaboración de mezcal en el palenque "Recuerdo de mi Padre" del municipio de Santiago Matatlán, Oaxaca.

Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de Azúcares Reductores Totales (ART) en Agave crudo mediante el método de Lane-Eynon de acuerdo al método normativo NMX-V-006-NORMEX-2013.
- Determinar el porcentaje de Azúcares Reductores Directos (ARD) en Agave cocido mediante el método de Lane-Eynon de acuerdo a método normativo NMX-V-006-NORMEX-2013.
- Determinar la acidez de mezcal Ordinario y mezcal Refinado utilizando el método normativo NMX-AA-036-SCFI-2001
- Determinar el grado alcohólico a 20 °C de los mezcales Ordinarios y Refinado de acuerdo al método normativo NMX-V-013-NORMEX-2005.

JUSTIFICACION

En la actualidad muchos productores de mezcal desconocen los parámetros de control que se utilizan a lo largo del proceso de fabricación del mezcal y esto conlleva a que su producto no cumpla con los parámetros establecidos por la norma oficial mexicana NOM-070-SCFI-2016. El presente trabajo pretende contribuir con conocimientos tecnológicos sobre las prácticas de producción y de control de estos procesos artesanales, con la finalidad de aportar la mejora de la producción y calidad constante de mezcal.

CAPITULO I. MARCO TEORICO

1.1 El Mezcal y su Clasificación

Según la NOM-070-SCFI-2016 el mezcal es una bebida alcohólica destilada mexicana, 100% de maguey o agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de magueyes o agaves cocidos, cosechados en el territorio comprendido. Es un líquido de aroma y sabor derivado de la especie de maguey o agave empleado, así como del proceso de elaboración; diversificando sus cualidades por el tipo de suelo, topografía, clima, agua, productor autorizado, maestro mezcalero, graduación alcohólica, microorganismos, entre otros factores que definen el carácter y las sensaciones organolépticas producidas por cada mezcal.

El primer aspecto que rige la elaboración de mezcal es la declaratoria de protección a la denominación de origen de mezcal, otorga exclusividad de elaboración de esta bebida a una región geográfica del país la cual sirve para designar un producto como originario de la misma, y cuya calidad o característica se deban exclusivamente al medio geográfico. El territorio amparado por la denominación de origen de mezcal vigente lo podemos observar a detalle en la figura 1.



Figura 1. Territorio amparado por la Denominación de Origen de Mezcal Vigente **Fuente:** (Consejo Regulador del Mezcal, s.f.)

Particularmente en la región de mezcal que se localiza en el estado de Oaxaca que comprende los distritos de Sola de Vega, Miahuatlán, Yautepec, Tlacolula, Ocotlán, Ejutla y Zimatlán. El municipio de Santiago Matatlán perteneciente al distrito de Tlacolula se considera el principal núcleo productor a nivel estatal, ocupa el 0.18% de la superficie del estado, cuenta con 22 localidades (PIGM). Por otro lado, Santa Catarina Minas perteneciente al Distrito de Tlacolula, ocupa en 0.04% de superficie estatal y el 12.49% de su superficie es agrícola. Se piensa que este lugar fue uno de los primeros lugares de Oaxaca en donde se elaboró mezcal, hace varios siglos.

En la figura 2 se presenta la ubicación geográfica de las regiones dedicadas a la elaboración de mezcal. Quienes proveen la materia prima se encuentran dentro de los municipios y en comunidades aledañas a estos, los envasadores pueden ser de la región, aunque la mayoría son de otras regiones (Akaki & Vera, 2017). Oaxaca es el origen del 96.1% del total nacional de mezcal exportado, con destino a 42 países, su principal consumidor es Estados Unidos, seguido de Chile, España y Australia, mientras que a nivel nacional las ventas se concentran en la Ciudad de México.

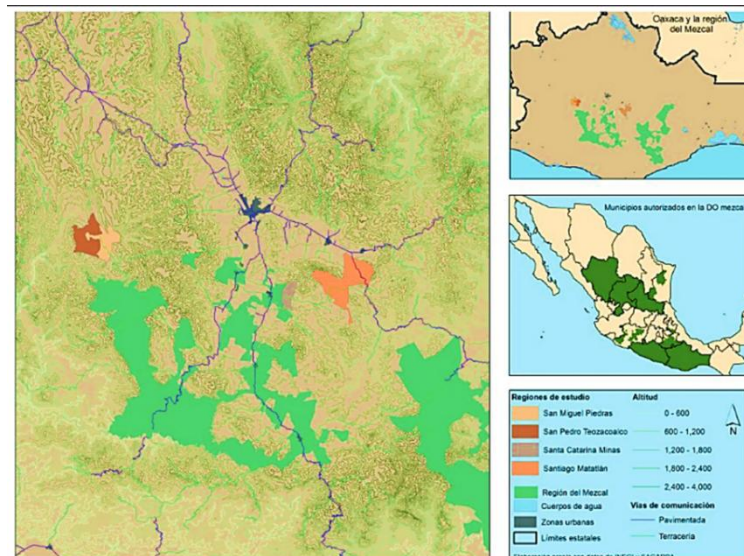


Figura 2. Ubicación geográfica de las regiones dedicadas a la producción de mezcal artesanal (Akaki & Vera, 2017).

Al degustar el mezcal uno se puede encontrar con diferentes variedades, formas, consistencias, distintos colores y sabores, por eso la Norma Oficial Mexicana hace una diferencia, basada en el porcentaje de agave:

1. Mezcal 100% de agave
2. El que se encuentra con otros azúcares (a los que se le adiciona hasta 40%).

Ambas son susceptibles de clasificarse según las categorías:

1. Añejo o añejado. Se presenta al someterse a un proceso de maduración por lo menos de doce meses, en barricas de roble blanco o encino.
2. Reposado. Es aquel que se deja por lo menos dos meses en recipientes, para su estabilización, puede ser abocado.
3. Mezcal joven. Es aquel obtenido directamente del proceso.
4. Abocado. Procedimiento para suavizar el sabor de mezcal, mediante la adición de uno o más productos naturales, saborizantes o colorantes.
5. Pechuga. Este mezcal es utilizado en eventos muy especiales. En el momento de su destilación se añaden frutas como bananas, manzanas, ciruelas y los más destacado es la adición de pechugas de pavo o polos lo que hace este tipo de mezcal diferente a los demás.

La NOM-070-SCFI-016 establece que, de acuerdo con el proceso específico utilizado de cocción del maguey o agave, molienda, fermentación y destilación se obtienen tres categorías de mezcal:

1. Mezcal
2. Mezcal artesanal
3. Mezcal ancestral

En la tabla 1 se puede observar las diferencias entre las tres formas de producción:

Tabla 1. Diferencias de producción en las tres categorías de mezcal.

Etapas de producción	Mezcal	Mezcal Artesanal	Mezcal Ancestral
Cocimiento	Cocimiento de cabezas de maguey o jugos de agave o agave en hornos de pozo, mampostería o autoclave.	Cocimiento de cabezas de maguey o agave en hornos de pozo o elevados de mampostería.	Cocimiento de cabezas de maguey o agave en hornos de pozo.
Molienda	Tahona, molino chileno o egipcio, trapiche, desgarradora, tren de molinos o difusor.	Con mazo, tahona, molino chileno o egipcio, trapiche o desgarradora.	Con mazo, tahona, molino chileno o egipcio.
Fermentación	Recipientes de madera, piletas de mampostería o tanques de acero inoxidable.	Oquedades en piedra, suelo, tronco, piletas de mampostería, recipientes de madera o barro, pieles de animal, cuyo proceso puede incluir la fibra del maguey o agave (bagazo).	Oquedades en piedra, suelo o tronco, piletas de mampostería, recipientes de madera o barro, pieles de animal, cuyo proceso puede incluir la fibra del maguey o agave (bagazo).
Destilación	Alambiques, destiladores continuos o columnas de cobre o acero inoxidable.	Con fuego directo en alambiques de caldera de cobre u olla de barro y montera de barro, madera, cobre o acero inoxidable; cuyo proceso puede incluir la fibra del maguey o agave (bagazo).	Con fuego directo en olla de barro y montera de barro o madera; cuyo proceso puede incluir la fibra del maguey o agave (bagazo).

Fuente: (NOM-070-SCFI-2016, 2016)

1.2 AGAVE

El maguey o Agave es la principal esencia del mezcal, es la materia prima de donde se obtiene esta y otras bebidas como el tequila y el pulque. El maguey como se conoce comúnmente en México pertenece a la familia “agavácea” con más de 400 especies, y dentro de esta familia se encuentra el género agave con 273 especies descritas. En México se encuentra la mayor diversidad con 205 especies, de las cuales 151 son endémicas. Los estados más ricos en número de especies son Oaxaca, Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Jalisco (Sanchez, s.f).Una sola especie puede tener una gran cantidad de nombres comunes de acuerdo a la región donde se encuentre (tabla 2). Los nombres de las especies están anteceditos de la palabra agave debido a que es el nombre científico del maguey (Nogales, 2018).

Tabla 2. Especies de agave mezcaleros. Fuente: (Nogales, 2018)

Tipo de Agave	Especie	Características
	<i>A. Angustifolia</i> Haw	El espadín es el más ocupado para la elaboración de mezcal, su alta preferencia por los productores se debe a que su periodo de madures es más corto en relación a otros, además de ser el más “rendidor” debido a la alta concentración de azúcares.
	<i>A. Potatorum</i> Zucc	El tobalá ocupa el cuarto lugar de los magueyes más demandados ya que aseguran es el maguey que menos tarda en fermentar, esto se debe a que tiene una buena reserva de hidrógeno, el principal acelerador para el trabajo de las levaduras.

	<i>A.Americana</i> oaxaquensis	Agave endémico de Oaxaca. Tiene varios comunes de acuerdo a la región: arroqueño (sola de vega) o sierra negra.
	<i>A. Karwinskii</i> Zucc.	Es uno de los agaves más demandados por los consumidores de mezcal. Es endémica de Oaxaca y algunas zonas pequeñas la sur de Puebla. Entre sus nombres se encuentra Tobaziche, cuish, madre cuish.
	<i>A. Marmorata</i>	Se distribuye solo en Oaxaca, es el maguey tepeztate, su nombre científico viene del latín marmora que quiere decir mármol, se debe a que este agave puede crecer sobre piedras, madura entre 12 y 15 años.
	<i>A. Rhodacantha</i> Trel.	Su nombre común más utilizado en comunidades es el maguey mexicano, espadillón y cuish. Es un agave que comienza a ser cultivado, sin embargo, se recolecta de manera silvestre. Ha incrementado su popularidad debido a su alto rendimiento para su destilación y por sus notas suaves.
	<i>A. Convallis</i> Trel	Se le conoce como jabalí, el nombre se debe a que se ocupa para la extracción de ixle para hacer cuerdas llamadas jabalinas. Contiene una alta cantidad de saponinas, tantas que era casi imposible producir mezcal, sin embargo, los mezcaleros han logrado producir mezcal con aromas y sabores complejos.

1.3 Proceso de Producción de Mezcal

1.3.1 Corte

El mezcal es una bebida alcohólica tradicional de México, el proceso comienza con la cosecha del agave después de 8 años de cultivo, para poder realizar el corte es necesario basarse en los índices de madurez, podemos mencionar tres tipos:

- **Sazón:** estado en el cual existe una coloración parda en la base del maguey, estado en el cual el contenido de fructanos es el adecuado para ser hidrolizado, sin embargo, no es el estado óptimo de maduración.
- **De pabilo:** presenta pencas secas en la base del maguey, así como una coloración verde-amarilla.
- **Capón:** es el estado óptimo de madurez en el cual la cantidad de fructanos contenidos en el maguey es el máximo.

Posterior a la sección se realiza el corte en esta etapa las plantas son cortadas de su base y se elimina la parte basal de la planta obteniendo la piña (García, 2007).

La producción de mezcal en muchas partes de la entidad de Oaxaca, es el resultado de conocimientos transmitidos de generación en generación; a lo largo de los años han incorporado nuevos elementos para mejorar la elaboración del destilado de agave, pero conservando en esencia el sistema aprendido siglos atrás (*Márquez, 2001*). Para la recolección de la materia prima son necesarias ciertas condiciones o características, tales como la coloración verde-amarillenta en la base de las pencas y parda en la base del maguey. Desde el punto de vista bioquímico, el estado de madurez apropiado lo marca un alto contenido de azúcares que puedan

ser aprovechados por los microorganismos para la generación de alcohol. Para cortar, rasurar, labrar un maguey, se le cortan las pencas a ras de piña o, en algunos tipos de maguey, se le deja una pequeña parte de la penca, y se extrae del suelo superándolo de la raíz cuidadosamente con una barreta. Cuando las piñas llegan al palenque, se rajan en 2 o más pedazos antes de ser cocidas (*Reyna*).

1.3.2 Cocción

La segunda etapa de la elaboración del mezcal es el cocimiento, consiste en someter las piñas a un proceso de exposición lenta al calor, dentro de un sistema cerrado para su ablandamiento y cocción, los polisacáridos, principalmente los de reserva (fructanos), son hidrolizados térmicamente para obtener un jarabe rico en fructosa, los materiales empleados son los siguientes: leña, piedras, bagazo de maguey y tierra. Una buena cocción se ve influenciada por los siguientes factores: cantidad de leña, colocación de la leña, diseño del horno y la cantidad de piedras.

El horneado tiene por objetivo transformar la inulina (principal polisacárido presente en la planta) en azúcares susceptibles de fermentarse. Cuando la piña es rasurada, su color es blanco. Cuando se hornea, toma un color caramelo como el piloncillo o panela, pues los polisacáridos se han convertido en azúcar (Cornelio, 2005).

Para cocer el maguey existen diversos tipos de hornos, pero el más antiguo y rustico es el horno de tierra, de forma cónica, con profundidades de 2 a 3 metros y cuya capacidad de almacenamiento es de 3 a 9 toneladas. En Oaxaca la mayoría de los productores de mezcal realizan el cocimiento en horno de tierra con diferentes tipos de revestimiento y usando leña como combustible (Rícardez, 2005).

1.3.3 Molienda

La molienda tiene como finalidad hacer que los monosacáridos obtenidos en la cocción sean más disponibles a la acción microbiana, así como la captación de microorganismos del medio para favorecer la fermentación (Martínez, 2007).

Existen tres formas de molienda de las piñas: la primera de manera manual, la segunda con un molino chileno también conocido como molino egipcio o tahona y la tercera de forma mecanizada. La molienda manual se lleva a cabo con instrumentos como mazos de madera con dos diferentes formas: en forma de barrote y en forma de marro, esta forma de molienda se observa en palenques con un bajo nivel de producción; la segunda forma de molienda se realiza con el molino chileno que consta de una piedra de cantera que en el área de contacto puede ser dentada o lisa, la cual se encuentra unida con un eje de madera permitiendo su movimiento alrededor de la superficie del suelo este jalado por animales de tiro (Rossel & Durán, 2002). El proceso mecanizado se realiza a través del uso de molinos o desgarradoras que funcionan a base de un motor ya sea eléctrico o a base de combustible, por lo general se utiliza en instalaciones donde se procesan grandes cantidades o en las que se produce mezcal de manera continua (Valdez, 2008).

1.3.4 Fermentación

En el proceso de elaboración del mezcal, una etapa fundamental para obtener un producto de calidad y estandarizado es la fermentación. En esta etapa se realiza el cambio bioquímico de los azúcares reductores provenientes del agave en alcohol (principalmente etanol) y compuestos volátiles. El etanol no es el único producto de la fermentación, también se forma una serie de sustancias que contribuyen al sabor (compuestos aromáticos volátiles) y olor (compuestos aromáticos no volátiles) del mezcal que se producen en diferentes momentos de la fermentación

por lo que el tiempo puede afectar tanto la cantidad como la variedad de estos compuestos (Rodríguez, 2017).

Durante la fermentación, el principal cambio que ocurre es la transformación de los azúcares en etanol, CO₂ y otros compuestos (Romero & 2016, 2021). Además de las levaduras, en el proceso de fermentación se caracteriza por tener la presencia de bacterias, las bacterias son microorganismos procariotes que miden micrómetros, son más pequeñas que las levaduras. Presentan diversas formas como esferas, barras, filamentos. Pertenecen a diferentes familias, en el mezcal es importante mencionar dos de ellas: las bacterias lácticas y las bacterias acéticas.

Estas bacterias entran en una competencia con las levaduras por el consumo de los azúcares y producen principalmente ácido acético, mejor conocido como vinagre, el cual proporciona notas desagradables al mezcal en cual va a influir en la acidez total del producto final y pone en riesgo el cumplimiento de la norma (tabla 3) (Valdez, 2008).

Tabla 3. Especificaciones de la norma reguladora del mezcal. **Fuente:** (NOM-070-SCFI-2016, 2016)

Especificaciones	Mínimo	Máximo
% de alcohol en volumen a 20 °C	36.0	55.0
Extracto seco g/l	0.2	10.0
Acidez total (como ácido acético)	0	170
Alcoholes superiores mg/100 ml	100	400
Metanol mg/100 ml	100	300

1.3.5 Destilación

Este proceso consiste en condensar los vapores producidos por la evaporación al someter el mosto al calor (bagazo y jugo cocido) a fuego directo en alambiques de cladera de cobre, acero inoxidable u olla de barro y montera de barro, madera, cobre o acero inoxidable; cuyo proceso puede influir fibra del maguey o agave (bagazo), se provoca la evaporación de alcoholes e impurezas, separándose de los materiales sólidos. Si esos vapores se colectan y condensan, obtenemos el mezcal (Cornelio, 2005).

En esta etapa del proceso de producción de mezcal se efectúa la separación del alcohol y demás compuestos volátiles y no volátiles del agua aprovechando para ello sus diferentes puntos de ebullición. Debido a su estructura, molecular el etanol tiene un punto de ebullición más bajo que el agua (78.5 °C) por lo tanto, se separa hasta alcanzar esta temperatura (Romero C. a., 2021) .

En esta etapa del proceso se realizan dos destilaciones: la primera destilación (ordinario) y la segunda destilación (refinado).

Las partes que conforman un alambique son (figura 9):

1. Hogar. Dentro se encuentra la olla y debajo un pequeño espacio para la colocación del combustible en este caso la leña.
2. Olla. Esta encargada de contener la mezcla de sustancias a separar se encuentra dentro del hogar que es una estructura cuadrada debajo de la cual se colocan leños.
3. Montera. Este se encarga de captar los vapores generados tras el calentamiento de la mezcla y los conduce a la siguiente sección.
4. Turbante. Es un tubo alargado que se encarga de conducir los vapores hacia la sección de enfriamiento.

5. Serpentín. Es un tubo en forma de espiral sumergido en un tanque de agua. Tiene la finalidad de enfriar y por lo tanto de condensar los vapores que provienen de la olla.

La medición de alcohol se puede realizar con un hidrómetro (Romero & 2016, 2021)). El grado alcohólico volumétrico es la relación entre el volumen de alcohol en estado puro y el contenido en el producto de que se trate. Se trata de una medida de concentración porcentual; a cada unidad de porcentaje de alcohol en el volumen total le corresponde un grado en la escala alcohólica. En su estimación es común el uso de las iniciales GL, en honor a Josseph Gay-Lussac (Osorio, 2009).

La NOM-199-SCFI-2017 exige que las bebidas alcohólicas se presenten la graduación alcohólica de etanol en la etiqueta de las botellas expresada en valor porcentual: Vol. 27.0%; Vol. 42.0%.

1.4 Características fisicoquímicas del mezcal

El mezcal es una bebida que al igual que todas las bebidas fermentadas o destiladas tienen determinado grado alcohólico y una gran variedad de compuestos aromáticos que le confieren las características sensoriales que lo diferencian de las demás. Esta bebida se encuentra regulada por la Norma Oficial Mexicana (NOM-070-SCFI-016), la cual se apega sus formas tradicionales de producción, incidiendo en el control de la calidad, higiene y legitimidad del producto; también señala los requisitos para su producción, estableciendo las características y especificaciones que deben cumplir los usuarios autorizados para producir y/o comercializar la bebida. La norma reguladora del mezcal cuenta con especificaciones que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones de las normas reguladoras de mezcal.

Especificaciones	Unidades	Mínimo	Máximo	Norma aplicable
Alcohol Volumen a 20 °C	% Alc. Vol.	35	55	NMX-V-013-NORMEX-2013
Extracto seco	g/L de mezcal	0	10	NMX-V-017-NORMEX-2014
Alcoholes superiores	mg/100 mL de Alcohol anhidrido	100	500	NMX-V-005-NORMEX-2013
Metanol	mg/100 mL de Alcohol de anhidrido	30	300	NMX-V-005-NORMEX-2013
Furfural	mg/100 mL de alcohol de anhidrido	0	5	NMX-V-004-NORMEX-2013
Aldehídos	mg/L	0	40	NMX-V-005-NORMEX-2013
Plomo (Pb)	mg/L	-	0.5	NMX-050-NORMEX-2010
Arsénico (As)		-	0.5	NMX-050-NORMEX-2010

Fuente: (NOM-070-SCFI-2016, 2016).

Se han identificado componentes en el mezcal que por su naturaleza química se clasifican en acetales, ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas, aldehídos, ésteres, fenoles y terpenos, siendo los grupos más abundantes en constituyentes y presencia el metanol, alcoholes superiores y ácidos (A.J.E. Botello & al, 2006).

Los compuestos con concentraciones bajas son los esteres, aldehídos, cetonas, ácidos, furanos y terpenos, que contribuyen al aroma del mezcal (López y Guevara, 2001; (E. Pérez, 2013)). El furfural solo representa un indicador para comprobar que la bebida se obtuvo a partir de agave como materia prima (Gallardo, 2008).

1.5 Compuestos volátiles presentes en el mezcal

Existe una gran variedad de componentes volátiles en el mezcal, sin embargo, solamente algunos de ellos están bajo regulación oficial. La Norma NOM-070-SCFI-1994 para el mezcal establece los límites máximos y mínimos de concentración permitidos en la bebida. El etanol por definición es el componente

mayoritario en el mezcal, le siguen el metanol y los alcoholes superiores de más de 3 átomos de carbono. Los límites establecidos para el etanol son de 36-55% v/v, finalmente la suma de los alcoholes superiores debe encontrarse entre 100 y 400 mg/100mL de alcohol anhidro.

El aroma y sabor de las bebidas alcohólicas destiladas son producidos por un gran número de compuestos volátiles y no volátiles, los cuales forman una mezcla compleja que define esos atributos sensoriales, y consecuentemente la aceptación por el consumidor. Se sabe que ciertos volátiles ejercen un mayor impacto en la percepción del sabor de todas las bebidas destiladas. De acuerdo a las investigaciones realizadas por Alexandros Bousios en 2007 los sabores y olores característicos del Mezcal son cuatro principales dependiendo de su origen como se muestra en la tabla 5 (Bousios, 2007).

Tabla 5. *sabores y olores característicos del mezcal.*

Origen	Sabores y Olores característicos del Mezcal
Humo	Moléculas liberadas durante la combustión, proveen notas de chocolate, ceniza, madera entre otras.
Agave Verde	Ésteres provenientes de las paredes celulares que se presentan en medio alcohólico, en el agave crudo dan notas de anís, cítricos, fragancias verdes y florales.
Agave Cocido	Combinación de las proteínas y azúcares durante el cocimiento de las piñas, donde se liberan compuestos que otorgan sabor al mezcal.
Fermentación	Producción de furanos, ésteres, acetales y ácidos orgánicos a partir de sustancias presentes en el mosto.

Fuente: (Bousios, 2007)

Estos compuestos se dividen en dos tipos, los no volátiles y los volátiles, la diferencia es que los primeros no se evaporan a temperatura y presión ambiental y los segundos sí. Dentro de los no volátiles tenemos a los azúcares, minerales y algunos pigmentos y dentro de los volátiles tenemos compuestos como Aldehídos, Ésteres, Alcoholes, Ácidos, entre otros, los cuales ejercen un mayor impacto en la percepción sensorial de esta bebida (Mezcal Artesanal, 2017). En la tabla 6 se presenta los compuestos aromáticos del mezcal.

Tabla 6. compuestos aromáticos del mezcal.

Grupo	Compuesto	Nota Aromática
Acetales	Dietil acetal	Frutal
	1,3 dietoxi propan-1-ol	Manzana
Ácidos	Ácido acético	Vinagre
	Ácido propanoico	Frutal ácido
	Ácido 2-metil propanoico	Frutal, sudor, grasa
	Ácido butanoico	Grasa, rancio, dulce
	Ácido 2-metil butanoico	Sudor
	Ácido hexanoico	Levadura, sidra
	Ácido octanoico	Ácido graso, queso
	Ácido decanoico	Grasa, seco, madera
Alcoholes	2- metil-1-propanol	Dulce, químico, chocolate
	1-butanol	Dulce, fusel
	3-metil-1butanol	Alcohol, dulce, frutal, vino
	1-hexanol	Pasto verde, tostado
	Oct-1-en-3-ol	Seta, tierra
	2-feniletan-1-ol	Floral, rosas, seta, dulce
Cetonas	Oct-1-en-ona	Seta
Aldehídos	Acetaldehído	Químico
Ésteres	Butanoato de etilo	Frutal, plátano, piña, fresa
	Octanoato de etilo	Fruta madura, dulce, pera
	Decanoato de etilo	Dulce, canela, madera
	Acetato de 3-metil butilo	Frutal, plátano
	Acetato de 2-feniletilo	Floral, tepache, frutal, rosas
Fenoles	Cresol	Dulce
	Eugenol	Clavo, especias, medicina,
	Mequinol	Humo, fenólico
Furanos	furfural	Floral, frutal
Terpenos	Citronel	Dulce, floral, frutal, especias

Fuente: (Molina, 2007)

CAPITULO 2. METODOLOGIA

El presente trabajo fue llevado a cabo en el laboratorio de análisis instrumental ubicado en el departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Oaxaca. Se tipificó el proceso de producción de mezcal artesanal a partir de *Agave angustifolia* Haw, del palenque "Recuerdo de mi Padre" en el municipio de Santiago Matatlán, mediante un estudio de campo sobre el proceso de producción (Figura 3). Mediante observación del proceso se realizaron anotaciones de cada una de las etapas iniciando con el manejo de la materia prima (agave crudo) hasta la destilación, los datos obtenidos fueron los siguientes: tipo de agave, características y dimensiones del horno, material y volumen de tinas de fermentación, características del equipo de fermentación y material de construcción. En este capítulo se detalla la parte experimental, la cual comprende la obtención de las muestras obtenidas de cada etapa del proceso (Figura 4).

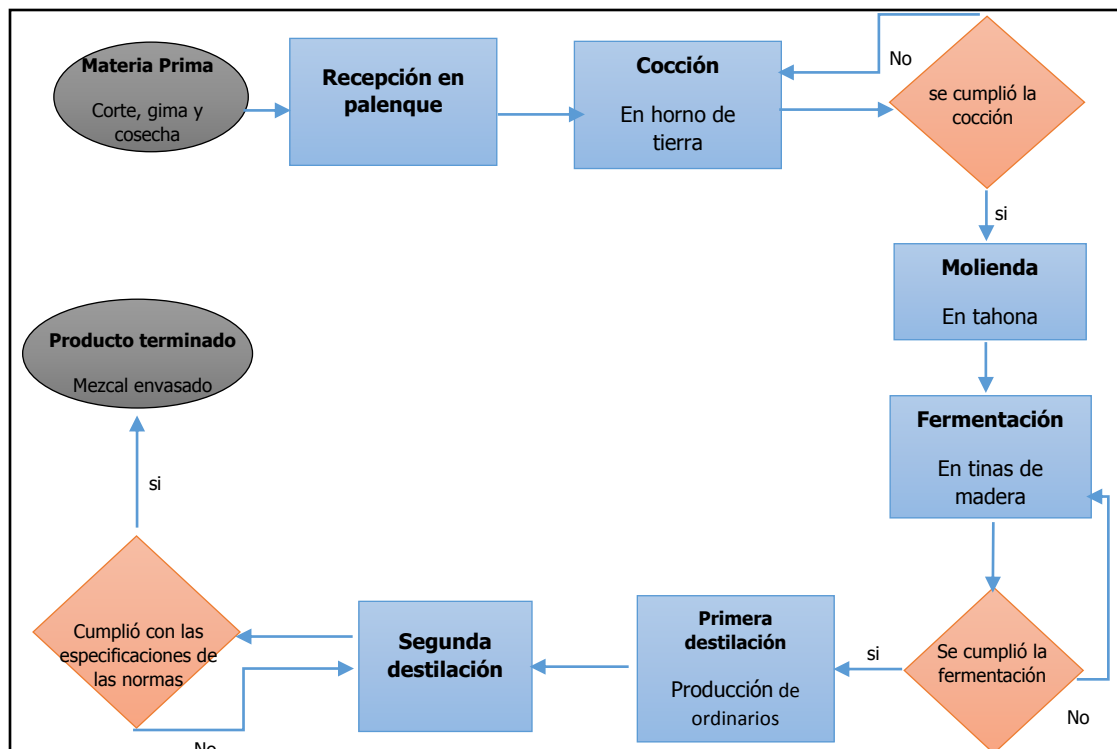


Figura 3. Diagrama del proceso de elaboración de mezcal.

Proceso de producción de mezcal Artesanal



A
Primera etapa. Corte, gima y cosecha de agave



B
Segunda etapa. Recepción de piñas en el palenque.



C
Tercera etapa. Cocción de las piñas en el horno durante 5 días.



D
Cuarta etapa. Molienda de las piñas cocidas.



E
Quinta etapa. Fermentación de agave cocido jugo y fibra durante 5 días.



F
Sexta etapa. Destilación del mosto de agave fermentado.

Figura 4. Proceso de producción de mezcal en el palenque "recuerdo de mi padre" **Fuente:** Fotografías tomadas en estudio de campo.

2.1 Cocción

Para la recolección de la materia prima se sigue tres operaciones (figura 5):

- Se cortan la mayoría de las pencas a ras de piña (1).
- Se extrae la piña ocupando barretas, realizando el corte desde la base y no raíz.
- Una vez teniendo las piñas se corta el resto de las pencas y es trasladado al palenque (2).

El proceso de cocción comienza con la preparación del horno, este debe limpiarse y extraer todos los elementos del horno que pudieran afectar el proceso, después dentro del horno se forma la hoguera colocando la leña, esta es cubierta con piedra de diferentes tamaños, para que la materia prima no tenga contacto directo con el fuego, una vez que las piedras estén a una temperatura adecuada o en todo caso se observe que las piedras desarrollen un color rojizo, se prosigue a cargar el horno con vinazas para que las piñas no estén en contacto directo con las piedras, después se van agregando las piñas estas deben acomodarse de tal manera que no quede ningún hueco ya que esto puede evitar el cocimiento de manera homogénea, una vez colocadas las piñas el siguiente paso es tapar el horno, se sella colocando bagazo, después colocando una capa aislante este puede ser petate o tela, sobre esta capa aislante se coloca una cubierta de tierra de tal manera que forme un domo cónico se deja transcurrir un periodo de tiempo de 3 a 5 días tiempo necesario para el cocimiento.

El tiempo de horneado fue de seis días, después se prosiguió a destapar el horno para retirar todas las piñas y así dejarlas enfriar para la etapa de molienda. La molienda tiene como finalidad hacer que los monosacáridos obtenidos en la cocción sean más disponibles a la acción microbiana, así como la capacitación de microorganismos del medio para favorecer la fermentación (Martínez, 2007).

La molienda se lleva a cabo generalmente de tres maneras diferentes ya sea manual (marros y hachas), artesanal (tahona o molino egipcio conformado por una rueda de aproximadamente 500 kg unida a un eje y que es tirada a caballo o industrial dependiendo del equipo utilizado. Las piñas cocidas son cortadas en trozos pequeños para facilitar la tritución.



Figura 5.Recolección de la materia prima. **Fuente:** fotografías tomadas en estudio de campo.

2.1.1 Toma de muestra maguey crudo

La producción tuvo una capacidad de 7 toneladas, la muestra de maguey crudo se tomó de forma aleatoria tres piñas a las cuales se les hizo un corte de acuerdo a la (figura 6), tomando una muestra de aproximadamente 10 centímetros de grosor y se almacenaron en bolsas de aluminio con cierre de cremallera para impedir la oxidación de las muestras y que esto altere los resultados de laboratorio. Se almaceno en congelación a -10°C hasta su procesamiento.

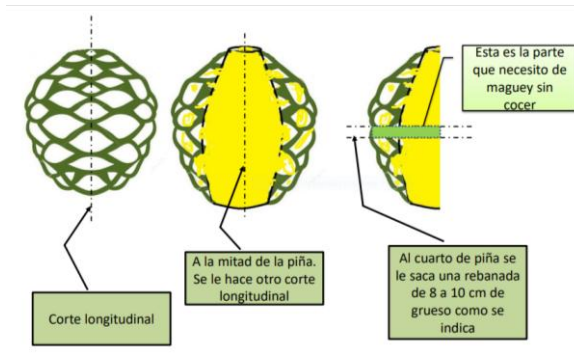


Figura 6. Toma de muestra de agave crudo

2.1.2 Toma de muestra de maguey cocido

Debido a la cantidad de agave empleado la etapa de cocción duro 6 días, transcurridos esos días se tomaron tres muestras de diferentes piñas aproximadamente 1.400 kg de la misma manera que el agave crudo.



Figura 7. Retiro de las piñas cocidas del horno **Fuente:** Fotografía tomada en estudio de campo **Fuente:** fotografía tomada en estudio de campo.

2.1.3 Análisis de ARD y ART

Para cuantificar los azúcares reductores totales en las muestras se empleó la técnica de Lane-Eynon este procedimiento para la determinación de azúcares reductores totales y azúcares reductores directos contenidos en las materias primas utilizadas en la elaboración de bebidas alcohólicas, en las materias primas azucaradas, tales como agave crudo y cocido, materiales en proceso de producción tales como jugos de agave y mostos, de acuerdo a la norma NMX-V-006-NORMEX-2013 Bebidas Alcohólicas-Determinación de Azúcares Reductores Totales y Directos. De acuerdo al método (figura 8) la muestra obtenida se corta en trozos pequeños para poder ser procesados y así extraer el jugo (A), posteriormente el jugo extraído se pasó a tubos (B) para ser introducidos a una centrifuga para eliminar cualquier partícula suspendida que pueda interferir con la titulación, la muestra todo el tiempo debe mantenerse en refrigeración para evitar la oxidación.

Posteriormente en un matraz de 250 ml se agregó 10 ml de muestra, 100 ml de agua destilada, 5 ml de HCl al 35 % para después ser colocado en baño maría (C) a 75°C tratando que la temperatura de la muestra llegara a 73 °C y no pasara de este durante 15 minutos para que se llevara a cabo la hidrólisis. Una vez concluido el tiempo se retiró del baño maría y se transfirió a un vaso de precipitado para neutralizarlo (D) con hidróxido de sodio al 10 % y al 1 % una vez neutralizada la muestra se transfirió a un matraz de aforado de 200 ml y se agrega agua destilada hasta la marca. Una vez concluido el procedimiento de la muestra a analizar se prepararon cinco matraces de 250 ml a los cuales se les agrego 5 ml de fehling A y B con 50 ml de agua destilada. Posteriormente para la titulación (E) se agregó a una bureta de 50 ml la muestra problema y se sometió cada matraz a calentamiento sobre una parrilla con unas gotas de indicador de azul de metileno, cuando se reduce todo el azúcar cambia de color de azul a rojo ladrillo. Para la cuantificación de Azúcares Reductores Directos (ARD) se sigue el mismo procedimiento, pero se omite la hidrólisis de la muestra (adición de ácido clorhídrico y tratamiento térmico).



A

Extracción de jugo



B

Jugo obtenido en tubos para centrifuga



C

Muestra en baño maría durante 15 min a una temperatura de 73 °C



D

Neutralización de la muestra a pH 7



E

Titulación de la muestra

Figura 8. Técnica de Lane-Eynon para la determinación de ARD y ART. **Fuente:** fotografía tomada en estudio de campo.

2.2 Fermentación.

Las tinas de madera son muy utilizadas para esta etapa, ya que son consideradas como el sistema más artesanal, una de las ventajas es que la madera es aislante por lo que la temperatura del exterior no influirá con la temperatura de fermentación. El agave cocido ya desfibrado se adiciona en las tinas y se agrega agua en cantidades proporcionales este proceso dura aproximadamente de 4 a 5 días, transcurridos esos días la tina esta lista para la siguiente etapa.

2.3 Destilación

El equipo utilizado para la destilación en el palenque es el alambique de cobre. Este equipo está conformado por cuatro elementos (figura 9).

La destilación se lleva a cabo una vez que los mostos están fermentados, inicia con la carga de las ollas con una capacidad de 350 y 250 litros, trasladan el mosto manualmente utilizando carretillas para el bagazo y cubetas para el jugo fermentado, agregando primero el bagazo y después el jugo; en seguida se realiza el armado del alambique uniendo la montera a la olla , posteriormente uniendo el turbante a la montera y el otro extremo al serpentín, sellando todas las uniones con “masilla” que proviene de los residuos después del destilado. Una vez sellado el equipo, se prosigue a encender los leños para que comience a calentarse la olla, se espera 3 horas para que inicie la destilación y esta dura alrededor de 4 horas.

2.3.1 Toma de muestra primera destilación u ordinario

Para la recolección de la muestra de la primera destilación se tomaron 500 ml de ordinarios: puntas, cuerpo y colas de dos posturas seguidas, en esta primera

destilación el mezcalero no realiza cortes. Por lo mismo a la primera ánfora llena de 20 L se le llamo las puntas, a la segunda se le llamo cuerpo y a la tercera las colas.

2.3.2 Toma de muestra de refinado

Las colas obtenidas de la primera destilación son las que se llevan a una segunda destilación llamada refinado con la finalidad de aumentar su grado alcohólico, para este proceso se vacía a la olla las garrafas (colas) que se obtuvieron en la primera destilación. Se arma y se sella el alambique, el destilado se recibe en ánforas de 20 litros, en esta destilación al inicio el maestro mezcalero realiza el corte al llenarse un ánfora y mediante una inspección visual verifica si realizo correctamente el corte. Solo realizan dos cortes, tomando dos ánforas de 20 litros (puntas y colas). Para terminar el proceso y tomar la muestra , se mezclan las ánforas con mayor grado alcohólico con las puntas obtenidas de la primera destilación.



Hogar



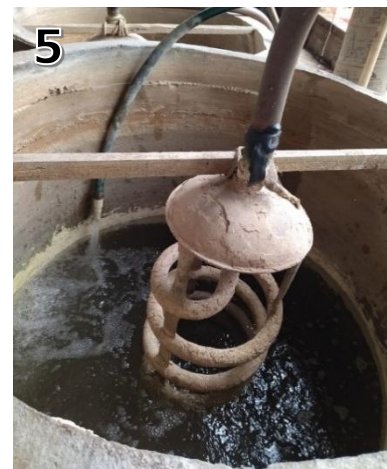
Olla



Montera



Turbante



Serpentín

Figura 9. Partes que forman el alambique de cobre. **Fuente:** fotografías tomadas en estudio de campo.

2.3.3 Determinación de grado alcohólico.

Para la determinación del grado alcohólico, se agregó la muestra a analizar en una probeta de 500 ml asegurándose de que la cantidad de líquido sea la adecuada para que ingresara el alcoholímetro (figura 10). Se sumerge lentamente el alcoholímetro correcto hasta que flote, y girarlo mientras se encuentre sumergido para eliminar las burbujas que afecten los resultados, para tomar la lectura se observa la graduación del alcoholímetro se encuentre al mismo nivel que el líquido.

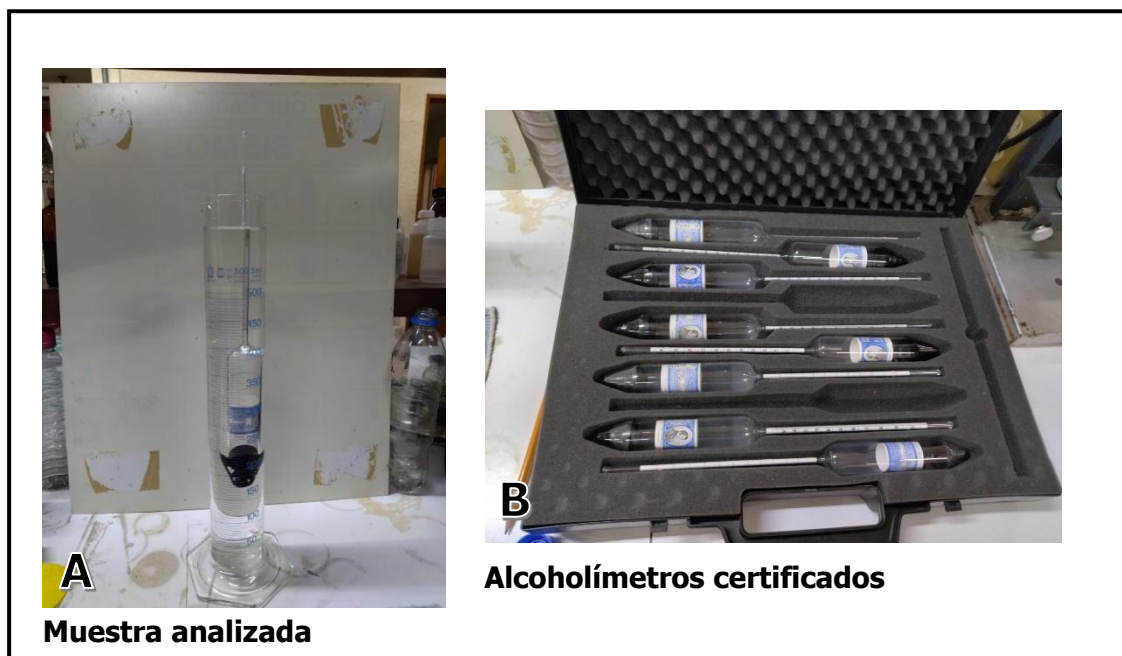


Figura 10. Determinación de grado alcohólico. **Fuente:** fotografías tomadas durante análisis experimentales.

2.3.4 Determinación de acidez total.

Para el inicio de la valoración se necesitó preparar agua libre de Oxígeno para lo cual se hirvió 500 ml de agua destilada durante 15 minutos y posteriormente se enfrió a temperatura ambiente para después ajustar el pH 7 añadiendo unas gotas de fenolftaleína y posteriormente se agregó gotas de NaOH al 0.01N hasta llegar a un tono ligeramente rosáceo. Teniendo el agua lista libre de oxígeno se prepararon cinco matraces con 25 ml de esta agua y con 0.35 gr de Biftalato de potasio y unas gotas de indicador fenolftaleína, posteriormente se inicia con la valoración de la base NaOH al 0.05 N se agrega a la bureta y se inicia con la titulación hasta el primer vire (figura 11). Una vez finalizado la valoración se procede a titular la muestra de interés siguiendo los mismos pasos realizan cinco repeticiones.

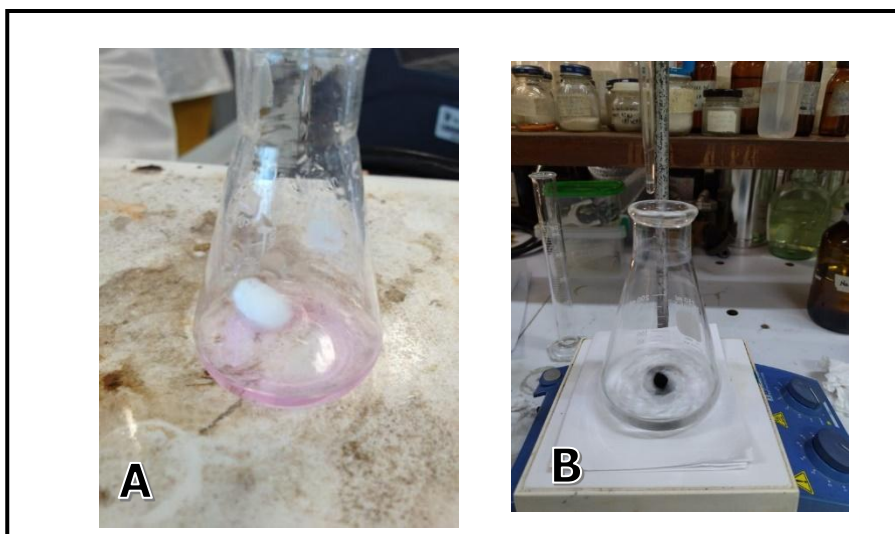


Figura 11. Determinación de acidez titulable. **Fuente:** fotografías tomadas durante análisis experimentales.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1 Cocción

De acuerdo a los análisis realizados en muestras de agave crudo en la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de la determinación de Azúcares Reductores Totales por el método Lane-Eynon realizando cinco repeticiones por cada muestra. Promediando los resultados de cada muestra podemos observar en la tabla 8 que existe una diferencia estadística para porcentaje de ART entre las tres muestras seleccionadas aleatoriamente siendo el valor más alto obtenido para ART, de 33.16 gr/100ml con una desviación estándar de 4.96, un coeficiente de variación (CV) de 0.15 que corresponde a la muestra 2, siguiendo la muestra 3 con un valor de 30.91 gr/100ml con una desviación estándar de 4.4, un CV de 0.14, mientras que el valor más bajo 26.80 gr/ 100ml con una desviación estándar de 1.23, un CV de 0.05 para la muestra 1. El contenido promedio de azúcares varía entre 20 y 30 %, cuando contiene cantidades menores que 20% se considera de baja calidad y si presenta entre 25 y 30 % es de buena calidad (Rodríguez & 2016, 2020).

Tabla 7. Concentraciones de azúcares reductores totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave crudo.

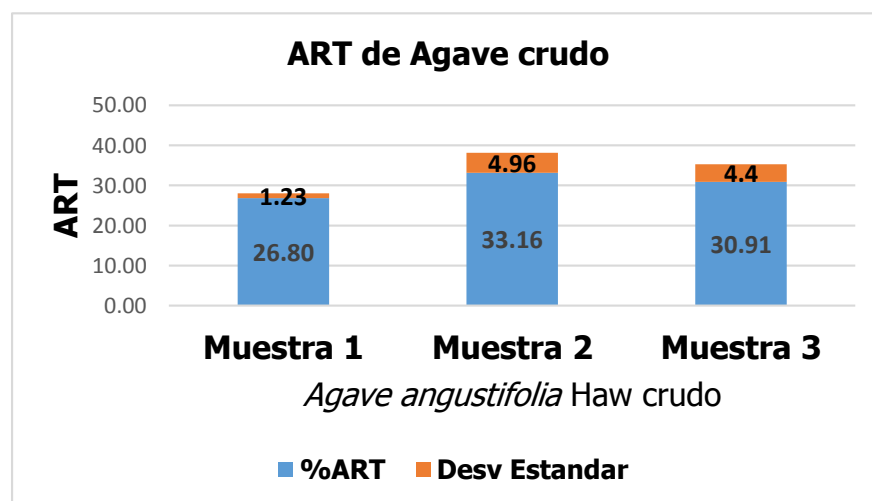
	PESO (gr)	VOLUMEN (ml)	PESO DE MUESTRA DESPUES DE EXTRACCION	REPETICION	ml GASTADOS	ART gr/100 ml
muestra 1	1400	418	550	1	3.9	25.79
				2	3.9	25.79
				3	3.7	27.19
				4	3.8	26.47
				5	3.5	28.74
muestra 2	1300	535	650	1	3.2	31.44
				2	2.4	41.92
				3	3.2	31.44
				4	3.2	31.44
				5	3.4	29.59
muestra 3	1400	510	800	1	3.4	29.59
				2	3.5	28.74
				3	2.6	38.69
				4	3.4	29.59
				5	3.6	27.94

Considerando que las muestras fueron tomadas aleatoriamente, podemos observar en la tabla 8 de acuerdo a los datos la muestra con menor dispersión es la muestra 1, aunque la desviación estándar y la concentración de ART de la muestra 2 es muy superior a la de la muestra 1 su dispersión es mayor.

Tabla 8. Promedio de las concentraciones de Azúcares Reductores Totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave crudo.

	Peso (gr)	Volumen de jugo obtenido (ml)	ART gr/100 ml	gr/ 100 ml D. estándar $\pm$ C.V
Muestra 1	1400	0.418	26.80	1.23 $\pm$ 0.05
Muestra 2	1300	0.535	33.16	4.96 $\pm$ 0.15
Muestra 3	1400	0.510	30.91	4.40 $\pm$ 0.14

En la gráfica 1 se muestran la dispersión de las concentraciones obtenidas de ART para muestras de agave crudo respecto al promedio de las mismas, observando que la muestra 2 presenta una desviación estándar mayor compradas con las otras dos muestras.



Grafica 1. Desviaciones estándar de las concentraciones de ART en muestras de agave crudo respecto a la media.

Promediando los valores de las tres muestras obtenemos una concentración de ART de 30.29 gr/100ml con una desviación estándar y un CV de 3.22 ± 0.10 respectivamente lo que indica que nuestras muestras tienen poca dispersión y por lo tanto nuestro proceso es heterogéneo. En la tabla 9 observamos los resultados obtenidos de la determinación de Azúcares Reductores Directos por el método Lane-Eynon realizando cinco repeticiones por cada muestra. Promediando los resultados de cada muestra podemos observar en la tabla 10 que el valor más alto obtenido para ARD fue de 39.40% para la muestra 2 con una desviación estándar y un CV de 19.15 ± 0.11 respectivamente, siguiéndole la muestra 3 con un valor de 36.33%, una desviación estándar y CV de 19.15 ± 0.11 , siendo la muestra 1 con el valor más bajo teniendo una concentración de 33.81 gr/100ml; una desviación estándar y CV de 20.01 ± 0.13 respectivamente.

Tabla 9. Resultados de las concentraciones de azúcares reductores totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave cocido.

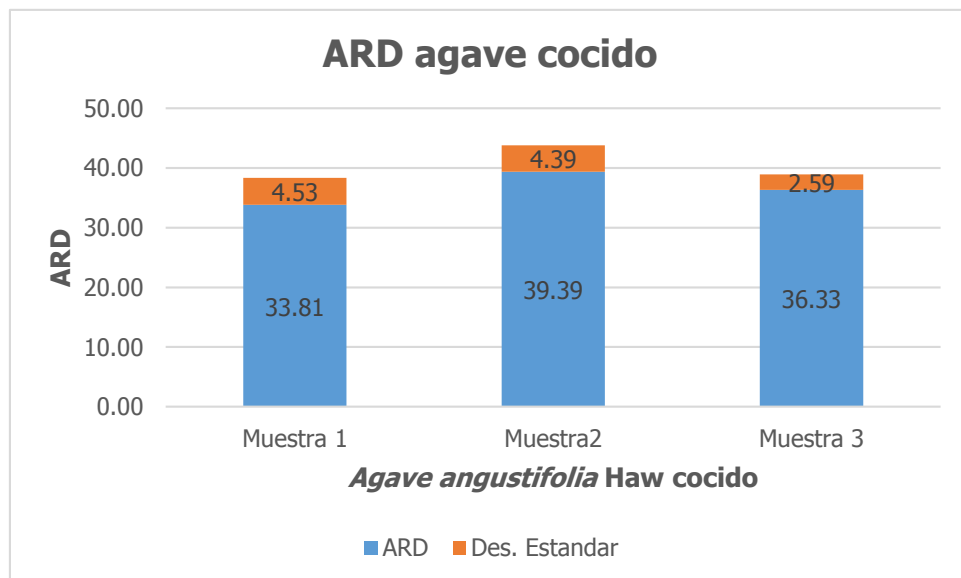
	PESO (GR)	VOLUMEN (ML)	PESO DE MUESTRA DESPUES DE EXTRACCION	REPETICION	ML GASTADOS	ARD (GR/100 ML)
MUESTRA 1	1400	442	800	1	2.7	37.26
				2	3.3	30.48
				3	2.9	34.69
				4	2.6	38.69
				5	3.6	27.94
MUESTRA 2	1400	436	550	1	2.3	43.74
				2	2.6	38.69
				3	2.7	37.26
				4	3	33.53
				5	2.3	43.74
MUESTRA 3	1400	500	550	1	2.8	35.93
				2	2.9	34.69
				3	3	33.53
				4	2.7	37.26
				5	2.5	40.24

En la tabla 10 se muestra de acuerdo a los valores obtenidos, la muestra con menor dispersión es la 3, aunque la concentración de ARD y desviación estándar de la muestra 2 es muy superior, su dispersión es mayor.

Tabla 10. Concentraciones de Azúcares Reductores Directos en gr/100ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave cocido.

	Peso (gr)	Volumen de jugo obtenido (ml)	ARD gr/100 ml	gr/ 100 ml D. estándar $\pm$ C.V
Muestra 1	1400	442	33.81	4.53$\pm$0.13
Muestra 2	1400	436	39.39	4.39$\pm$0.11
Muestra 3	1400	500	36.33	2.59$\pm$0.07

En la gráfica 2 se muestran la dispersión de las concentraciones obtenidas de ARD para muestras de agave cocido respecto al promedio de las mismas, observando que la muestra 2 presenta una desviación estándar mayor comparadas con las otras dos muestras.



Grafica 2. Desviaciones estándar de las concentraciones de ARD en muestras de agave cocido respecto a la media.

Promediando los valores de las tres muestras obtenemos una concentración de 36.51 gr/100ml con una desviación estándar y un CV de 7.80 ± 0.07 lo que indica que nuestras muestras tienen poca dispersión y por lo tanto la heterogeneidad del proceso. Para dar seguimiento al proceso y observar la cantidad de azúcar presente en los jugos de agave cocido obtenidos en la etapa de molienda se realizó la determinación de ARD en muestras de jugo cocido obtenido de las tinas antes de iniciar el proceso de fermentación, se obtuvieron valores de 2.26 gr/100ml, 2.60 gr/100ml y 36.33 gr/L, la variación se debió a que las muestras fueron obtenidas de diferentes tinas y en diferentes días; la muestra 3 que fue el valor más alto se obtuvo 24 horas después de que se le adicionó agua caliente a la tina y se homogenizó (ver anexo A).

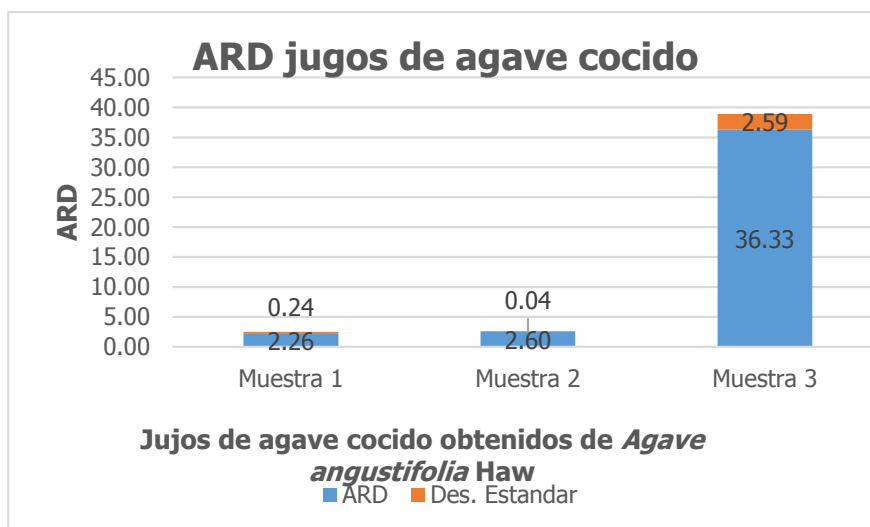
Tabla 11. Resultados de las concentraciones de azúcares reductores totales en g/100 ml por el método de Lane-Eynon para muestras de agave cocido.

	VOLUMEN (ML)	REPETICION	ML GASTADOS	ARD (GR/100 ML)
MUESTRA 1	500	1	47.4	2.12
		2	48.7	2.07
		3	47.2	2.13
		4	43.6	2.31
		5	37.9	2.65
MUESTRA 2	500	1	39.5	2.55
		2	38.5	2.61
		3	38	2.65
		4	38.7	2.60
		5	38.9	2.59
MUESTRA 3	500	1	2.8	35.93
		2	2.9	34.69
		3	3	33.53
		4	2.7	37.26
		5	2.5	40.24

Tabla 12. concentraciones de azúcares reductores totales en g/ml por el método de Lane-Eynon para muestras de jugos de agave cocido.

	VOLUMEN(ML)	ART GR/100 ML	gr/ 100 ml D. estándar ± C.V
MUESTRA 1	500	2.26	0.24±0.11
MUESTRA 2	500	2.60	0±0.01
MUESTRA 3	500	36.33	6.71±0.07

Los valores obtenidos de CV de la tabla 15 fueron, para la muestra 1 de 11% siendo esta el más alto y para la muestra 2 y 3 1% y 7% respectivamente.



Grafica 3. Desviaciones estándar de las concentraciones de ARD en muestras de jugos de agave cocido respecto a la media.

5.3 Destilación

En la tabla 13 se presentan los valores obtenidos de la determinación de acidez para mezcal ordinario de la primera postura realizando cinco repeticiones para cada muestra. Los valores máximos de etanol para las muestras de las fracciones de la

primera postura de acuerdo a la tabla 14 fueron de 29.5 % v/v para las puntas (primera fracción), 10.9 para el cuerpo (segunda fracción) y la más baja para las colas (tercera fracción) 6.7 %v/v, la diferencia en la concentración puede ser por la pérdida de etanol debido a la generación de ácido acético ya que estas muestras sobrepasan el límite permitido de 170 mg de ácido acético/100 ml de a.a establecido por la NOM-070-SCFI-2016.

Tabla 13. Resultados obtenidos de porcentaje de alcohol y acidez total para mezcales ordinarios de la primera postura.

		ORDINARIO PRIMERA POSTURA					
	VOLUMEN (ml)	%v/v	Temperatura °C	% v/v a 20°C	REPETICION	ml GASTADOS	Acidez Total (mg de CH ₃ COOH/100 de a.a.)
PUNTAS	500	30.7	23	29.5	1	14	569.96
					2	13.5	549.59
					3	13.8	559.32
					4	14.1	574.03
					5	13.7	557.72
CUERPO	500	12.2*	22	11.8	1	17.3	1760.78
					2	17.5	1781.14
					3	17.6	1791.32
					4	17.7	1801.5
					5	17.6	1791.32
COLAS	500	7	22	6.7	1	19.2	3443.13
					2	19.2	3441.79
					3	19.1	3423.88
					4	19.2	3441.79
					5	19	3405.82

* porcentaje de alcohol corregido a 15°C

Tabla 14. Resultados obtenidos de porcentaje de alcohol y acidez total para mezcales ordinarios de la primera postura.

ORDINARIOS PRIMERA POSTURA					
	Volumen (ml)	%v/v marcado por el alcoholímetro	*Temperatura °C	% v/v corregida a 20 °C	Acidez Total (mg de ácido acético/100 ml de a.a)
PUNTAS	500	30.7	23	29.5	562.124
CUERPO	500	12.2	22	11.8	1785.21
COLAS	500	7	22	6.7	3431.28

*temperatura tomada al momento de la lectura

Tabla 15. Variación estadística de la determinación de acidez total

	Varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación	% de coeficiente de variación
Puntas	96.87	9.84	0.0175	1.75%
Cuerpo	238.35	15.43	0.00864	0.864%
Colas	266.07	16.31	0.00475	0.475%

Para la segunda postura obtuvimos datos diferentes que, en la primera, el valor máximo de etanol fue en las puntas (primera fracción) con un valor de 29.5%, y el más bajo para las colas con 7.4%, lo que va de la mano con los resultados de acidez total ya que en las ultima fracción fue donde se concentró la acidez.

Tabla 16. Resultados obtenidos de porcentaje de alcohol y acidez total para las muestras de la segunda postura

ORDINARIO SEGUNDA POSTURA							
	Volumen (ml)	%v/v	Temperatura °C	% v/v a 20°C	REPETICION	ml GASTADOS	Acidez Total (mg de CH ₃ COOH/100 de a.a.)
PUNTAS	500	30.8	22.5	29.5	1	13.8	449.45
					2	13.5	439.66
					3	13.8	449.5
					4	14.1	459.22
					5	13.7	446.16
CUERPO	500	21.3	22.5	20.5	1	17.3	810.78
					2	17.5	820.19
					3	17.6	824.87
					4	17.7	824..87
					5	17.6	824..87
COLAS	500	7.8	22.5	7.4	1	19.2	2492.83
					2	19.2	2492.83
					3	19.1	2479.86
					4	19.2	960.78
					5	19	2466.89
REFINADO	500	47	23	45.9	1	9.4	221.35
					2	9	211.93
					3	9.4	221.35
					4	9.3	222.65
					5	9.3	222.65

Tabla 17. Resultados obtenidos de porcentaje de alcohol y acidez total para mezcales ordinarios de la segunda postura.

ORDINARIOS SEGUNDA POSTURA					
	Volumen (ml)	%v/v marcado por el alcoholímetro	*Temperatura °C	% v/v corregida a 20 °C	Acidez Total (mg de ácido acético/100 ml de a.a)
PUNTAS	500	30.8	22.5	29.5	448.80
CUERPO	500	21.3	22.5	20.5	818.61
COLAS	500	7.8	22.5	7.4	2178.63

Tabla 18. Porcentaje de coeficiente de variación para las fracciones de la segunda destilación.

	Varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación	% de coeficiente de variación
PUNTAS	50	7.07	0.0158	1.58%
CUERPO	51.50	7.18	0.0088	0.88%
COLAS	463608.81	680.89	0.313	31.3%

Para la mezcla del refinado se obtuvo un grado de alcohol de 50 %v/v y de acidez total 220 mg de ácido acético/100 ml de a.a lo que se encuentra fuera del límite permisible de 170 mg de ácido acético/100 ml de a.a. establecido por la NOM-070-SCFI-2016.

Tabla 19. Grado alcohólico, acidez total y % de coeficiente de variación para la mezcla del refinado.

REFINADO				
Volumen (ml)	%v/v marcado por el alcoholímetro	*Temperatura °C	(% v/v) corregida a 20 °C	Acidez Total (mg de ácido acético/100 ml de a.a)
500	47	23	50	220

Tabla 20. Porcentaje de coeficiente de variación para las fracciones de la segunda destilación.

Varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación	% de coeficiente de variación
20.70	4.55	0.0207	2.07%

CONCLUSIONES

- El contenido de azúcares reductores presentes en muestras de *Agave angustifolia* Haw crudo fue de 30.30% que de acuerdo a investigaciones se encuentra en el intervalo de 25 a 30 % de ART y se clasifica como de buena calidad, comparando el resultado obtenido con el contenido de azúcares de la muestra de agave cocido que fue de 36.71% nos damos cuenta que el incremento de azúcar se debe a que el muestreo fue aleatorio y el número de muestras no fueron suficientes; por lo cual se recomienda, que para un próximo análisis y poder estandarizar el proceso el número de muestras de agave antes y después de la cocción se incremente.
- La acidez total presente en mezcales ordinarios obtenidos en la primera y segunda postura fueron: para puntas 562.12 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a. y 448.80 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a. respectivamente; para cuerpo, 1785.21 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a y 818.61 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a respectivamente; y para las colas 3431.28 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a.y 2178.64 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a. respectivamente. La acidez total presente en mezcal refinado fue de 220 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a, el cual se encuentra fuera de las especificaciones dadas por la norma oficial mexicana NOM-070-SCFI-2016 que establece que el límite permitido es de 170 mg de $\text{CH}_3\text{COOH}/100$ de a.a.
- La graduación alcohólica corregida a 20 °C de mezcal ordinario de primera y segunda postura fue de: para puntas 29.5%v/v; para cuerpo, 11.8 %v/v y 20.5 %v/respectivamente; para colas, 6.7 %v/v y 7.4 %v/v respectivamente; y para mezcal refinado 50 %v/v, todas las determinaciones se llevaron a cabo respetando todas las indicaciones dadas por la NOM-070-SCFI-2016 aplicando el método normativo NMX-V-013-NORMEX-2013. Comparando los resultados con lo permitido por la norma, el mezcal refinado se encuentra dentro del intervalo establecido que debe estar entre 35% v/v a 55% v/v.

Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de MEZCAL OAXACA: <http://www.mezcal-oaxaca.com/historiadelmescal.html>
- (s.f.). Obtenido de Consejo Regulador del Mezcal : <https://www.crm.org.mx/>
- A.J.E. Botello, M. C., & al, e. (2006). Compuestos volátiles en el mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* , 41-50.
- Akaki, P. P., & Vera, N. V. (2017). Oaxaca y sus regiones productoras de mezcal: Un análisis desde cadenas globales de valor. *Perspectivas Rurales, Nueva época N° 29*, 103-132.
- Blog Bacanora*. (s.f.). Obtenido de Anatomía del Agave Angustifolia Haw: <https://bacanorablog.wordpress.com/2016/07/04/anatomia-del-agave-agustifolia-how/>
- Bousios, A. (2007). Aislamiento y caracterización de Tyl- copia de secuencias de retrotransposones en agave azul (Agave tequilana Azul) y su desarrollo como marcadores SSAP para análisis filogenético. *Ciencia de las Plantas*, 291-298.
- Cadena, J. I. (2012). Identificación Taxonómica de agaves spp. utilizados para la elaboración de licor comiteco en Chiapas, México. En *Volumen 5*.
- Cornelio, P. R. (2005). Los Mezcales y sus tradicoones: complejidad, gastronomía, control social y gusto hstórico. *Herencia Cultural y Biodiversidad* . Obtenido de http://mezcalestradicionales.mx/mezcales_herencia_cultural_y_bio/Ponencias%20PDF/2%20Mezcales%20y%20tradiciones.pdf
- cuello C., J. B. (2008). Quantitative characterization of non-structural carbohydrates of mezcal agave . *journal of agricultural food and chemistry*.
- Del maguey* . (16 de enero de 2015). Obtenido de <http://www.mezcal.com>
- E. Pérez, J. G.-H.-P.-P. (2013). caracterización fermentativa de levaduras productoras de etanol a partir de jugo de agave cupreata en la elaboración de mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* , 452.
- Esqueda, M. V. (s.f.). Agave angustifolia Haw. Técnicas para el transplante de vitroplantas a condiciones de agostadero. En SAGARPA.
- Gallardo, V. (2008). la producción de mezcal en el estado de Michoacán. *Gobierno del Estado de Michoacán y Centro de investigación y Asistencia Tecnológica y Diseño del Estado de Jalisco*.
- García, A. M. (2007). Los Agaves de México. *Universidad Nacional Autónoma de México* , 14-23.
- Gobierno del Estado de Oaxaca*. (16 de Marzo de 2005). Obtenido de <https://www.oaxaca.gob.mx/mezcal.html.%5d>
- Márquez, J. Q. (2001). *Todo lo que quería saber del mezcal y temía preguntar* . Oaxaca: Universidad Jose Vasconcelos .
- Martínez, F. M. (2007). El agave mezcalero en México .

- Mezcal Artesanal*. (1 de Diciembre de 2017). Obtenido de Mil Caminos :
<https://medium.com/@mezcalmilcaminos/la-qu%C3%ADmica-entre-t%C3%BA-y-el-mezcal-78f9f08413d8>
- Mezcal Oaxaca*. (2015). Obtenido de <http://www.mezcal-oaxaca.com/mezcal-historia-del-mezcal-produccion-mezcal-y-tequila.html>
- Molina, J. (2007). Compuestos Volátiles en el Mezcal. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* , 41-50.
- Nogales, L. (1 de abril de 2018). Obtenido de <https://mezcologia.mx/agaves-mezcaleros-de-oaxaca/>
- Nogales, L. (1 de Abril de 2018). *Mezcologia* . Obtenido de <https://mezcologia.mx/agaves-mezcaleros-de-oaxaca/>
- NOM-006-SCFI-2005-Tequila*. (s.f.).
- NOM-070-SCFI-2016. (2016). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-070-SCFI-2016, BEBIDAS ALCOHÓLICAS-MEZCAL-ESPECIFICACIONES*.
- Ortíz, C. (2016). Las Clases de tierras productoras de maguey mezcalero en la Soledad Salinas, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* .
- Osorio, R. (2009). Manual de Técnicas de Laboratorio Químico . colombia : Editorial Universidad de Antioquía.
- Pérez Hernandez Elia, M. d. (2016). Revisión del agave y el mezcal . *Revista Colombiana de biotecnología* .
- PIGM*. (s.f.). Obtenido de Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Santiago Matatlán, Oaxaca.:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20475.pdf>
- Plan Rector Sistema Nacional Maguey y Mezcal. (2011).
- Reyna, R. Z. (s.f.). El Mezcal de Villa Sola de Vega, Oaxaca: Proceso de producción, comercialización y economía moral. En *Tesis* .
- Rícardez, I. (2005). Los mezcales y sus tradiciones: complejidad, gastronomía, control social y gusto histórico. *Herencia Cultural*. Obtenido de
http://mezcalestradicionales.mx/mezcales_herencia_cultural_y_bio/Ponencias%20PDF/2%20Mezcales%20y%20tradiciones.pdf
- Rodriguez, A. C. (2017). El mezcal, su producción y tratamiento de residuos.
- Rodríguez, P. C., & 2016, D. G. (2020). Tiempo de pasteurización y su respuesta en las características químicas y de capacidad antioxidante de aguamiel de aguamiel de Agave Ameri-can L. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 45-57.
- Romero, C. a. (2021). Manual para Productores de Destilado de Agave. En M. Casa, M. A. Páez, N. Espín, & S. Naranjo.

- Romero, C., & 2016, B. C. (2021). Manual para productores de Destilado de Agave. *Proyecto AGAVE*, 14.
- Rosel, K., & Durán, H. O. (2002). Optimización de la molienda de maguey para el proceso de producción de mezcal. *Memoria del XII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. II Foro de la Agroindustria del Mezcal*, 2-3. Oaxaca .
- Sanchez, A. L. (s.f). Oaxaca Tierra de Maguey y Mezcal . Obtenido de Oaxaca Tierra de Maguey y Mezcal.
- Valdez, C. C. (2008). La Producción de mezcal en el Estado de Michoacán . 139.

ANEXOS

ANEXO A

9.1. DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES TOTALES (ART)

- 9.1.1.** Para la determinación de ART, adicionar 5 mL de Ácido Clorhídrico al 50% v/v, al matraz que contiene la muestra.
- 9.1.2.** Colocar el matraz en el baño María a temperatura controlada de 341 a 343 K (68-70 °C) introduciendo un termómetro al matraz y esperar a que la muestra llegue a esta temperatura y manteniéndolo así por 5 ó 15 minutos dependiendo del tipo de muestra (consultar la tabla No. 1).
- 9.1.3.** Enfriar a temperatura ambiente la solución con la muestra ya invertida.
- 9.1.4.** Pasar cuantitativamente la solución invertida a un matraz volumétrico de la capacidad como se menciona en la tabla No. 1, agregar 2 ó 3 gotas del indicador de fenolftaleína y neutralizar al vire de color (pH 8,2) con Hidróxido de Sodio 1N, y llevar a la marca de aforo con agua grado II.
- 9.1.5.** Realizar la titulación preliminar de aproximación y posteriormente la titulación definitiva por duplicado y registrar el volumen consumido, de acuerdo al punto 9.6 y 9.7. Utilizar el volumen consumido para los cálculos del contenido de ART como en el punto 10.

9.2. DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES DIRECTOS (ARD)

- 9.2.1.** Para la determinación de ARD de debe omitir la hidrólisis de la muestra, (adición de ácido clorhídrico y tratamiento térmico en baño María). Realizar la titulación preliminar de aproximación y posteriormente la titulación definitiva por duplicado y registrar el volumen consumido, de acuerdo al punto 9.6 y 9.7. Utilizar el volumen consumido para los cálculos del contenido de ARD como en el punto 10.

9.3. TITULACIÓN PRELIMINAR DE LA MUESTRA

NOTA:

Es necesaria esta determinación para comprobar que la solución que se preparó con la muestra problema, nos dé un gasto que estará comprendido entre 15 y 50 mL; si la dilución no gasta esta cantidad, es necesario preparar otra dilución de la

muestra; además esta titulación es para determinar aproximadamente el gasto para tenerlo en cuenta en la siguiente titulación definitiva.

- 9.3.1.** Medir volumétricamente 5 mL de solución de Fehling A (de Sulfato de Cobre) y transferirlos en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Hacer lo mismo con la solución Fehling B (de tartrato de sodio y potasio) colocándola en el mismo matraz formando así 10 mL de la mezcla de solución Fehling.
- 9.3.2.** Adicionar al matraz que contenga la mezcla de solución Fehling 20 mL de agua grado II y añadir algunas perlas de ebullición para mantener la ebullición uniforme.
- 9.3.3.** Cargar la bureta con la solución problema (muestra preparada).
- 9.3.4.** Agregar de la bureta 15 mL de la solución al matraz Erlenmeyer que contiene el Fehling y homogeneizar, como en el punto 9.2 Estandarización de la solución de Fehling.
- 9.3.5.** Colocar el matraz Erlenmeyer sobre la fuente de calentamiento, hasta que comience la ebullición.
- 9.3.6.** Si el color azul propio de la solución de Fehling no desaparece y no se torna rojizo al comienzo de la ebullición, deberá agregarse con precaución más volumen de la solución problema, hasta que se logre el cambio de color señalado. Mantener en ebullición por 2 minutos.
- 9.3.7.** Agregar inmediatamente 2 a 3 gotas de Azul de Metileno al 1% m/v o bien 1 mL al 0,2% m/v (el líquido se colorea de azul).
- 9.3.8.** Continuar con la titulación gota a gota hasta la desaparición del color azul y la aparición del color rojizo. Este es el fin de la titulación.
- 9.3.9.** Leer en la bureta los mL gastados, para tenerlos en cuenta en la titulación definitiva.

9.4. TITULACIÓN DEFINITIVA

- 9.4.1.** Adicionar 5 mL de la solución A, 5 mL de la solución B y 20 mL de agua grado II, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, agregar perlas de ebullición.
- 9.4.2.** Cargar la bureta con la solución problema.
- 9.4.3.** Agregar de la bureta de 0,5 a 1 mL menos del gasto que resultó en la titulación preliminar.
- 9.4.4.** Calentar el matraz Erlenmeyer sobre la fuente de calentamiento, hasta que comience la ebullición.
- 9.4.5.** Esperar 2 minutos desde que empieza la ebullición.
- 9.4.6.** Agregar de 3 a 4 gotas de la solución de Azul de Metileno al 1% m/v o 1 mL al 0,2% m/V, inmediatamente se comienza a agregar gota a gota la solución problema, hasta que desaparezca el color azul y se torne rojizo.

DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-036-1980)

REACTIVOS Y PATRONES

- 5.1 Agua libre de CO₂ Preparar todas las disoluciones con agua destilada o desionizada que ha sido hervida recientemente durante 15 min y enfriar a temperatura ambiente. Al final el pH del agua debe ser ≥ 6 y su conductividad $< 2 \mu\text{S/cm}$.
- 5.2 Biftalato de potasio (KHC₈H₄O₄)
- 5.3 Fenolftaleína
- 5.4 Hidróxido de sodio (NaOH)
- 5.5 Etanol

Procedimiento:

- 5.12 Disolución de ácido sulfúrico o ácido clorhídrico (0,1 N). Diluir 8,3 mL de ácido clorhídrico concentrado ó 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 5.4) en 1L con agua libre de CO₂.
- 5.13 Disolución de ácido sulfúrico o clorhídrico (0,02 N). Diluir 200 mL de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico 0,1 N (ver inciso 5.12) a 1 L de agua.
- 5.14 Disolución de hidróxido de sodio (0,1 N). Pesar aproximadamente y con precisión 4,0 g de hidróxido de sodio (ver inciso 5.7) disolver y diluir a 1 L con agua.
- 5.15 Disolución de hidróxido de sodio (0,02 N). Transferir 200 mL de la solución de NaOH 0,1 N (ver inciso 5.14) a un matraz volumétrico de 1L. Diluir a 1L con agua.
- 5.16 Disolución de tiosulfato de sodio pentahidratado (0,1 M). Pesar aproximadamente y con precisión 25,0 g de tiosulfato de sodio (ver inciso 5.9) y diluir a 1 L con agua (agregar 5 mL de cloroformo (ver inciso 5.11) como preservador.
- 5.17 Disolución indicadora de naranja de metilo. Pesar aproximadamente y con precisión 0,5 g del colorante naranja de metilo (ver inciso 5.5) y aforar a 1L con agua. Filtrar la disolución fría para remover cualquier precipitado que se forme. O bien, pesar aproximadamente y con precisión 0,5 g de la sal de sodio (ver inciso 5.5) y diluir a 1 L con agua, si es necesario filtrar cuando esté fría la disolución.
- 5.18 Disolución indicadora de fenolftaleína. Pesar aproximadamente y con precisión 5,0 g de fenolftaleína (ver inciso 5.6) y disolver en 500 mL de etanol, (ver inciso 5.10) añadir 500 mL de agua con agitación constante. Filtrar si hay formación de precipitado.

ANEXO B

Preparación del horno



Molienda del agave



Homogeneización de la tina



Preparación del alambique para destilar



Jugo extraído de muestras de agave crudo y cocido



centrifuga utilizada para la separación de las fases de la muestra.



Alcoholímetros utilizados para la determinación de grado alcohólico



