



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

“Unidad Iztapalapa”

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA

“Efecto del tostado en la composición volátil y propiedades sensoriales en cervezas artesanales de maíz rojo y cebada”.

Tesis para obtener el grado de:

MAESTRA EN BIOTECNOLOGÍA

P R E S E N T A

I. A. Yareth Nayeli Hernández Mora

Director de tesis:

Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía

Asesor:

Dr. José Ramón Verde Calvo

Ciudad de México. Noviembre, 2019.

La Maestría en Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana está incluida en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y además cuenta con el apoyo 494185.

Esta tesis se llevó a cabo en el Laboratorio de Evaluación Sensorial del Departamento de Biotecnología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, bajo la dirección del Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía.

Agradecimiento al CONACYT por la beca otorgada a Yareth Nayeli Hernández Mora para realizar sus estudios de Maestría.

Agradecimientos

Primero que nada, quiero agradecer encarecidamente a los Doctores Héctor Escalona Buendía, José Ramón Verde Calvo y a la Maestra Frida Malpica Sánchez, por abrirme las puertas de su laboratorio y hacerme sentir parte de su equipo de trabajo. Gracias por todo su apoyo, comentarios, conocimientos impartidos, pero sobre todo por su tiempo y paciencia durante la elaboración de este trabajo. Es un gusto para mi ser parte de este grupo y aprenderles día con día.

Asimismo, agradezco a las Doctoras Josefa Espitia López y Patricia Severiano Pérez por el tiempo dedicado a la revisión de este documento y sus puntuales observaciones.

También quiero agradecer a mis compañeros de laboratorio y amigos, León, Naye, Miguel, Ara, Fredy, Pili y Aidyn, por su apoyo, consejos y sugerencias; pero sobre todo por las pláticas, las risas y los buenos momentos compartidos, los admiro y me llevo mucho aprendizaje de cada uno para poner en práctica.

Un especial agradecimiento a todos los chicos y chicas que formaron parte del panel de jueces entrenados, fue realmente satisfactorio para mi trabajar con ustedes, gracias por el interés mostrado, por su dedicación y asistencia a las pruebas desde un principio. Realmente el aprendizaje obtenido fue mutuo. Gracias por que sin ustedes este trabajo no se habría logrado.

Finalmente, agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana, por permitirme ser miembro una vez más de esta majestuosa institución y por los apoyos otorgados; de igual manera, quiero agradecer a CONACyT por la beca otorgada durante mi estancia en la maestría.

Dedico

A mis padres, Fanny Mora y Ricardo Hernández, por su apoyo incondicional, por ser mi fuente de inspiración y motivación para seguir adelante, gracias por procurar mi bien sin esperar nada a cambio. Dios debe amarme tanto al permitirme tenerlos en mi vida, espero poder regresarles un poco de lo mucho que me han brindado.

A Eric y Ricky, porque al crecer juntos son gran parte de lo que hoy soy. Aprendo tanto de ustedes, son para mí una guía y apoyo incondicional, gracias por eso.

A Naye y Owen, quienes complementan y llenan de alegría mi vida. Su presencia es de lo más valioso que tengo.

A Rosa y Thalia, nunca se rindan que si se puede.

A mis bebés, Santi, Diego, Dani, Bryan y Osman, nunca pierdan su sonrisa.

Mil gracias familia, soy muy afortunada por tenerlos en mi vida. Los Amo.

Esto también va dedicado para mis amigos quienes me alientan a continuar y perder el miedo.

A Eve, gracias por todo el apoyo, motivación y el impulso para estar aquí. Gracias por todos los consejos, compañía y cariño.

Resumen

La finalidad del presente estudio se basó en la identificación tentativa de diversos compuestos volátiles presentes en maltas de maíz rojo, tanto base como tostadas, haciendo modificaciones en las condiciones de tostado, en específico el tiempo empleado (20 min (T1) y 60 min (T2)), contrastando con maltas de cebada. La extracción y concentración de los compuestos volátiles se realizó mediante HS/SPME, y la identificación por medio de GC/FID. Este análisis también se llevó a cabo en las cervezas artesanales obtenidas a partir de las maltas, de las cuales, además, se obtuvo una caracterización sensorial siguiendo la metodología del Análisis Descriptivo Cuantitativo que permitió la determinación y cuantificación de los atributos sensoriales característicos de cada muestra con ayuda de un panel de jueces entrenados.

El análisis de los compuestos volátiles se llevó mediante Análisis de Componentes Principales (ACP), mientras que en los resultados sensoriales se realizó por ANOVA, ACP y gráficas de radar.

Fueron identificados 19 compuestos volátiles en maltas, que comprenden aldehídos, alcoholes, cetonas, furanos, pirazinas y pirroles, dentro de los que se encuentran productos de las reacciones de Maillard, generados durante el tostado, principalmente en las maltas con mayor tratamiento térmico. Respecto a las cervezas, 14 compuestos volátiles fueron identificados, principalmente ésteres y alcoholes los cuales confieren el sabor y olor específicos de estas cervezas.

Los descriptores sensoriales generados en las cervezas analizadas, para características de apariencia, olor, sabor y sensación en boca, permitieron la diferenciación entre cervezas elaboradas solo con las maltas con mayor tratamiento térmico en el tostado, posicionando a la cerveza elaborada con malta de maíz T1 junto a las cervezas con maltas base.

Palabras clave: Cerveza, malta, maíz rojo, tostado, evaluación sensorial, cromatografía de gases, compuesto volátil, ACP.

Abstrac

The purpose of the present study was based on the tentative identification of various volatile compounds present in red corn malts, both base and roasted, making modifications to the roasting conditions, specifically the time taken (20 min (T1) and 60 min (T2)), contrasting with barley malts. Extraction and concentration of volatile compounds was performed by HS/SPME, and identification by GC/FID. This analysis was also carried out in the craft beers obtained from the malts, of which, in addition, a sensory characterization was obtained following the methodology of the Quantitative Descriptive Analysis that allowed the determination and quantification of the characteristic sensory attributes of each sample with the help of a panel of trained judges.

The analysis of the volatile compounds was carried out by the Principal Component Analysis (PCA), while in the sensory results they were performed by ANOVA, ACP and radar graphs.

Were identified 19 volatile compounds in malts, including aldehydes, alcohols, ketones, furans, pyrazines and pyroles, among which are products of the Maillard reactions, generated during roasting, mainly in malts with greater heat treatment. Regarding beers, 14 volatile compounds were identified, mainly esters and alcohols which confer the specific taste and smell of these beers.

The sensory descriptors generated in the analyzed beers, for characteristic of appearance, smell, taste and mouthfeel, allowed the differentiation between beers made only with the malts with greater heat treatment in the roasting, positioning the beer made with T1 corn malt next to the base malts.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MARCO TEÓRICO	2
2.1	CERVEZA	2
2.1.1	<i>Tipos de cerveza</i>	2
2.1.2	<i>Malteo del grano</i>	3
2.1.2.1	Remojo	4
2.1.2.2	Germinación	4
2.1.2.3	Secado y tostado	5
2.1.2.3.1	Maltas Tostadas.....	6
2.1.2.3.2	Reacciones de Maillard y productos de sabor	7
2.1.3	<i>Proceso de elaboración de cerveza</i>	10
2.1.3.1	Molienda	11
2.1.3.2	Maceración.....	11
2.1.3.3	Cocción y lupulado	12
2.1.3.4	Enfriamiento.....	13
2.1.3.5	Fermentación	13
2.1.3.6	Envasado y maduración	14
2.2	EL MAÍZ	15
2.2.1	<i>Maíces pigmentados</i>	16
2.3	PROPIEDADES AROMÁTICAS DE LA CERVEZA Y SU CARACTERIZACIÓN	17
2.3.1	<i>Compuestos aromáticos en cerveza</i>	17
2.3.2	<i>Compuestos volátiles</i>	19
2.3.3	<i>Análisis de Compuestos Volátiles: Extracción y Concentración</i>	19
2.3.4	<i>Análisis de Compuestos Volátiles: Cromatografía de Gases</i>	20
2.3.5	<i>Evaluación Sensorial</i>	20
2.3.5.1	Análisis Descriptivo	21
2.3.5.2	Análisis estadístico para la evaluación de los datos sensoriales	23
2.3.5.2.1	Análisis de Varianza (ANOVA).....	23
2.3.5.2.2	Métodos estadísticos multivariados.....	23
2.3.5.2.3	Análisis de Componentes Principales (ACP)	24
2.4	ESPACIO DE COLOR	26
3.	ANTECEDENTES	27
4.	JUSTIFICACIÓN	29
5.	HIPÓTESIS	30
6.	OBJETIVOS	30
6.1	GENERAL.....	30
6.2	PARTICULARES.....	30
7.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
7.1	MALTEO DE MAÍZ ROJO	31
7.2	ELABORACIÓN DE CERVEZA.....	33
7.3	MÉTODOS FÍSICOQUÍMICOS EMPLEADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MALTAS Y CERVEZAS	34
7.3.1	<i>Análisis fisicoquímicos de la malta</i>	34

7.3.1.1	Determinación de color.....	34
7.3.1.2	Extracción de compuestos volátiles	34
7.3.1.3	Análisis de compuestos volátiles.....	35
7.3.2	<i>Análisis fisicoquímicos de la cerveza</i>	36
7.3.2.1	Determinación del color.....	36
7.3.2.2	Determinación de azúcares reductores directos.....	36
7.3.2.3	Determinación de acidez total	37
7.3.2.4	Determinación de contenido alcohólico	37
7.3.2.5	Determinación de amargor	37
7.3.2.6	Análisis de compuestos volátiles.....	38
7.3.3	<i>Análisis sensorial - Análisis Descriptivo Cuantitativo</i>	39
7.3.3.1	Reclutamiento y selección de jueces.....	39
7.3.3.2	Generación de atributos descriptivos	39
7.3.3.3	Entrenamiento del panel.....	41
7.3.3.4	Evaluación del producto.....	42
7.3.3.5	Análisis estadísticos.....	43
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
8.1	PARÁMETROS DEL COLOR DE MALTAS.....	44
8.2	PARÁMETROS DE COLOR DE CERVEZAS.....	46
8.3	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE CERVEZAS MADURAS.....	48
8.4	CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DE CERVEZAS ARTESANALES DE CEBADA Y MÁIZ ROJO.....	51
8.4.1	<i>Perfiles de Apariencia</i>	51
8.4.2	<i>Perfiles de Olor</i>	53
8.4.3	<i>Perfiles de Sabor</i>	53
8.4.4	<i>Perfiles de Sensación en boca</i>	54
8.5	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	55
8.6	FICHA DE ESTILO DE CERVEZAS	60
8.7	IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN MALTAS	61
8.8	IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES EN CERVEZAS	65
9.	CONCLUSIONES	68
10.	PERSPECTIVAS	69
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
12.	ANEXOS.....	77
12.1	ANEXO 1. CUESTIONARIO DE PRE-SELECCIÓN DE JUECES.....	77
12.2	ANEXO 2. CUESTIONARIO DE SELECCIÓN DE JUECES - PRUEBAS DE SENSIBILIDAD	79
12.3	ANEXO 3. CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE MUESTRAS DURANTE EL ENTRENAMIENTO	81
12.4	ANEXO 4. EJEMPLO DE PRESENTACIÓN DE REFERENCIAS.....	83
12.5	ANEXO 5. ESTÁNDARES Y DESCRIPCIÓN DE DESCRIPTORES	84
12.6	ANEXO 6. IMÁGENES DE REFERENCIA DEL DESCRIPTOR “TURBIDEZ”	86
12.7	ANEXO 7. IMÁGENES DE REFERENCIA DEL DESCRIPTOR “ESPUMA”	87
12.8	ANEXO 8. IMÁGENES DE REFERENCIA DEL DESCRIPTOR “CARBONATACIÓN”	88
12.9	ANEXO 9. CUESTIONARIO UTILIZADO EN LA EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS	89
12.10	ANEXO 10. GUÍA DE COLOR UTILIZADA DURANTE LA EVALUACIÓN SENSORIAL	89
12.11	ANEXO 11. PROMEDIO DE LA EVALUACIÓN DE JUECES EN QDA	90
12.12	ANEXO 12. RESULTADOS DE ANOVA REALIZADO A CADA ATRIBUTO	93

12.13	ANEXO 13. RESULTADOS DEL ACP PARA LA EVALUACIÓN DESCRIPTIVA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE CERVEZA	94
12.14	ANEXO 14. CROMATOGRAMAS OBTENIDOS DE LAS MALTAS ANALIZADAS	95
12.14.1	<i>Malta de maíz base</i>	95
12.14.2	<i>Malta de maíz tostado – Tratamiento 1</i>	95
12.14.3	<i>Malta de maíz tostado – Tratamiento 2</i>	96
12.14.4	<i>Malta de cebada base</i>	96
12.14.5	<i>Malta de cebada tostada</i>	96
12.15	ANEXO 15. RESULTADOS DEL ACP PARA LA EVALUACIÓN CROMATOGRÁFICA DE LAS MALTAS	97
12.16	ANEXO 16. CROMATOGRAMAS OBTENIDOS DE LAS CERVEZAS ANALIZADAS.....	98
12.16.1	<i>Cerveza elaborada con malta de maíz base</i>	98
12.16.2	<i>Cerveza elaborada con maíz tostado- Tratamiento 1.</i>	98
12.16.3	<i>Cerveza elaborada con malta de maíz tostado- Tratamiento 2.</i>	98
12.16.4	<i>Cerveza elaborada con malta de cebada base</i>	99
12.16.5	<i>Cerveza elaborada con malta de cebada tostada</i>	99
12.17	ANEXO 17. RESULTADOS DEL ACP PARA LA EVALUACIÓN CROMATOGRÁFICA DE LAS CERVEZAS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso del malteo del grano. _____	3
Figura 2. a) Desarrollo de la germinación en cebada. b) Malta verde. _____	5
Figura 3. Diversos colores obtenidos en cerveza de acuerdo con la malta utilizada. _____	5
Figura 4. Horno utilizado en el secado y tostado de la malta. _____	6
Figura 5. Elaboración general de maltas base, tostadas y especiales. _____	7
Figura 6. Proceso de elaboración de cerveza. _____	10
Figura 7. Molino utilizado en la molienda de la malta. _____	11
Figura 8. Maceración a nivel artesanal. _____	12
Figura 9. a) Flor de lúpulo, b) Lúpulo en pellets. _____	13
Figura 10. Fermentación a nivel a) artesanal e b) industrial. _____	14
Figura 11. Envasado a nivel artesanal. _____	14
Figura 12. Estructuras del grano de maíz. _____	15
Figura 13. Principales países productores de maíz 2010-2020 (Miles de Toneladas). _____ ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 14. Ejemplos de maíces pigmentados a) maíz rojo y b) maíz azul. _____	16
Figura 15. Diagrama de cromaticidad del espacio de color. _____	26
Figura 16. Metodología general de la elaboración y análisis de cerveza artesanal de maíz rojo y cebada. _____	31
Figura 17. Malteo de maltas base y tostadas de maíz rojo. _____	31
Figura 18. Grano de maíz rojo germinado o malta verde. _____	32
Figura 19. Proceso de elaboración de cervezas de maíz rojo y cebada. _____	33
Figura 20. Lote de cerveza en fermentador de 4L. _____	33
Figura 21. Diseño experimental de elaboración de cervezas. _____	34
Figura 22. Extracción de compuestos volátiles. _____	35
Figura 23. Reuniones en grupo/Consensos. _____	40
Figura 24. Presentación de referencias. _____	42
Figura 25. Cabinas utilizadas para la evaluación de las muestras. _____	42
Figura 26. Evaluación de las muestras de cerveza. _____	43
Figura 27. Diferentes tratamientos de maltas de maíz rojo obtenidos. _____	45
Figura 28. Diferentes tratamientos de maltas de maíz rojo obtenidos. _____	45
Figura 29. Cervezas de maíz rojo y cebada obtenidos. _____	47
Figura 30. Perfiles de apariencia de cervezas de a) maíz rojo y b) cebada. _____	51
Figura 31. Valores numéricos de color de la guía de SRM obtenidos por los jueces en cervezas de a) maíz rojo y b) cebada. _____ ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 32. Perfiles de olor de las cervezas de a) maíz rojo y b) cebada. _____	53
Figura 33. Perfiles de sabor de las cervezas de a) maíz rojo y b) cebada. _____	54
Figura 34. Perfiles de sensación en boca de las cervezas de a) maíz rojo y b) cebada. _____	55
Figura 35. Distribución de las muestras y atributos de acuerdo con el ACP. _____	56
Figura 36. Distribución de las muestras y atributos de acuerdo con el ACP. _____	57
Figura 37. Distribución de las maltas y compuestos de acuerdo al ACP. _____	62
Figura 38. Distribución de las cervezas y compuestos de acuerdo al ACP. _____	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales grupos de aromas de la cerveza provenientes del malteado (Parker, 2012).	10
Tabla 2. Principales grupos de aromas de la cerveza provenientes y su origen (Parker, 2012).	18
Tabla 3. Condiciones de secado de maíz rojo.	32
Tabla 4. Condiciones de tostado de maíz rojo.	32
Tabla 5. Características del cromatógrafo de gases. Adaptado de Flores, 2018.	35
Tabla 6. Método utilizado en el análisis de compuestos volátiles. Adaptado de Flores, 2018.	36
Tabla 7. Método utilizado en el análisis de compuestos volátiles. Adaptado de Romero, 2013.	38
Tabla 8. Lista de atributos representativos.	40
Tabla 9. Parámetros de color en maltas de maíz rojo y cebada.	44
Tabla 10. Parámetros de color en cervezas de maíz rojo y cebada.	46
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en cervezas maduras.	48
Tabla 12. Atributos más importantes en la diferenciación de las muestras de cerveza.	58
Tabla 13. Atributos que caracterizan a cada cerveza.	59
Tabla 14. Compuestos identificados en maltas por cromatografía de gases.	61
Tabla 15. Compuestos más importantes en la diferenciación de las maltas.	63
Tabla 16. Compuestos volátiles que caracterizan a cada malta.	64
Tabla 17. Compuestos identificados en maltas por cromatografía de gases.	65
Tabla 18. Compuestos más importantes en la diferenciación de las cervezas.	67

1. Introducción

Una bebida alcohólica fermentada es el producto resultante de la fermentación de materias primas, llevada a cabo por levaduras que tienen la capacidad de transformar azúcares fermentables en etanol y CO₂. (NOM-199-SCFI-2017; Mencia y Pérez, 2016).

La cultura cervecera ha ido evolucionando en los últimos años, redescubriendo y explorando nuevos sabores y estilos debido a una gran variedad de modificaciones en el proceso de elaboración y a la mezcla e incorporación de diversos ingredientes (como lo es el maíz rojo), obteniendo productos con una gran riqueza en su composición química, como lo son compuestos volátiles de diferente naturaleza química, expresados en cada una de las etapas de elaboración, cuya presencia y proporción determina las características sensoriales y por lo tanto el agrado hacia el producto final (Hughes y Baxter, 2001; Mencia y Pérez, 2016).

Por otra parte, las maltas tostadas, que son obtenidas con regímenes distintos de tiempo y temperatura, no son una fuente potencial para extraer azúcares reductores como lo es la malta base, sin embargo, ofrecen colores y aromas distintivos mejorando la estabilidad del sabor en la cerveza gracias a la formación de compuestos de sabor, durante el proceso de tostado de las maltas, que juegan un papel importante en la composición aromática de la cerveza (Dong *et al.*, 2013; Parker, 2012).

En este trabajo se estudió el efecto del tostado sobre la composición volátil resultante de maltas de maíz rojo y cebada, y de las cervezas obtenidas de estas. Así mismo, se miden parámetros fisicoquímicos y finalmente, se evalúan características sensoriales de las cervezas obtenidas a través de un Análisis Descriptivo Cuantitativo.

2. Marco teórico

2.1 Cerveza

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, la cerveza es una bebida alcohólica fermentada, elaborada con malta, lúpulo, levadura y agua potable, puede adicionarse con infusiones de cualquier semilla farinácea procedente de gramíneas o leguminosas, raíces o materia prima vegetal feculenta y/o carbohidratos de origen vegetal susceptibles de ser hidrolizados o, en su caso, azúcares que son adjuntos de la malta, con adición de lúpulos o sucedáneos en éstos. Su contenido alcohólico es de 2% a 20% Alc. Vol. Algunos aditivos permitidos, utilizados de manera descriptiva mas no limitativa son: jarabes de maltosa, miel, fruta, jugo de fruta, concentrado de fruta, hierbas, especias, entre otros.

2.1.1 Tipos de cerveza

La cerveza se clasifica según su tipo en Ale, Lager y Lámbica, esta última producida localmente en Bélgica y fermentada de forma espontánea con levaduras silvestres; la fermentación de tipo *Ale*, es llevada a cabo por levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae* a temperaturas entre 15-25°C; se realiza en la superficie del recipiente (de ahí que al término *Ale* se le conoce como fermentación “alta”), el tiempo de fermentación es relativamente corto, pudiendo ser culminado en una o dos semanas. Además, este tipo de cervezas cuenta con una amplia gama de aromas, consecuencia de un alto contenido de ésteres. Por el contrario, en cervezas de tipo *Lager*, la fermentación es llevada a cabo por levaduras del género *Saccharomyces carlsbergensis* (o *pastorianus*), a temperaturas entre 7-12°C y al final de esta etapa las células de levadura tienden a depositarse en el fondo del fermentador, de ahí la expresión “de baja fermentación”. Este tipo de cerveza presenta un alto nivel de amargor, y bajo en dulzura y sabor afrutado (González, 2017; Meilgard, 1982; NOM-199-SCFI-2017).

Dentro de cada uno de estos tipos existen estilos diferentes, la palabra ‘estilo’ se refiere a la manera o técnica mediante la cual se hace algo, dando como resultado una calidad distintiva, forma o tipo de algo. En cervezas, el estilo se refiere al arte de combinar cientos de factores como, ingredientes, método de producción, origen, etc., que pueden influir en el carácter general de la cerveza y por lo tanto a su categorización (González, 2017).

2.1.2 Malteo del grano

La malta, es producto del proceso de malteado, que generalmente implica la germinación controlada del grano, posterior proceso de cocción y/o tostado de un cereal; además de ser la encargada de proporcionar una fuente de carbohidratos y enzimas necesarias a la producción de cerveza, es la responsable de aportar el color principal de esta; también se ha demostrado que utilizando diferentes tipos de malta y haciendo variaciones en el proceso de malteado son obtenidos aromas y sabores positivos debido a la calidad y cantidad de compuestos volátiles que se forman durante este proceso, debido a esto, los compuestos de sabor en la malta juegan un papel importante en la composición aromática de la cerveza. (Dong *et al.*, 2013; Parker, 2012).

A continuación, se presenta un diagrama que contiene las etapas necesarias en la obtención de malta, seguido de una breve explicación de cada paso (Figura 1).

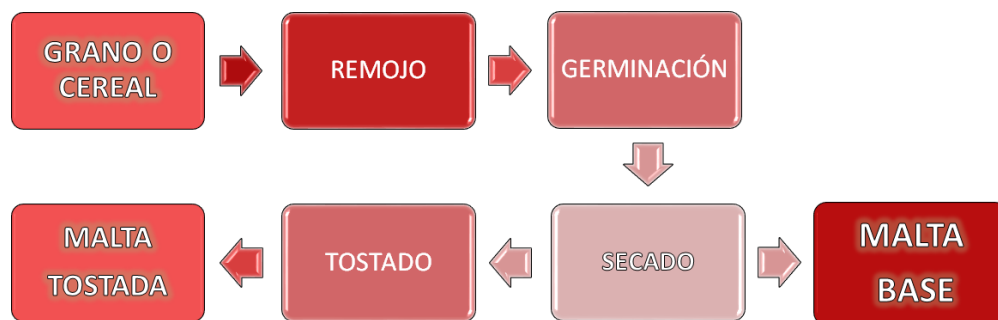


Figura 1. Etapas del proceso del malteo del grano.

El cereal mayormente utilizado en la elaboración de malta es la cebada (*Hordeum vulgare*), que comprende 90% de la producción de cerveza a nivel mundial. Al igual que en otros cereales, este cuenta con azúcares que se encuentran en forma de almidón, que no es fermentable, por lo que en la etapa de fermentación la levadura no puede utilizarlo como fuente de alimento, por esta razón, la cebada debe ser transformada en malta. El objetivo principal del malteo es generar un sistema enzimático capaz de romper y/o modificar las paredes celulares de proteína-glucano que rodean al almidón, así como algunas proteínas insolubles que restringen el acceso de las enzimas a los gránulos de almidón. Las enzimas presentes de forma natural en el grano degradan este material para liberar el almidón y se desarrollan enzimas que degradarán el almidón a azúcares que la levadura puede fermentar (Hughes y Baxter, 2001; Parker, 2012).

2.1.2.1 Remojo

En esta etapa, el grano es sumergido en agua a una temperatura entre 12-18°C con la finalidad de que el contenido de humedad del grano aumente considerablemente de 12 a 45% aproximadamente, para iniciar la germinación, lo cual se logra en uno o dos días; se requiere aireación que permite la activación de la maquinaria metabólica del grano para producir giberelinas, hormonas vegetales que se difunden en el endospermo y estimulan la actividad y formación de enzimas (Hughes y Baxter, 2001). Además, la falta de oxígeno puede provocar la acumulación de CO₂ seguido de fermentación y por lo tanto un envenenamiento del germen (Kreisz, 2007).

2.1.2.2 Germinación

En la germinación, el grano ya remojado se deja a un cierto control de humedad (42-28%) y temperatura (12°C y 20°C), que permiten el crecimiento de las raicillas y plúmula del grano, el proceso se restringe a una duración de 4 a 5 días obteniendo así la malta 'verde' (Figura 2). En este punto del proceso, las paredes celulares del grano, compuestas principalmente de β -glucanos, son degradadas por la acción de enzimas hidrolíticas como la β -glucanasa; además, 35-40% del total de las proteínas de la matriz son atacadas por enzimas proteolíticas y divididas en compuestos solubles, como aminoácidos, que pueden ser utilizados por la levadura como nutrientes, formados por acción de proteinasas y peptidasas, y fosfatasas, enzimas ácidas que son necesarias para el control del pH; finalmente, el almidón que consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa, un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes y la amilopectina, un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6) (Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa), se descompone por acción de enzimas amilolíticas, las cuales son α -amilasas, que actúan a temperaturas óptimas entre 65°C y 75°C y un pH entre 5.6 y 5.8, rompiendo las cadenas largas de amilopectina para la obtención de amilosas y dextrinas (azúcares no digeribles por la levadura, responsables de otorgar cuerpo a la cerveza durante la maceración); mientras que las β -amilasas, que actúa a temperaturas óptimas entre 60°C y 65°C y un pH entre 5.2 y 5.4, hidrolizan la amilosa en azúcares fermentables sencillos como la

maltosa. En esta etapa se da la formación de compuestos azufrados que tienen impacto en el sabor del producto final (Fix,1999; Hernández, 2008; Hughes y Baxter, 2001, Kreis, 2007).

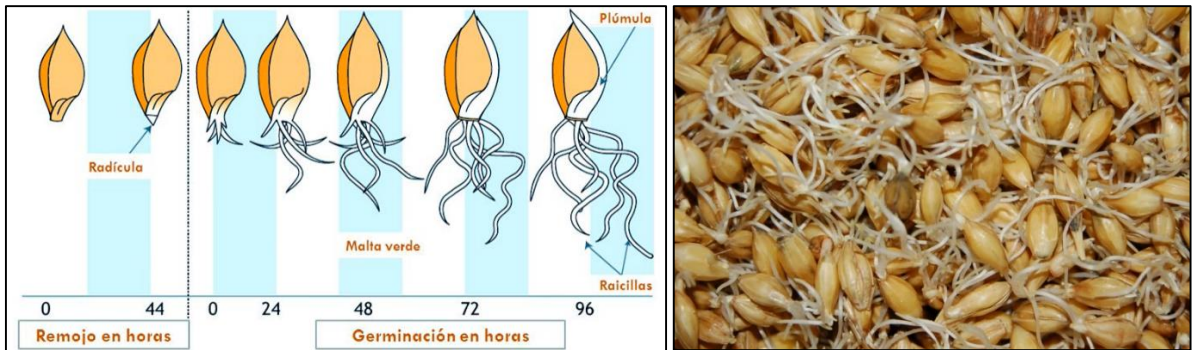


Figura 2. a) Desarrollo de la germinación en cebada. b) Malta verde.
(Tomado de <http://imaginalia.com/wrp/?p=8750>).

2.1.2.3 Secado y tostado

El secado y tostado son etapas del proceso de malteado que permiten la producción de diferentes tipos de maltas, en función del tiempo necesario para secar la malta y la temperatura final alcanzada. El secado al horno es el secado controlado del grano con el fin de preservar las enzimas y almidón para el proceso de elaboración de la cerveza. A medida que aumenta la temperatura de secado al horno (tostado), más sabor y color son desarrollados en la malta y por lo tanto en la cerveza que se elabore a partir de estas (Figura 3), esto se debe a que se producen reacciones de pardeamiento no enzimático, tales como las reacciones de Maillard, caramelización y pirólisis (Parker, 2012).



Figura 3. Diversos colores obtenidos en cerveza de acuerdo con la malta utilizada.
(Tomado de <https://cervecerosdemexico.com/2018/12/04/que-es-una-malta-base/> y <https://micervezacasera.wordpress.com/2012/03/11/el-color-de-la-cerveza/>)

El proceso de germinación se detiene secando la malta verde húmeda en un horno (Figura 4) hasta llegar a una humedad de 3 a 5% para evitar la actividad enzimática adicional, la deshidratación prolongada a bajas temperaturas (alrededor de 50°C), produce maltas blancas con un alto contenido enzimático para descomponer el almidón (maltas base); por el contrario, una deshidratación rápida a temperaturas altas produce maltas oscuras con actividad enzimática baja o nula (maltas tostadas). Este punto del proceso, donde el control de temperatura, tiempo y humedad son críticos, es muy importante para la producción de sabor, aromas y color. Una vez seco o tostado el grano, las raicillas son eliminadas mecánicamente (Hough, 1990; Hughes y Baxter, 2001; Parker, 2012)



*Figura 4. Horno utilizado en el secado y tostado de la malta.
(Tomada de <http://quieroserunhomebrewer.blogspot.com/2012/01/malteado-de-la-cebada.html>).*

2.1.2.3.1 Maltas Tostadas

Las maltas tostadas, cuentan con una muy baja o nula actividad enzimática por lo que no son una fuente potencial para extraer azúcares reductores, como lo es la malta base. Su principal característica es que aportan a la cerveza colores, sabores y aromas que la malta base no. Se adiciona usualmente entre un 5 y 10% del peso total de malta a utilizar para producir cerveza. El color, aroma y la espuma son las contribuciones que se notan en cervezas con maltas especiales, factores que contribuyen al sabor y la sensación en boca (Gruber, 2001).

La malta tostada se produce por la adición de una etapa de tostado de la malta base o Pilsen, en cambio, en una malta caramelo se modifica la etapa final de secado del grano germinado, pasándolo directamente de la germinación (malta verde) al tostado sin un secado previo del grano. Las tostadoras alcanzan temperaturas más altas que el horno de secado de la malta base,

con ello se produce un caramelizado del almidón y luego un oscurecimiento por tostación, en la Figura 5 se muestran las etapas del proceso que sigue la elaboración de maltas:

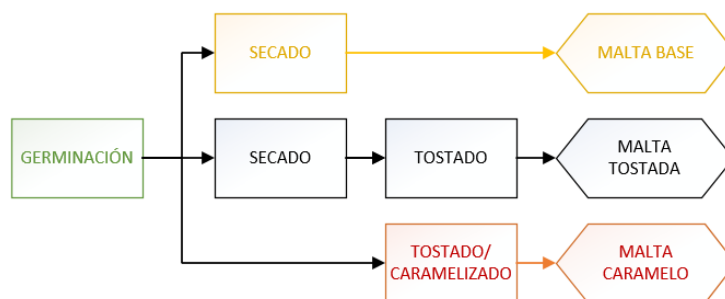


Figura 5. Elaboración general de maltas base, tostadas y especiales.

Las reacciones químicas promovidas por el calor aplicado durante el proceso de tostado, son complejas e incluyen la degradación de los ácidos fenólicos, caramelización de los azúcares y reacciones de Maillard (incluyendo la degradación de aminoácidos de Strecker) y la degradación térmica de los ácidos grasos oxigenados derivados de los lípidos química y enzimáticamente. Así pues, se forma un grupo de compuestos volátiles, como ácidos grasos, aldehídos, alcoholes, furanos, cetonas, fenoles, pirazinas y tiocompuestos. La presencia de estos compuestos en la malta significa que pueden hallarse en el mosto dulce, sin embargo, muchos se pierden durante el proceso de acción de la levadura (Yahya *et al.*, 2014).

2.1.2.3.2 Reacciones de Maillard y productos de sabor

Las reacciones de Maillard son muy complejas, pueden ocurrir desde condiciones muy suaves de temperatura (por encima de 50°C) produciéndose en malta desde el secado, comenzando con la condensación de un azúcar reductor, como puede ser maltosa o glucosa, con un aminoácido o grupos amino terminales de las proteínas para formar intermediarios, que pueden polimerizar para dar color con la producción de melanoidinas o reaccionar de manera diferente para dar compuestos de sabor, lo cual es mencionado más adelante. El espectro de productos de Maillard se altera dependiendo del nivel de modificación de la malta, así como la proporción de nitrógeno, hidratos de carbono y azufre. Los productos finales de las reacciones de Maillard son importantes ya que son determinantes en el color, sabor y aroma de la cerveza (Parker, 2012).

Algunos de los productos formados durante el tostado de maltas, son los furanos, que aportan notas como dulce, nuez, pan y los piranos con notas de malta, tostado y corteza de pan. Durante el curso de las reacciones de Maillard el oxígeno del anillo furano puede ser sustituido por azufre

o nitrógeno, lo cual da lugar a la formación de los correspondientes tiofenos y pirroles, con notas de dulce y nuez. Otros heterociclos formados durante el proceso de tostado de la malta son los tiazoles, tiazolinas, piridinas, pirrolizinas y pirazinas; algunos de estos últimos como las dimetilpirazinas. Estos compuestos se han descrito como maltosos, oxidados y dulces. Las reacciones de Maillard también contribuyen a la formación de sabor durante las etapas de maceración y cocción del mosto en el proceso de elaboración de la cerveza (Parker, 2012; Yahya *et al.*, 2014).

La caramelización del grano ocurre durante la producción de maltas tostadas donde el grano es sometido a temperaturas superiores a 129°C. El endospermo de la malta cuenta con una alta concentración de azúcares, y como el grano se calienta, la caramelización conduce a la formación de furanos, furanonas y piranonas (maltol e isomaltol), que derivan en notas a dulce, afrutado y caramelo. Cuando las temperaturas se elevan por encima de 250°C, debido a la quema de las moléculas de azúcar, los compuestos de pirólisis resultan en notas como ceniza, quemado y astringente; también con un fuerte tratamiento térmico pueden producirse fenoles, que tienen sabores ásperos, humo y medicinales (Parker, 2012).

Los productos de las reacciones de Maillard responsables de la percepción del color son cromóforos de bajo peso molecular (< 1 kDa) y melanoidinas de alto peso molecular (>100kDa), se producen en tiempos muy cortos (7 min) entre 157 y 166 °C en el tostado (Coghe *et al.*, 2006).

El esquema de cinética de reacción de formación de compuestos aromáticos (Figura 6) se resume en la condensación (R2) de un azúcar con un aminoácido para formar un producto de reordenamiento de Amadori (PRA) o un producto de reordenamiento de Heys (PRH) (H). Alternativamente el azúcar puede degradarse directamente (R1) (mediante una reacción de caramelización a alta temperatura) (Jousse *et al.*, 2002).

El PRA o PRH puede ciclar (R3) formando compuestos heterocíclicos con nitrógeno (pirroles o piridinas). Alternativamente, puede escindirse (R4) para dar azúcares reordenados que contienen la cadena intacta del azúcar de partida. Estos, incorporan las 1-desoxi-2,3-dicetonas, y las 3-desoxi-1,2-dicetonas, así como un reordenamiento adicional a partir de éstas por medio de tautomerización cetoenol. Esta ruptura devuelve el aminoácido original (Jousse *et al.*, 2002).

Estos azúcares pueden ciclarse (R_5) en compuestos heterocíclicos con oxígeno (furanos o fufurales) o romperse (R_6) en fragmentos a-dicarbonilo que pueden recombinarse (R_7) para dar furanos (Jousse *et al.*,2002).

Los fragmentos de dicarbonilo reaccionan (R_8) con el grupo amino del aminoácido en el mecanismo de degradación de Strecker, dando un intermediario, común a aldehído de Strecker y pirazinas. Los aldehídos de Strecker pueden generar sales nitrogenadas de compuestos heterocíclicos como pirrolina y pirrolidina procedentes de la reacción de dicarbonilos con prolina e hidroxiprolina. Además, se consideran otras reacciones adicionales (R_{11}) de los compuestos de sabor, para dar productos marrones poliméricos. Las velocidades de reacción se indican para los pasos de reacción unimoleculares R_1 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 , R_9 y R_{11} (expresadas “por segundo”) y para las reacciones bimoleculares R_2 , R_7 , R_8 y R_{10} (como “por segundo por molaridad”). La evolución temporal de este sistema está completamente determinada por el valor de las velocidades y por la concentración inicial en el azúcar y el aminoácido (Jousse *et al.*, 2002).

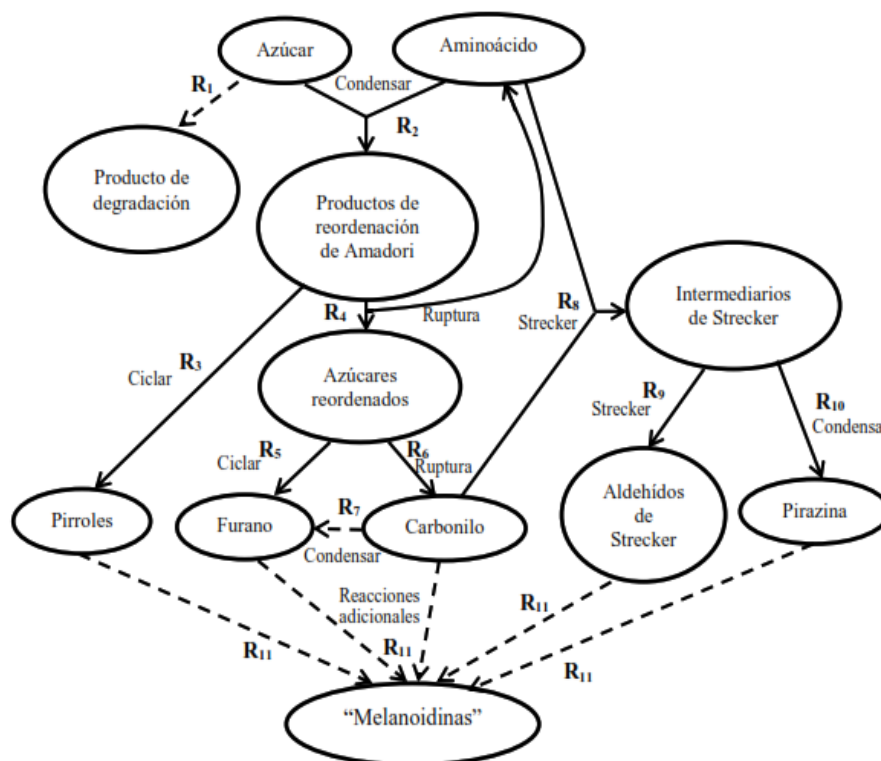


Figura 6. Esquema simplificado de la cinética de generación de sabor por reacciones de Maillard (Jousse *et al.*, 2002).

Algunos de los compuestos formados durante el malteo del grano, su origen y descriptores de sabor se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales grupos de aromas de la cerveza provenientes del malteado (Parker, 2012).

GRUPO FUNCIONAL	COMPUESTO	DESCRIPTORES SENSORIALES
Furanos	Furfural	Leña, almendras, pan dulce al horno.
	Alcohol furfurílico	Azúcar, cocido.
	5-Metilfurfural	Picante, dulce de leche, dulce de almendra amarga.
	2-Acetilfurano	Dulce, cacao, café.
	Hidroxi-dimetil-furanona	Fresa, dulce, frutal.
	Isomaltol	Pan fresco, malta
Piranos	Hidroximetilfurfural	Grasa, cera, aceite vegetal, humedad.
	Maltol	Malta, corteza de pan.
	5-Hidroxi-5,6-dihidromaltol	Malta, tostado.
Pirrol	2-Acetil-pirrol	Pan, nueces.
Tiazol	4-Metil-tiazol	Nuez.
Piridina	2/3-Acetilpiridina	Dulce, nuez, palomitas de maíz.
Pirazina	2- Metil-pirazina	Nuez, cacao, chocolate, tostado.
	2,3/5,6-Dimetilpirazina	Nuez, café, caramelo, cacao, nueces tostadas, mantequilla de mani.
	2-etil-3,5(6)Dimetilpirazina	Café, frutos secos tostados, chocolate, almendra quemada.
	3-Metiltiopropionaldehido	Puré de papa.

2.1.3 Proceso de elaboración de cerveza

Cada etapa del proceso de elaboración de cerveza es determinante en las características del producto final, aunque algunas tienen mayor importancia. A continuación, se presenta un diagrama que muestra de forma sencilla el proceso de elaboración de cerveza, así como las materias primas principales, seguido de una breve explicación (Figura 7).

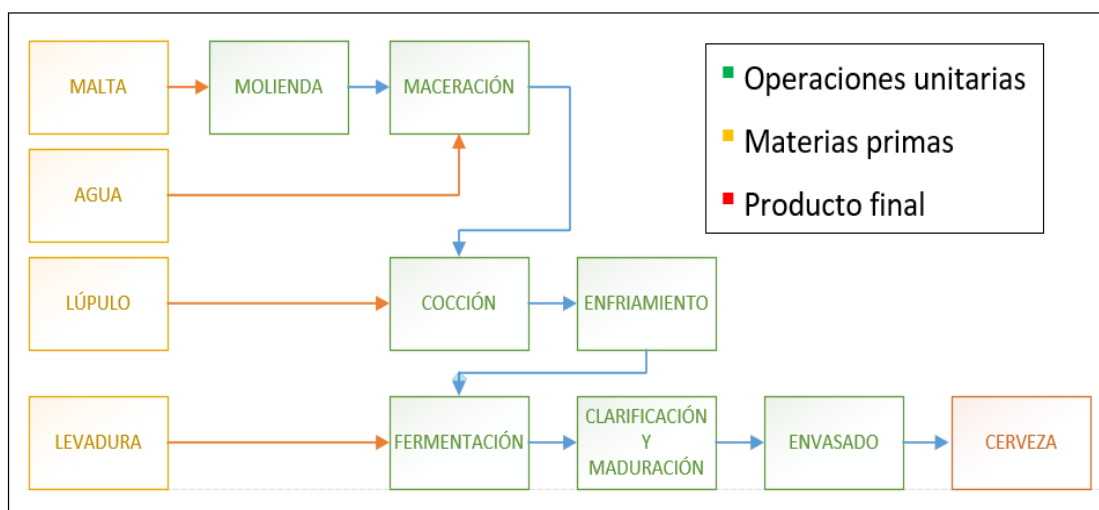


Figura 7. Proceso de elaboración de cerveza. (Adaptado de Hough, 1990).

2.1.3.1 Molienda

El principal objetivo de esta etapa es la trituración de la malta en un molino para facilitar la extracción y dilución de sus componentes (Figura 8), se busca que el endospermo consiga un tamaño de partícula que permita la liberación del extracto de una manera sencilla, partículas de tamaño muy reducido tienden a empaquetarse y formar un lecho impermeable que libera muy lenta e incompletamente el mosto. Por otra parte, es necesario que la cascarilla permanezca lo más entera posible con el fin de evitar la liberación de sustancias tánicas que no son deseables. El tipo y la extensión de la molienda de grano afectará el carácter de la cerveza (Hough, 1990; Priest y Stewart, 2006).

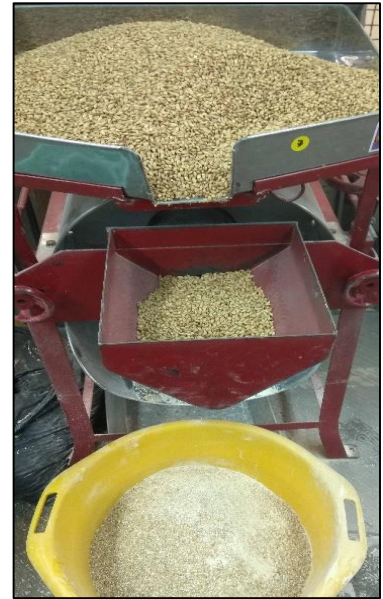


Figura 8. Molino utilizado en la molienda de la malta.

La malta puede ser complementada con otros cereales, malteados o no, como cebada, avena, maíz, arroz, centeno, sorgo y trigo; se agregan con la finalidad de producir una cerveza más estable, producir un sabor diferente, una mejor espuma de cerveza debido a los niveles bajos de grasa (lípidos) y diferentes proteínas, facilitar el procesamiento en la cocción y, además, para producir cerveza a un costo menor (Priest y Stewart, 2006).

2.1.3.2 Maceración

Durante la maceración se obtiene una solución formada por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros componentes disueltos en el agua, esta solución es conocida como mosto, resultado de la acción de enzimas que actúan sobre los sustratos de la malta y adjuntos, degradando proteínas y el almidón en azúcares fermentables (Romero, 2013).

La malta triturada es mezclada con agua caliente (Figura 9), ya que las maltas tienen más proteínas y glucanos, es habitual emplear temperaturas de alrededor de 45°C, para romper estos materiales enzimáticamente antes de que la temperatura se aumente gradualmente. El macerado se mantiene a temperaturas alrededor de 65°C, temperatura en que el almidón se gelatinizará, haciéndolo más susceptible al ataque enzimático (Hughes y Baxter, 2001).

Normalmente se tarda aproximadamente una hora para convertir todo el almidón en azúcar. Es durante la etapa de maceración que los compuestos de sabor y color presentes en la malta se extraen y permanecen en el mosto (Parker, 2012).



Figura 9. Maceración a nivel artesanal.

(Tomado de <https://www.thebeertimes.com/maceraacion-descubre-todos-sus-secretos/>).

2.1.3.3 Cocción y lupulado

En esta etapa el mosto alcanza una ebullición constante por un periodo de entre 60 a 120 minutos, esto satisface la destrucción o inactivación de las enzimas presentes, la esterilización del mosto para eliminar bacterias, levaduras y mohos que podrían competir con la levadura de cerveza y causar sabores desagradables, la coagulación del exceso de proteínas y taninos para formar partículas sólidas que se puede eliminar más tarde, lo cual permite la estabilidad de la cerveza y espuma, también se da una concentración de azúcares por evaporación de agua, la formación de colores debido a la caramelización de los azúcares y reacciones de Maillard, la formación de compuestos que confieren sabor y aromas en el mosto, la eliminación de compuestos volátiles indeseables tales como mircenol del lúpulo y diferentes carbonilos y sustancias azufradas, especialmente dimetilsulfuro (DMS). Las sustancias aromáticas del metabolismo de los lípidos también se reducen por evaporación durante la ebullición del mosto (Krottenthaler *et al.*, 2007); y ya que en este punto se agrega el lúpulo, se consigue también la extracción de las resinas y aceites esenciales, compuestos clave para el amargor y el aroma, respectivamente (Gómez, 2016; Parker, 2012; Priest y Stewart, 2006).

El lúpulo es una planta perteneciente a la especie *Humulus lupulus*, de la familia *Cannabaceae*, que tiene flores masculinas y femeninas separadas. Los conos maduros y secos de las flores

femeninas son los utilizados en la industria cervecera, además, puede ser agragado en forma de pellets (Figura 10). Este ingrediente otorga el amargor típico de la cerveza y componentes antioxidantes, mejora la formación y estabilidad de la espuma, aporta propiedades antibacterianas y proporciona protección contra el deterioro por ciertos microorganismos. Además, su contribución en la cerveza tiene un gran impacto en las propiedades sensoriales (Hough, 1990; Parker, 2012; NOM-199-SCFI-2017).

Durante esta parte del proceso se suelen añadir otros ingredientes con la intención de aportar características al sabor de la cerveza (Gómez, 2016).



Figura 10. a) Flor de lúpulo, b) Lúpulo en pellets.

(Tomado de https://es.123rf.com/photo_32930388_la-cebada-y-el-l%C3%BApulo-en-un-fondo-de-madera-concepto-de-la-cerveza.html y <https://crovankeqs.com/lupulo/>).

2.1.3.4 Enfriamiento

El mosto debe enfriarse desde casi el punto de ebullición hasta la temperatura de fermentación a través de un intercambiador de calor que usa agua como medio principal de enfriamiento (Priest y Stewart, 2006).

2.1.3.5 Fermentación

La fermentación inicia al añadir la levadura previamente activa al mosto, esta, se encarga de convertir los azúcares fermentables en etanol y CO₂, en esta etapa del proceso se obtienen subproductos de fermentación, que tienen un efecto considerable en el aroma y sabor del producto final. El sabor final de una cerveza depende en gran medida de la cepa de levadura utilizada (Flores, 2018).



Figura 11. Fermentación a nivel a) artesanal e b) industrial.

(Tomada de <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-555613799-6-airlocks-tipo-s-para-fermentadores-cerveza-JM?quantity=1> y <https://www.kenshosake.com/la-fermentacion-de-la-cerveza-en-4-fases/>).

2.1.3.6 Envasado y maduración

En la maduración se produce la gasificación que se consigue con la adición de glucosa al recipiente final (envases, Figura 12), produciendo una segunda fermentación y reteniendo el dióxido de carbono producido, esto en cervezas artesanales. Una vez conseguida la segunda fermentación, con un almacenamiento a bajas temperaturas las partículas más densas se condensarán, permitiendo que la levadura y otros materiales que causan turbidez se depositen en el fondo del recipiente.



Figura 12. Envasado a nivel artesanal.

(Tomado de <https://reyvarsur.com/como-ensavar-la-cerveza-en-botella-o-barril/>)

2.2 El maíz

El maíz (*Zea mays L.*), ha sido considerado uno de los granos alimenticios más importantes dentro del sector económico siendo el más producido a nivel mundial durante todo el Siglo XX y el comienzo del XXI. En países industrializados, es utilizado como forraje principalmente, pero también como materia prima para la producción de alimentos y recientemente para la producción de etanol. Por otro lado, en algunos países de América Latina y cada vez más en África, gran porcentaje de la producción o importación es utilizado para consumo humano. En este sentido, el maíz es un factor clave para la supervivencia de los agricultores y pueblos indígenas de la mayoría de los países del continente americano. Adicionalmente, el cultivo y transformación del maíz es fuente de empleo y alimento para un número importante de personas en el mundo (Serratos, 2009).

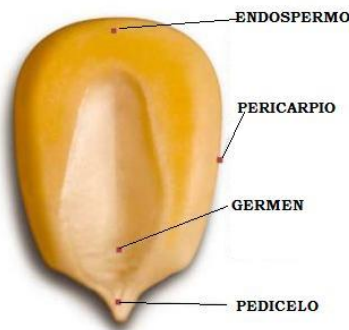


Figura 13. Estructuras del grano de maíz.

En México, el maíz es considerado parte del patrimonio biológico y cultural. *Zea mays*, significa “grano que proporciona vida”. Es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal y se clasifica en más de 60 razas, resultado de procesos de selección y mejoramiento de las comunidades campesinas. El grano está formado por diversas estructuras, como son el pericarpio, el endospermo, el germen y la cofia o pedicelo (Figura 13). Estas estructuras almacenan fibra, carbohidratos como el almidón (corresponde al 72-73% del peso del grano) así como azúcares sencillos: glucosa, sacarosa y fructosa (en cantidades que varían del 1-3% del peso del grano), proteínas que se encuentra en su mayor parte en el endospermo (8-11% del peso del grano) y aceites y ácidos grasos, fundamentalmente en el germen (3-8% del peso del grano), que han servido de alimento para la población desde hace miles de años (Benitez y Pfeiffer, 2006; Ramírez, 2018).

La producción mundial de maíz se estimó en septiembre del 2019 en 1,124 millones de toneladas, un 0.7% o 14.6 superior a la producción de 2018 (FAO, 2019).

De acuerdo con el reporte de mercado del maíz, presentado en agosto del 2019 por el Centro de Información de Mercados Agroalimentarios (CIMA), la producción global de maíz se encuentra

encabezada por Estados Unidos con 352.441 millones de toneladas estimadas, seguido de China (254), Brasil (101), la Unión Europea (64.2), Argentina (50) y Ucrania (34) (CIMA, 2019).

En México, el maíz es el cultivo agrícola más importante, desde el punto de vista alimentario, como industrial, político y social; cuenta con una producción promedio anual de 27 millones de toneladas, en una superficie de 7.5 millones de hectáreas. México, además, es el séptimo productor de maíz en el mundo y es un importante consumidor de este (CIMA, 2019).

2.2.1 Maíces pigmentados

En la actualidad, se cultivan maíces pigmentados de diferentes formas y tonalidades de grano como son los azules, negros, guindas, púrpura y rojos (ejemplos de algunos de estos se presentan en la Figura 14), adquieren esta pigmentación ya que poseen antocianinas, sustancias que cuentan con propiedades funcionales y antioxidantes, es decir, que previenen la aparición o desarrollo de enfermedades; así mismo, contienen fenoles, flavonoides, ácido ferúlico, luteína, zeaxantina, criptoxantina, beta y carotenos, entre otros; que protegen a las células contra el estrés oxidativo y cuentan con propiedades anti-inflamatorias, antialérgicas, antitumorales y antimicrobianas. También, protegen los vasos sanguíneos del daño ocasionado por los altos niveles de azúcar en pacientes diabéticos gracias a su efecto vaso relajante. Sin embargo, estos maíces tienen un uso limitado y baja demanda como materia prima (Ramírez, 2018).



Figura 14. Ejemplos de maíces pigmentados a) maíz rojo y b) maíz azul.
(Tomado de <https://gourmetdemexico.com.mx/comida-y-cultura/cata-de-maices-oaxaquenos>)

Las antocianinas del grano de maíz se concentran en el pericarpio, capa de aleurona, o en ambas estructuras. De acuerdo a esta localización se pueden determinar los diferentes usos del grano. Cuando se presenta una cantidad elevada de antocianinas en el pericarpio y en la capa de aleurona, los maíces tienen potencial para la extracción de pigmentos; esta condición la cumplen

los maíces de color guinda o rojo intenso. Si el pigmento se localiza en la capa de aleurona son adecuados para elaborar productos nixtamalizados. Los maíces con estas características son de color morado, azul o negro (Salinas *et al*, 2010).

Las antocianinas simples reportadas para maíz son: cianidina 3-glucósido, pelargonidina 3-glucósido y peonidina 3-glucósido. La primera es común en los maíces de grano azul y morado, y las dos restantes en maíces de grano rojo (Salinas *et al*, 2010).

2.3 Propiedades aromáticas de la cerveza y su caracterización

2.3.1 Compuestos aromáticos en cerveza

La composición química de una cerveza es la principal responsable de su sabor, cualidad de gran importancia. Igualmente, el aroma es una parte muy importante del sabor, por esto existe un gran interés sobre el contenido de compuestos volátiles orgánicos presentes en la cerveza, con el fin de mejorar su calidad (Zambrano *et al*, 2017).

Estos compuestos volátiles son derivados principalmente del tipo de ingredientes utilizados como la cebada y el lúpulo, de si la malta ha sido tostada o no, de subproductos provenientes de la levadura, de microorganismos contaminantes o a partir de los efectos del oxígeno y la luz solar durante el almacenamiento del producto (Kobayashi, 2008).

Se han identificado gran cantidad de compuestos volátiles capaces de influir en el aroma y sabor en un agrado muy diferente en la cerveza, por tal motivo, estos componentes que pertenecen a familias muy heterogéneas tales como alcoholes, como lo es el etanol (alcohol de mayor importancia, responsable de la sensación pseudotérmica) y alcoholes superiores (precursores de ésteres), ésteres (responsables del aroma frutal, formados durante la fermentación), dicetonas vecinales (consideradas productos indeseables, con sabores y olores poco agradables), compuestos azufrados (a niveles superiores al umbral su sabor es desagradable), compuestos que provienen del lúpulo (que confieren a la cerveza aromas frutales, florales, herbales y cítricos), así como, aldehídos, cetonas, terpenos, aminas, entre otros, que contribuyen de gran manera a la calidad del producto final, de modo que constituyen el factor crucial en el consumo y aceptación de la misma (Romero, 2013; Zambrano *et al*, 2017), en la Tabla 2, se presentan algunos de los grupos de compuestos de mayor importancia que influyen en el aroma y sabor de la cerveza.

Tabla 2. Principales grupos de aromas de la cerveza provenientes y su origen (Parker, 2012).

	COMPUESTOS	DESCRIPTOR DE SABOR
Alcoholes	Etanol	Vodka, toalla antiséptica
	n-Propanol	Alcohol, dulce
	Isobutanol	Vino
	Alcohol-isoamílico	Whisky, aceite de fusel
	feniletanol	Rosas
Ésteres	Acetato de etilo	Disolvente, frutal
	Acetato de butilo	Frutal, plátano
	Acetato de iso-amilo	Frutal, plátano, dulce, pera
	Acetato de iso-butilo	Frutal, plátano, dulce, manzana
	Valerato de etilo	Papaya
	Propionato de iso-amilo	Piña, anís
	Hexanoato de etilo	Frutal, plátano, vino, manzana, brandy, piña
	Acetato de feniletilo	Rosas, miel
	Caprato de metilo	Coco
	Octil-caproato	Piel de naranja
Aceites esenciales provenientes del lúpulo	Caprato de isoamilo	Frutos tropicales
	Nicotinato de etilo	Medicina
	Mirceno	Dulce, bálsamo, plástico
	Humeleno	Isómero de cariofileno
	Cariofileno	Picante, pimienta negra
	Farneseno	Clavo de olor picante
	β -pineno	Madera, picante, pino
	Selineno	Apio
	Geraniol	Dulce, floral, dulce, afrutado
	Linalol	Floral, cítrico, limón, naranja
	Nerolidol	Rosa, manzana verde, cítrico
	Citral	Limón
	Limoneno	Dulce, naranja, limón, cítrico
Resinas provenientes del lúpulo (% en la cerveza)	Nerol	Rosa, dulce
	Trans-Isocohumulona (7%)	Gusto amargo, sabores rancios y a cartón
	Cis-Isocohumulona (30%)	
	Trans-Isohumulona (10%)	
	Cis-Isohumulona (40%)	
	Trans-Adhumulona (3%)	
Ciss-Adhumulona (10%)		
Compuestos azufrados	3-metil-buteno-1-tiol	Picante
	Sulfuro de hidrógeno	Huevo
	Dióxido de Azufre	Cerilla, pelo quemado
	Disulfuro de dimetilo	Verduras cocidas, col
	Etil mercaptano	Cebolla, ajo
	Sulfuro de dietilo	Ajo
	Metional	Puré de papa
	Metanotiol	Descomposición vegetal
	Etanotiol	Cebolla, ajo
Diverso	Acetaldehído	Manzana verde, pintura
	Ácido acético	Vinagre, ácido
	Diacetilo	Mantequilla, caramelo

Compuestos provenientes de la malta se presentan en Tabla 1.

2.3.2 Compuestos volátiles

Como se ha ido mencionando, los compuestos volátiles, responsables de definir el olor y sabor de un alimento, son moléculas con alta presión de vapor, es decir, sus temperaturas de ebullición son relativamente bajas (200°C-250°C) y tienen pesos moleculares inferiores a los 250-300Da, lo que permite su eficiente evaporación en el aire; cuentan con diversos grupos funcionales, son de polaridad media, parcialmente o muy solubles en agua, muchos poseen olor y umbrales de percepción odorífera muy bajos, compuestos presentes en concentraciones del orden de ng/L pueden tener un impacto notable en el aroma, mientras que otros con concentraciones de varios cientos de mg/L pueden prácticamente no influir en las características sensoriales de la muestra (Medina K. *et al.*, 2019; Stashenko y Martínez, 2011).

2.3.3 Análisis de Compuestos Volátiles: Extracción y Concentración

Para el análisis de compuestos volátiles es deseable el empleo de un método simple, sensible y rápido, que permite la extracción y concentración de compuestos volátiles con amplios rangos de puntos de ebullición y polaridad, sin empleo de solventes, el método de micro-extracción en fase sólida del espacio de cabeza (HS-SPME) cumple con estos requisitos de forma exitosa y es ampliamente utilizado en diversas industrias, así como en investigación. En este método el tipo de material de la fibra, temperatura de extracción, saturación salina, tiempo de equilibrio de la muestra, tiempo de exposición de la fibra y el tiempo de desorción en el cromatógrafo son factores determinantes tanto en el tipo como en la concentración de los componentes extraídos (Estarrón *et al.*, 2017).

Técnicas como la extracción con disolvente utilizando cloruro de metileno y la concentración por destilación con vapor se han establecido para la extracción y concentración de los compuestos volátiles de la cerveza, sin embargo, cuentan con desventajas como el uso de solventes perjudiciales al medio ambiente, uso de equipo costoso, manipulación de la muestra, así como la concentración de analitos de interés hasta llegar a niveles detectables (Romero, 2013).

En maltas y cervezas, la técnica de micro-extracción en fase sólida del espacio de cabeza ha sido ampliamente utilizada permitiendo la extracción y concentración de compuestos volátiles

satisfactoriamente (Bettenhausen *et al.*, 2018; Dong *et al.*, 2013; Lafontaineand y Shellhammer, 2018; Zapata *et al.* 2019).

2.3.4 Análisis de Compuestos Volátiles: Cromatografía de Gases

La cromatografía es una técnica utilizada para separar compuestos volátiles que pertenecen a una muestra para posteriormente ser analizados: Identificación (cantidad mínima del analito que genera una señal espectroscópica) y Cuantificación (concentración exacta de un analito). La base de la cromatografía es la migración de un analito que es arrastrado por una fase móvil (gas acarreador) a través de una columna con una fase estacionaria (un polímero térmicamente estable y de alto peso molecular) que interactúa selectivamente con el analito para separar sus compuestos (Stashenko y Martínez, 2011).

La interacción entre estas fases se lleva a cabo en una columna que puede ser empacada o capilar. Una columna capilar tiene un diámetro interno menor a los 0,53 mm y la fase estacionaria recubre la superficie interna de la columna, tienen una longitud de 5 a 100m.

Todas las moléculas relativas a un compuesto específico recorren la columna a una misma velocidad, distinta de la velocidad de las moléculas de los otros compuestos. Esta velocidad depende de las estructuras del compuesto y de la fase estacionaria, de las condiciones de operación y de la dimensión de la columna. Se conoce como tiempo de retención al tiempo que demora un compuesto en recorrer la columna (Agilent, 2007).

Una vez separados los compuestos, salen de la columna y son captadas por un detector emitiendo una señal proporcional a la cantidad de moléculas que eluyeron, esta señal es representada en un cromatograma. Existen diferentes tipos de detectores que son elegidos de acuerdo con el tipo de compuesto que se va a analizar, el detector de ionización de flama (FID), es comúnmente utilizado en Cromatografía de gases, ya que es adecuado para el análisis de compuestos hidrocarburos, así como compuestos orgánicos volátiles (Romero, 2013).

2.3.5 Evaluación Sensorial

El análisis sensorial es una disciplina científica que usa un conjunto de técnicas que miden, analizan e interpretan las reacciones humanas (los sentidos) ante las propiedades sensoriales como olor, sabor, apariencia, textura, etc. de un producto en particular, sea un alimento, productos de aseo personal, ropa, cosméticos, productos farmacéuticos, entre otros, para

determinar la calidad y elevar la aceptación de alimentos (Bredie y Moller, 2012; Stone y Sidel, 2004). En una evaluación sensorial de alimentos se encuentran involucradas diferentes tipos de pruebas, destinadas a obtener información a diferentes niveles respecto a la percepción de un alimento. Se divide en dos tipos de pruebas: pruebas hedónicas y pruebas analíticas, estas últimas permiten medir la cantidad y calidad de un estímulo, como son las pruebas descriptivas que permiten cuantificar las características de un producto (García, 2012).

2.3.5.1 Análisis Descriptivo

En la actualidad las características sensoriales de un producto juegan un papel importante al momento de decisión de compra de un consumidor, razón para cuantificar y determinar las características de un producto, obteniendo un perfil sensorial. Los perfiles sensoriales se utilizan con la finalidad de obtener la descripción de un producto, permite investigar cada uno de los atributos sensoriales, así como la magnitud en que difieren entre productos similares, o el impacto que tienen las reformulaciones, cambio de proveedores o empaques sobre cada descriptor (Delarue y Sieffermann, 2004).

En resumen, el análisis descriptivo ayuda a obtener una especificación detallada de las características sensoriales de un producto y a comparar diferencias sensoriales entre uno o más productos. Este tipo de análisis involucra la detección (discriminación) y descripción cualitativa y cuantitativa de aspectos como aroma, apariencia, sabor, textura, sensaciones, etc., los cuales caracterizan y distinguen un producto de otro. Dentro de estos métodos participan panelistas entrenados, responsables de detectar y describir atributos sensoriales percibidos en una muestra, capaces de diferenciar y calificar estos parámetros (Lawless y Heimann, 2010; Meilgard, 2007).

La aplicación del análisis descriptivo en diversas investigaciones acerca de la cerveza se ha venido utilizando como una manera de cuantificar la intensidad de las notas aromáticas presentes en dicho producto, siguiendo la metodología del Análisis Descriptivo Cuantitativo. Los resultados muestran que un grupo de jueces entrenados es capaz tanto de generar un vocabulario preciso como de identificar correctamente más atributos en comparación con consumidores sin un previo entrenamiento; además de demostrar que el rendimiento del panel

obtiene similitud en sus evaluaciones conforme avanza el entrenamiento (Bettenhausen *et al.*, 2018; Elgaar *et al.*, 2019; Lafontaineand y Shellhammer, 2018; Zapata P. *et al.* 2019).

Uno de los métodos descriptivos que permite seleccionar tanto los términos apropiados, los procedimientos y los panelistas que se utilizarán en el análisis de un determinado producto, considerando también al manejo estadístico de los resultados, es el Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA por sus siglas en inglés). Este método principalmente busca considerar todas las características presentes en un alimento usando como instrumento analítico un panel de jueces entrenados, seleccionados de acuerdo con su capacidad de diferenciar propiedades sensoriales entre muestras. Durante el entrenamiento, el panel decide la secuencia de evaluación de cada atributo y al final se realiza una serie de evaluaciones de prueba con la finalidad de que el líder del panel evalúe el desempeño de cada juez (Escalona, 1995; Lawless y Heimann, 2010; Meilgaard, 2007).

Durante su ejecución, los panelistas generan un vocabulario de términos capaz de identificar las características sensoriales posiblemente presentes en el material de estudio, el lenguaje utilizado para la descripción de los atributos es un lenguaje no técnico, es decir es un lenguaje de uso común, de tal forma que a los jueces se les facilita entender el significado de cada atributo, facilitando la evaluación de estos (Escalona, 1995).

Los principales objetivos del entrenamiento son conseguir que todos los jueces le den a un término descriptivo el mismo significado y la utilización de una escala que permita la cuantificación de los atributos sensoriales (descriptivos) considerados. Comúnmente, en este tipo de análisis la escala utilizada es una línea de 15 centímetros, indicando los extremos, donde el extremo izquierdo corresponde a la ausencia de estímulo y el extremo derecho la sensación más fuerte, el juez marca en una línea horizontal el “grado” de intensidad de un estímulo dado (Meilgaard, 2007).

Una vez realizado el entrenamiento, se procede a realizar la evaluación de las muestras, donde el juez deberá indicar la cuantificación de cada atributo en un cuestionario.

2.3.5.2 Análisis estadístico para la evaluación de los datos sensoriales

Algunos procedimientos estadísticos como lo son el análisis multivariado, análisis de varianza, análisis de componentes principales, análisis de factores y análisis de conglomerados han encontrado aplicación en el análisis de datos generados por QDA (Lawless y Heimann, 2010; Bredie y Moller, 2012). A continuación, se mencionan algunos que serán utilizados en esta investigación.

2.3.5.2.1 Análisis de Varianza (ANOVA)

Un análisis de varianza para cada atributo permite determinar diferencias entre los tratamientos y/o entre jueces si es que las hay, y los efectos de interacción tratamiento-juez (Escalona, 1995).

Es necesario contar con suficientes repeticiones poder evaluar estadísticamente las diferencias entre productos o tratamientos, la efectividad de los términos descriptivos, el desempeño de cada juez y los posibles efectos de interacción (Lawless y Heimann, 2001).

2.3.5.2.2 Métodos estadísticos multivariados

Efectuar un análisis de varianza para cada atributo considerado puede resultar muy laborioso ya que se requiere integrar mucha información a fin de tener una visión general de los resultados que aportó la evaluación sensorial. Se puede recurrir al uso de un análisis estadístico multivariado cuando se desea comparar varios tratamientos o productos, estos métodos multivariados hacen que tengan sentido conjuntos grandes, complicados y complejos de datos que constan de una gran cantidad de variables medidas en un número variado de materiales de estudio. Mediante este análisis se obtiene una visualización global y se consigue extraer la información más importante respecto al material evaluado como de las variables consideradas. Los métodos univariados paramétricos, como el análisis de varianza, se basan en datos provenientes de una distribución normal, en cambio en los métodos multivariados generalmente no es fundamental asumir dichas distribuciones (Escalona, 1995).

2.3.5.2.3 Análisis de Componentes Principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica matemática y probablemente el enfoque más aplicado para obtener mapas perceptuales a partir de datos descriptivos, permite analizar interrelaciones de un grupo de variables y los materiales de investigación, en el caso de estudios sensoriales son tratamientos o productos alimenticios por evaluar, para los cuales han sido medidos ciertos atributos (Escalona, 1995; Martens y Martens, 2001).

Este análisis permite reducir un conjunto de variables correlacionadas, en un conjunto menor, llamadas componentes principales (CP), que son una función lineal de las variables originales y se caracterizan por no estar correlacionados entre si (Hernández, 1998). La mayor parte de la variabilidad total debe ser agrupada sucesivamente por cada CP en orden decreciente, es decir, la primera componente principal explique la mayor variabilidad de los datos y cada componente subsiguiente toma en cuenta tanto de la variabilidad restante como sea posible. Este tipo de análisis se realiza sobre la matriz de varianza-covarianza de las variables, sin embargo, en este tipo de matriz tiene como restricción que todas las variables deben de estar medidas en las mismas unidades o por lo menos en unidades comparables (Monteleone, 2012).

En QDA los modelos de ACP se calculan en la matriz de producto por atributo, después de tener el promedio tanto de las réplicas como de los evaluadores.

Las variables más importantes en la diferenciación de los materiales de estudio, su relación, las variables que caracterizan a cada producto y las diferencias o similitudes entre estos, son la información que se obtiene al realizar un ACP (Escalona, 1995).

El 100% de la variabilidad se considera como la suma de las varianzas de todas las variables consideradas, cada variable se puede considerar como una dimensión, al reducirse las variables, puede lograrse que en dos o tres dimensiones (CP's) se exponga un porcentaje de explicabilidad cercano al 100%. Sin embargo, lo ideal es conseguir una reducción a dos dimensiones, ya que así es posible la representación de los resultados gráficamente (Escalona, 1995; Naes *et al.*, 2010).

Un gráfico de puntuación describe la relación entre los productos, mientras que el diagrama de dispersión bidimensional describe las correlaciones entre los atributos y los CP, dando

información de cuanta variabilidad se explica por cada componente (Monteleone, 2012). La interpretación gráfica sigue reglas simples (Naes *et al.*,2010):

- Productos cercanos tienen propiedades similares y viceversa.
- Atributos cercanos están fuerte y positivamente correlacionados, mientras aquellos en lados opuestos tienen correlación negativa.
- Productos a la izquierda del gráfico se caracterizan por atributos a la izquierda, productos en la parte superior del gráfico se caracterizan por atributos en la parte superior, etc.
- Cuanto mayor sea la varianza explicada, más válida será la información obtenida del mapa perceptual.

Cada CP tiene un valor asociado llamado “raíz latente”, que indica la variabilidad que está agrupando. La proporción entre la varianza de un CP (raíz latente) y la variabilidad total, indica que tanto se explica esta última. Como se mencionó antes, cada CP es una función lineal de todas las variables originales, donde cada una de las últimas es multiplicada por un coeficiente conocido como peso o “loading”, es decir, cada variable tiene un coeficiente distinto en cada CP (Escalona, 1995).

$$CP1 = A_{11}X_1 + A_{21}X_2 + A_{31}X_3 + A_{41}X_4 + \dots + A_{n1}X_n$$

$$CP2 = A_{12}X_1 + A_{22}X_2 + A_{32}X_3 + A_{42}X_4 + \dots + A_{n2}X_n$$

$$CP3 = A_{13}X_1 + A_{23}X_2 + A_{33}X_3 + A_{43}X_4 + \dots + A_{n3}X_n$$

:
:
:

$$CPn = A_{1n}X_1 + A_{2n}X_2 + A_{3n}X_3 + A_{4n}X_4 + \dots + A_{nn}X_n$$

Donde; **n**= No. Total de variables originales, **X₁, X₂, X₃.....X_n**= Variables originales, **CP₁, CP₂, CP₃.....CP_n**= Componentes principales y **A_{ij}**= Coeficiente de la i-esima variable en el j-esimo componente principal. Los valores de i y j van desde 1 hasta n.

Finalmente, cada producto tiene un valor numérico en cada CP, que se calcula al sustituir los valores obtenidos al cuantificar las variables originales en su respectiva función lineal, una vez

conocidos los coeficientes, a este valor se le llama “score”. La varianza de todos los scores para un componente principal es numéricamente igual a la raíz latente.

2.4 Espacio de color

El espacio de color $L^*a^*b^*$, también referido como CIELAB, es actualmente uno de los espacios de color más populares y uniformes, usado para evaluar el color en términos numéricos.

La variable L^* se refiere a la luminosidad, atributo relacionado con la claridad u oscuridad del color, que señala que el color es claro si $51 \leq L \leq 100$ y oscuro si $0 \leq L \leq 50$, a^* denota el valor rojo/verde y b^* el valor amarillo/azul (Mendoza *et al.*, 2017).

El espacio de color $L^*C^*h^*$, se puede derivar de CIELAB, su sistema se correlaciona bien con la forma en que el ser humano percibe el color. Tiene el mismo diagrama que el espacio de color $L^*a^*b^*$ pero usa coordenadas cilíndricas en vez de usar coordenadas rectangulares.

En este espacio de color, L^* indica luminosidad, C^* representa croma o saturación, y h^* es el ángulo de matiz. El valor de color C^* es la distancia desde el eje de luminosidad (L^*) y comienza a 0 en el centro. El ángulo de matiz comienza en el eje $+a^*$ y es expresado en grados (e.j. 0° es $+a^*$, o rojo, y 90° es $+b^*$, o amarillo). En la Figura 15 se presenta un diagrama que permite explicar lo antes mencionado de manera más clara.

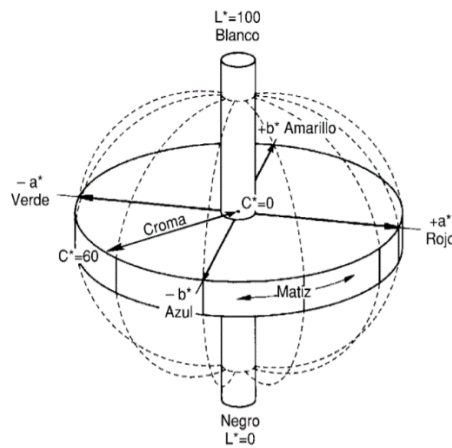


Figura 15. Diagrama de cromaticidad del espacio de color.

3. Antecedentes

Cohge *et al.*, (2004). Realizaron análisis sensoriales e instrumentales de la composición volátil presente en maltas especiales oscuras de cebada y mostos elaborados a partir de estas, con el fin de explorar los sabores producidos por estas maltas y el impacto que tiene su concentración en el mosto. Se descubrió que las maltas más oscuras presentaban mayor contenido de compuestos producidos por las reacciones de Maillard durante el proceso térmico. Productos intermediarios de las reacciones de Maillard, como ácido acético, diacetilo y 2,3-pentanodiona se presentaron cuando estas maltas especiales se adicionaron en una concentración más alta. Así mismo, el uso de maltas oscuras aumentó considerablemente el nivel de 3-metilbutanal, su producto de condensación aldólica (2-isopropil-5-metil-2-hexenal) y compuestos heterocíclicos de Maillard.

En los últimos años, el Laboratorio de Enología y Alimentos Fermentados en conjunto con el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la UAM Iztapalapa, han desarrollado estudios sobre cervezas elaboradas con maíces pigmentados como lo son el maíz azul y rojo.

Con la finalidad de rescatar una bebida prehispánica tradicional del centro del país, el Sendechó, y promover el uso de materias primas de baja comercialización, como lo son los maíces pigmentados, Verde *et al.*, (2019) buscaron adaptar la tecnología de elaboración de cerveza artesanal a las materias primas principales utilizadas en la elaboración del Sendechó, maíz rojo y chile guajillo. El proceso de elaboración de cerveza a base de maíz quedó registrado en la patente No. MX 365910, elaborada en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

En 2013, Romero realizó la caracterización de cervezas artesanales de maíz, evaluando su perfil sensorial, apoyándose de la metodología QDA, analizó la composición volátil obteniendo que el sabor y olor específicos fueron aportados principalmente por ésteres y alcoholes.

Gómez en 2016, trabajó con cervezas a base de maíz rojo, estableciendo condiciones de tiempo y temperatura en el tostado de dicho grano; determinó contenido de antocianinas, polifenoles y capacidad antioxidante, así como parámetros fisicoquímicos en la cerveza final. Descubrió

compuestos volátiles aportados por el chile guajillo en la cerveza y finalmente, caracterizó sensorialmente sus productos. Sus resultados demostraron un incremento en la capacidad antioxidante y en el contenido de polifenoles en cervezas elaboradas con maltas tostada en comparación con las elaboradas únicamente con maltas base.

Finalmente, Flores en 2018, trabajó con maltas tanto base como tostadas de maíz azul. Evaluó el efecto del tostado sobre el color, el perfil de compuestos volátiles en malta, las características químicas y la capacidad antioxidante, así como la medición del contenido de antocianinas y polifenoles de las cervezas elaboradas con dichas maltas. Finalmente, obtuvo el perfil sensorial, nivel de agrado e intención de compra por los consumidores. Sus resultados mostraron que el malteado no presentó efecto significativo sobre los parámetros de color ni el contenido de antocianinas, sin embargo, se encontraron compuestos producidos en la reacción de Maillard en las maltas tostadas siendo generalmente furanos, pirroles y pirazinas los identificados.

4. Justificación

En los últimos años ha habido un crecimiento importante en la industria cervecera, gracias a que se han ido adoptando cambios, redescubriendo y explorando nuevos sabores y estilos a través de modificaciones en el proceso de elaboración y a la gran variedad y mezcla de ingredientes (Mencia y Pérez, 2016).

En este caso, la utilización de maíces pigmentados (como lo es el maíz rojo), como fuente principal de carbohidratos, en sustitución de la cebada para la elaboración de cerveza, además de ser un producto novedoso, con características particulares, ha sido comprobado que cuenta con compuestos antioxidantes capaces de brindar beneficios a la salud (Romero, 2013; Ramírez, 2018). Además, a pesar de las bondades que estos maíces ofrecen, se encuentran en riesgo de desaparecer por la disminución del área de cultivo, su limitado uso y la baja demanda como materia prima, en este proyecto se pretende activar la producción de este cereal, con el uso de este en la cerveza (Ramírez, 2018).

Por otra parte, ya que la materia prima de mayor importancia dentro de la fabricación de cerveza es la malta, y sobre todo que la principal característica de las maltas tostadas es que aportan a la cerveza características peculiares (en color, sabor y aroma) que la malta base no, es necesario realizar un estudio sobre el efecto del tostado en la composición volátil de las maltas y cervezas elaboradas a partir de estas, para conocer las modificaciones en sus características sensoriales y cómo estas impactarán al producto final (Cohge, 2004, Gruber, 2001).

5. Hipótesis

La modificación del parámetro tiempo del proceso de tostado en la elaboración de maltas de maíz rojo tendrá como resultado una variación de los compuestos volátiles en su composición (de manera positiva), lo cual generará diversos perfiles sensoriales en las cervezas producidas con las maltas.

6. Objetivos

6.1 General

Contribuir a la estandarización del proceso de elaboración de cerveza artesanal a base de maíz rojo, estudiando el efecto del tostado de dicho grano en su calidad, composición volátil (maltas y cervezas) y su perfil sensorial en producto final, contrastando con el comportamiento de la malta de cebada.

6.2 Particulares

- Estandarizar el proceso de malteo de maíz rojo haciendo modificaciones en el tiempo de la etapa del tostado.
- Caracterizar las maltas base y tostadas de maíz rojo y cebada evaluando el efecto del tostado sobre el color y la composición volátil.
- Elaborar distintos lotes de cerveza a partir de las maltas de maíz rojo y cebada estandarizadas.
- Realizar la caracterización fisicoquímica de las cervezas obtenidas (Determinación del contenido alcohólico, pH, azúcares reductores, amargor, acidez, color y composición volátil).
- Determinar el perfil sensorial de las cervezas obtenidas.

7. Materiales y métodos

En la Figura 16, se presentan las etapas que se llevaron a cabo durante la elaboración de esta investigación y posteriormente se detalla la metodología utilizada en cada una de ellas.

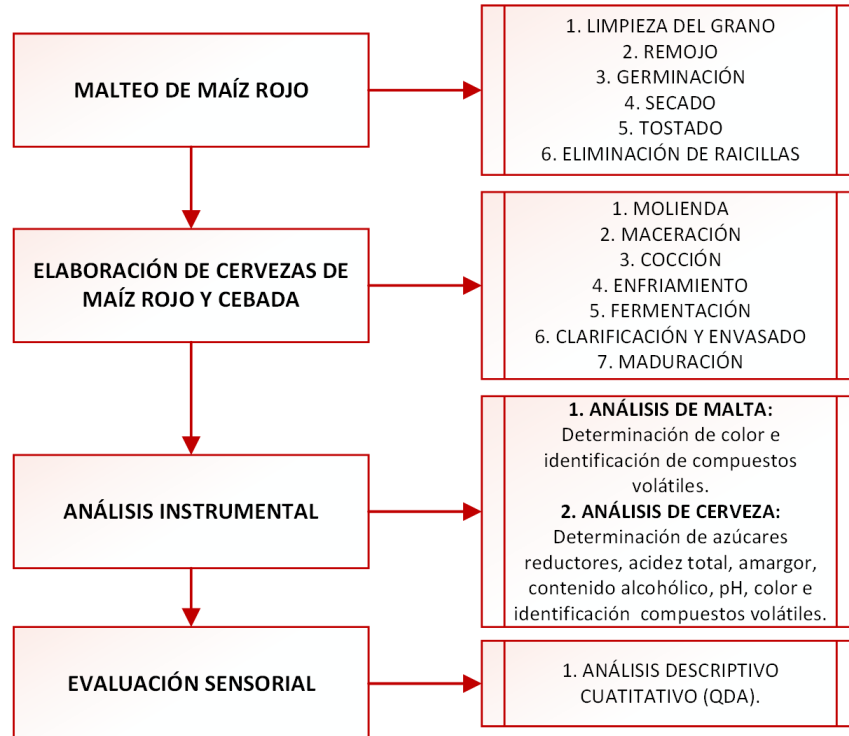


Figura 16. Metodología general de la elaboración y análisis de cerveza artesanal de maíz rojo y cebada.

7.1 Malteo de maíz rojo

Para la producción de malta, el maíz rojo variedad “Chalqueño”, obtenido de la Delegación Milpa Alta, pasó por una etapa de limpieza en donde fue eliminado todo tipo de basurillas y granos dañados o afectados microbiológicamente. A continuación, el grano se sometió a un proceso de malteo con las condiciones presentadas en la Figura 17.

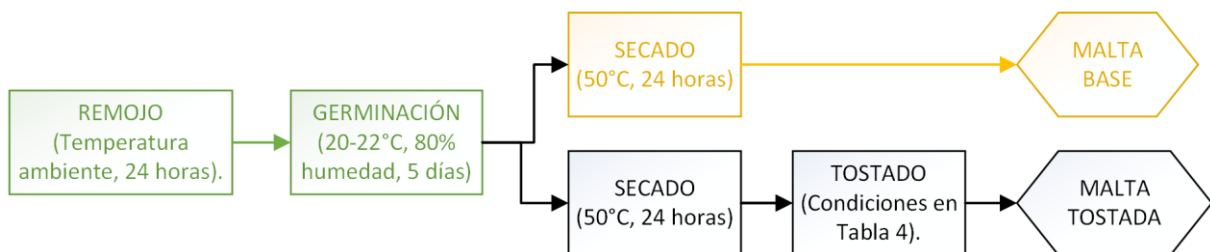


Figura 17. Malteo de maltas base y tostadas de maíz rojo.
(Adaptado de Flores, 2018).

El grano se sometió a un remojo con proporciones de grano:agua de 1:3 a 1:4 con una duración de 24 horas con el objetivo de que el grano obtuviera una humedad del 10-40%, los granos flotantes fueron eliminados debido a que cuentan con una densidad menor, lo cual lo hace candidato a ser contaminado y a obtener bajos rendimientos de almidón. Durante la germinación, fue necesario mantener húmedo el grano rociando con agua y además moverlo desde el fondo hacia la superficie de los contenedores para oxigenarlo, para mantener homogénea la temperatura y evitar que las raicillas que iban creciendo se trenzaran entre los granos, este procedimiento se realizó cada 8 horas, la germinación se detuvo después de 5 días,



Figura 18. Grano de maíz rojo germinado o malta verde.

con lo que la plúmula, que sale por el lado dorsal del grano, alcanzó el largo de 1 a 2 veces el tamaño del grano, obteniendo así la malta verde (Figura 18).

Para la obtención de malta base se continuó con un secado y para las maltas tostadas el grano se expuso a condiciones de tiempo y temperatura más altas, estas condiciones se presentan en las Tablas 3 y 4, respectivamente. Las condiciones de tiempo y temperatura durante el tostado de maíz se escogieron tomando como base los resultados obtenidos por Gómez y Flores en 2016 y 2018, respectivamente; en los cuales con las maltas obtenidas a una temperatura cercana a 170°C se obtuvo un mayor nivel de agrado sensorial. El tiempo total requerido durante la etapa de malteado de maíz es de 7 a 10 días.

Tabla 3. Condiciones de secado de maíz rojo.

TOSTADO		
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
MALTA BASE	50	24

Tabla 4. Condiciones de tostado de maíz rojo.

SECADO		
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
MALTA TOSTADA (tratamiento 1)	170	20
MALTA TOSTADA (tratamiento 2)	170	60

La malta base de cebada que fue utilizada es “Pilsen Avangard”, una malta de origen alemán, que se eligió ya que es utilizada para cervezas pilsners, cervezas claras y cervezas oscuras y que es ampliamente utilizada en diversos estilos; la malta tostada que se eligió es “Chocolate Briess”, una malta alemana tostada que aporta un profundo aroma y color a las cervezas oscuras,

recomendada para cualquier cerveza oscura, según las especificaciones del proveedor (hazchela.com).

7.2 Elaboración de cerveza

Una vez obtenidas las maltas, se elaboraron cervezas de tipo *Ale* a partir de maltas base y tostadas tanto de maíz rojo como de cebada, siguiendo las condiciones de la patente No. MX 365910, Proceso para la elaboración de cerveza antioxidante a base de maíz malteado azul y rojo, realizada en el Laboratorio de Enología y Alimentos Fermentados en conjunto con el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la UAM Iztapalapa (Verde *et al.*, 2019). En la Figura 19, se presentan las etapas que se siguieron para la producción de estas.



Figura 19. Proceso de elaboración de cervezas de maíz rojo y cebada.

Fueron elaboradas cinco diferentes cervezas (por duplicado), tres de ellas a partir de maíz rojo, la primera utilizando malta base y las otras dos con la adición de una proporción de maltas tostadas (10% del peso total de la malta) que han sido tratadas con un tratamiento térmico distinto, diferenciándolas como tratamientos 1 y 2 (Tabla 4); las otras dos cervezas se elaboraron a partir de malta de cebada, la primera utilizando malta base únicamente y la otra adicionando la misma proporción de malta tostada que en maíz, para mayor entendimiento esto se encuentra representado en la Figura 21; de cada una de las cervezas se obtuvieron lotes de 4L aproximadamente como se muestra en la Figura 20. El proceso total de fabricación comprende un periodo de tiempo aproximado de seis semanas.



Figura 20. Lote de cerveza en fermentador de 4L.

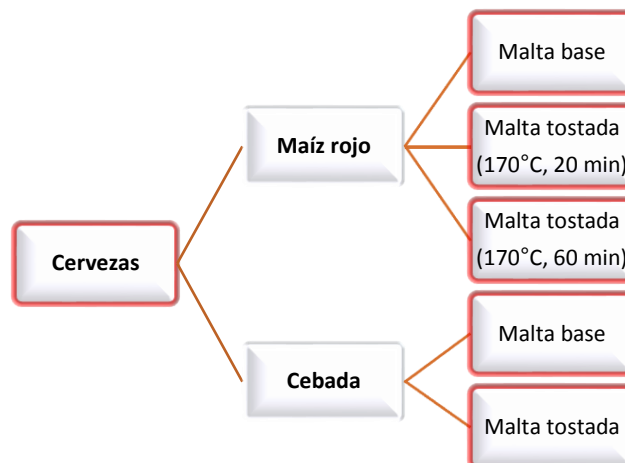


Figura 21. Diseño experimental de elaboración de cervezas.

7.3 Métodos fisicoquímicos empleados para la caracterización de maltas y cervezas

7.3.1 Análisis fisicoquímicos de la malta

7.3.1.1 Determinación de color

Se determinaron las propiedades cromáticas con ayuda de un colorímetro Hunter-Lab, haciendo 5 lecturas de cada una de las maltas, obteniendo un promedio de los parámetros triestímulo L^* , a^* y b^* . A partir de los valores de a^* y b^* se realizó el cálculo del ángulo del tono o *Hue* (h), que denota el tipo de color observado, y el *Croma*, que indica la saturación del color de las maltas, a partir de las siguientes fórmulas (Salinas *et al.*, 2012):

$$\text{Hue } (h) = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

$$\text{Croma}(C^*) = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}}$$

7.3.1.2 Extracción de compuestos volátiles

La extracción de compuestos volátiles se realizó por micro-extracción en fase sólida (HS-SPME). Una cantidad de 3 g de malta molida fue colocada en viales de 20 mL, se le adicionaron 8 mL de NaCl al 20% en agua destilada, se colocó en agitación por 10 min en Vortex, después de este tiempo fue empleada una fibra de 1 cm de longitud DVB/CAR/PDMS (50/30 μ m



Figura 22. Extracción de compuestos volátiles.

Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane) marca Supelco Analytical de Sigma-Aldrich para la extracción de compuestos volátiles, en baño de agua a 45°C con un tiempo de exposición del espacio de cabeza de 1 hora (Figura 22), después de la extracción de los compuestos volátiles, la fibra fue desorbida inmediatamente en el puerto de inyección a 250°C durante 10 min para asegurar la extracción

total de los compuestos. La determinación se realizó por triplicado para cada malta (Adaptado de Flores, 2018).

7.3.1.3 Análisis de compuestos volátiles

Mediante cromatografía de gases, se realizó la identificación de los compuestos volátiles presentes en las diferentes maltas obtenidas. Estos análisis se realizaron en el cromatógrafo de gases, del cual sus especificaciones se presentan en la Tabla 5, dichos compuestos se identificaron a partir de la comparación de tiempos de retención obtenidos en cada muestra con referencias bibliográficas que anteceden este trabajo y a partir de estándares de concentración conocida corriéndolos bajo las mismas condiciones con la finalidad de obtener los índices de retención para comparar e identificar con lo reportado en la literatura (Flores, 2018). El método utilizado para el análisis de los compuestos volátiles se presenta en la Tabla 6.

Tabla 5. Características del cromatógrafo de gases. Adaptado de Flores, 2018.

Cromatógrafo de gases	HP-6890
Modelo	Agilent 6890 Plus
Detector	FID
Gas acarreador	Nitrógeno
Columna	HP-5 (Crosslinked), 30m longitud x 0.32mm diámetro x 0.25um espesor película (capilar). No polar, apta para compuestos aromáticos. (60-325°C)
Fase estacionaria	5% de Fenil, 95% dimetil-Polisiloxano

Tabla 6. Método utilizado en el análisis de compuestos volátiles. Adaptado de Flores, 2018.

Temperatura del puerto de inyección	240°C
Temperatura del detector	250°C
Flujo inicial	1.3 ml/min
Modo	Splitless
Tiempo total de corrida	51 min
Rampa de temperatura de la columna	Temperatura inicial: 40°C/5min Incremento de temperatura: 2°C/min hasta 50°C 5°C/min hasta 250°C

7.3.2 Análisis fisicoquímicos de la cerveza

7.3.2.1 Determinación del color

El color de las cervezas se obtuvo con la obtención de los valores de los parámetros triestímulo L*, a* y b* con los que se calculó el ángulo del tono o *Hue* y el *Croma*, con ayuda de un colorímetro Hunter-Lab en cervezas muy oscuras (elaborada con malta de cebada tostada)(Salinas *et al.*, 2012)., y en cervezas menos oscuras a partir del software MSCV®, utilizado en investigación, creado en la Universidad de la Rioja, La Rioja, España, que calcula las coordenadas de color de vinos y brandies utilizando los valores de absorbancia de las longitudes de onda a 450, 520, 570 y 630 nm.

7.3.2.2 Determinación de azúcares reductores directos

Se dejó en reposo, durante 10 min, una alícuota de 10 mL de cerveza madura a la cual se añadió 40 mg de subacetato de plomo y se aforo con agua destilada en un matraz volumétrico de 100 mL. La muestra fue centrifugada a 2500 rpm durante 10 min en agitador rotatorio, se separó el sobrenadante en un vaso de precipitados evitando suspender los sólidos y se colocó en una bureta. 10 mL de reactivo de Fehling y 20 mL de agua destilada fueron depositados en un matraz Erlenmeyer con perlas de ebullición llevado a calentamiento, una vez iniciada la ebullición, la dilución se agregó gota a gota hasta alcanzar un color amarillo paja. Para determinar el contenido de azúcares reductores directos, se sustituyó el volumen obtenido en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Azúcares} = \frac{FxAx100}{axv}$$

Donde; F: factor de Fehling (g glucosa), A: volumen del aforo, 100: para transformar a %, a: alícuota de la cerveza (mL), v: volumen de cerveza gastada en la titulación (mL).

El factor de Fehling también fue determinado bajo las condiciones anteriores, pero utilizando una solución de 0.5g de glucosa en 100 mL agua destilada como solución titulante. El contenido de azúcares reductores directos de las muestras se expresa en porcentaje, lo que corresponde a g de glucosa por 100 mL de muestra (Método volumétrico mosto-11 y cerveza-12B: Lane-Eynon, ASBC).

7.3.2.3 Determinación de acidez total

Se agregaron 40 mL de muestra desgasificada mediante agitación en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se colocó en una parrilla con agitación, sumergiendo el electrodo en el vaso para posteriormente hacer una titulación con una disolución de Hidróxido de Sodio 0.1 N hasta que la muestra presentó un pH de 8.2 (Método potenciométrico mosto-7 y cerveza-8, ASBC). La determinación de acidez total se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez Total} = \frac{(V)(N)(\text{meq})(1000)}{v} = \frac{g}{L} \text{ Ácido Láctico}$$

Donde; V= Volumen de NaOH consumido (mL), N= Normalidad de NaOH utilizada, meq= Miliequivalentes del ácido láctico (90 g/eq) y v = Volumen de la muestra (mL).

7.3.2.4 Determinación de contenido alcohólico

Se destilaron 25 mL de cerveza contenidos en un matraz bola de 100 mL con perlas de ebullición hasta coleccionar aproximadamente 20 mL de destilado que fueron aforados en un picnómetro de 25 mL con agua destilada a una temperatura de 20°C. Posteriormente se determinó el peso del picnómetro vacío, limpio y seco, el picnómetro con el destilado y el picnómetro con agua destilada. El peso específico fue calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Peso específico (20°C)} = \frac{\text{peso picnómetro con destilado} - \text{peso picnómetro vacío}}{\text{peso del picnómetro con agua} - \text{peso del picnómetro vacío}}$$

El contenido alcohólico se determinó a partir de tablas (AOAC, 1995) (Método gravimétrico cerveza-4A: cerveza y destilado, ASBC).

7.3.2.5 Determinación de amargor

En tubos de centrífuga de 50 mL se colocaron 5 mL de muestra, 0.5 mL de HCl 3N y 10 mL de 2, 2, 4-trimetilpentano (iso-octano), esta mezcla se agitó durante 1 min en vortex y se centrifugó a 2500 rpm durante 10 min en agitador rotatorio. La fase orgánica fue separada y se le midió el valor de absorbancia contra un blanco de iso-octano a 275 nm en un espectrofotómetro. Los

valores de unidades internacionales de amargor (IBU) se obtuvieron multiplicando el valor de absorbancia por un factor de 50 (Método cerveza-23A, ASBC).

7.3.2.6 Análisis de compuestos volátiles

La extracción de compuestos volátiles de cervezas también se realizó mediante micro-extracción en fase sólida (SPME). Una cantidad de 10 mL de cerveza fue colocada en viales de 20 mL, se le adicionaron 2 g de NaCl con el fin de mejorar la extracción, posteriormente el vial fue sellado, y colocado en agitación en Vortex durante 10 min, después de este tiempo se empleó una fibra SPME de DVB/CAR/PDMS marca Supelco Analytical de Sigma-Aldrich de 1 cm de longitud, para la extracción de compuestos volátiles, en baño de agua a 45 °C con un tiempo de exposición del espacio de cabeza de 35 minutos. Una vez terminada la extracción la fibra se llevó al puerto de inyección donde se llevó a cabo la desorción de los analitos durante 10 min, aproximadamente (Adaptado de Flores, 2018).

Con la ayuda de cromatografía de gases, se realizó una identificación de los compuestos volátiles presentes en las cervezas obtenidas. Estos análisis se realizaron en el cromatógrafo de gases, del cual sus especificaciones se presentan en la Tabla 5, dichos compuestos se identificaron a partir de la comparación de tiempos de retención obtenidos en cada muestra con referencias bibliográficas que anteceden este trabajo y a partir de estándares de concentración conocida corriéndolos bajo las mismas condiciones con la finalidad de obtener los índices de retención para comparar e identificar con lo reportado en la literatura. (Flores, 2018). El método utilizado para el análisis de los compuestos volátiles se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Método utilizado en el análisis de compuestos volátiles. Adaptado de Romero, 2013.

Temperatura del puerto de inyección	240°C
Temperatura del detector	250°C
Flujo inicial	1.3 ml/min
Modo	Splitless
Tiempo total de corrida	51 min
Rampa de temperatura	Temperatura inicial: 40°C/3min Incremento de temperatura: 5°C/min hasta 190°C 15°C/min hasta 250°C

7.3.3 Análisis sensorial - Análisis Descriptivo Cuantitativo

Mediante la evaluación sensorial fueron caracterizadas y diferenciadas cervezas artesanales de maíz rojo y cebada. Las características sensoriales para evaluar y cuantificar fueron: apariencia, olor, sabor y sensación en boca.

El análisis descriptivo fue realizado con ayuda de un panel de jueces entrenados, como instrumento de medición, los cuales fueron previamente seleccionados y entrenados en el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la UAM-I, y fueron los encargados de cuantificar al observar, probar, oler o sentir diferentes estímulos.

7.3.3.1 Reclutamiento y selección de jueces.

Se inició con el reclutamiento de jueces, invitando a la comunidad de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, a ser parte del grupo de jueces entrenados para la evaluación sensorial de cerveza, fueron reclutadas 35 personas. Posteriormente, se continuo con la preselección mediante un cuestionario (Anexo 1), con el fin de obtener información acerca de la salud, edad, hábitos, gustos, disponibilidad de tiempo y el agrado y conocimiento con respecto a la cerveza. Concluida la etapa de preselección se les realizaron pruebas de sensibilidad (Anexo 2), donde los jueces identificaron sensaciones de olor, utilizando esencias con notas como: frutal, cítrico, vinagre, cereal y mantequilla, algunos de los olores presentes en la cerveza en general; realizaron también una prueba de asociación de olores, una de ordenación de infusiones de lúpulo con diferentes concentraciones de este, y finalmente, una prueba de habilidad descriptiva, describiendo características de visibilidad, olor, sabor y consistencia de dos cervezas comerciales. Finalmente, fueron seleccionadas 17 de las personas para ser parte del panel de jueces sensoriales.

7.3.3.2 Generación de atributos descriptivos

Durante la generación de atributos descriptivos los jueces trabajaron de forma individual y mediante consensos o reuniones en grupo (Figura 23), describiendo características y sensaciones, y generando un amplio vocabulario para las cervezas de maíz y cebada; una vez obtenido el vocabulario, se seleccionaron los atributos representativos en la evaluación y el orden en que se presentarían, agrupando en categorías de apariencia, olor, sabor y sensación en boca. Los términos elegidos por el panel fueron aquellos que mejor describieron y diferenciaron

al producto, así como los términos con los cuales los jueces estuvieron más familiarizados, facilitando el entendimiento de estos (Stone y Sidel, 2004; Murray, 2001). Finalmente, quedaron 41 atributos representativos, de los cuales 5 son de apariencia, 11 de olor, 21 de sabor y 5 de sensación en boca presentados en la Tabla 8.



Figura 23. Reuniones en grupo/Consensos.

Tabla 8. Lista de atributos representativos.

Apariencia	Olor	Sabor	Sensación en boca
<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez • Espuma • Carbonatación • Brillantez • Color 	<ul style="list-style-type: none"> • Floral • Frutos tropicales • Caramelo • Levadura • Cítrico • Alcohol • Café • Vegetales • Chocolate • Herbáceo • Sulfuro 	<ul style="list-style-type: none"> • Chile • Dulce • Ácido • Amargo • Cereal • Maíz • Cebada • Levadura • Cítrico • Caramelo • Alcohol • Vegetales cocidos • Vinagre • Zorrillo • Tepache • Miel • Sidra • Herbáceo • Café • Floral • Frutos tropicales 	<ul style="list-style-type: none"> • Picante • Metálico • Efervescencia • Cuerpo • Astringencia

7.3.3.3 Entrenamiento del panel

Los jueces recibieron el entrenamiento de forma individual con el fin de seguir aprendiendo sus definiciones, el procedimiento de evaluación y el uso de la escala. Se trabajó en la utilización de una escala que permitiera la cuantificación de los atributos descriptivos, realizando pruebas RATA (rate all that apply) (Vidal *et al.*, 2018), en donde el juez seleccionaba la intensidad que presentaba cada descriptor con respecto a cada una de las muestras donde 0= Nada, 1=Poco, 2= Moderadamente, 3=Mucho y 4=Extremadamente (Anexo 3).

También se trabajó con una escala de línea de 15 cm que permitió al juez indicar la intensidad de cada atributo, marcando su elección en cualquier lugar dentro de la línea, esta marca es convertida en un valor numérico, esta forma de evaluación fue la utilizada durante la evaluación formal de las muestras (Escalona, 1995).

Para estandarizar el lenguaje, es decir, disminuir el error entre los jueces y conseguir que todos los jueces le dieran el mismo significado a un término, en variadas ocasiones se les dieron referencias de los descriptores (Figura 24), utilizando algunos de los compuestos que pueden presentarse en la cerveza en general y que aportan los principales olores y sabores, y se les pidió que se familiarizaran con estas notas (Anexo 4). Algunas de estas referencias fueron: maltas de cebada, maíz rojo, tanto tostadas como no tostadas, variedades de lúpulo como son “Cascade”, un lúpulo con aromas cítricos y “Columbus”, con aromas herbales, se les dio a oler y probar levadura, café, chocolate, caramelo, miel, chile guajillo, aromas florales, cítricos, frutales, herbáceos; que son notas esperadas y agradables en la cerveza; pero además, se les dieron referencias con notas que son consideradas defecto como son: vegetales cocidos, vinagre, mantequilla, olor a gato o zorrillo (presente en cervezas oxidadas debido a la exposición a la luz), sulfuro (huevo podrido), ácido láctico para el cual se les dieron a probar bebidas como tepache, pulque y Yakult (producto lácteo fermentado) y finalmente se utilizó sulfato ferroso para referenciar la sensación metálica en boca, entre otras (Anexo 5).



Figura 24. Presentación de referencias.

7.3.3.4 Evaluación del producto

Una vez concluido el entrenamiento, cada juez realizó una evaluación de forma individual, en cabinas aisladas (Figura 25 y 26), de las cervezas. Las muestras fueron presentadas de forma homogénea y secuencial, codificadas con tres números aleatorios, en copas que contenían 50 mL de muestra a una temperatura de 4 a 6°C, aproximadamente.

El juez indicó la cuantificación de cada atributo en un cuestionario marcando sobre una escala lineal no estructurada la intensidad percibida del atributo en la muestra (Anexo 9). Para la medición de color de cervezas se siguió la metodología del Método Estándar de Referencia (SRM por sus siglas en inglés), tomada del Programa de Certificación de Jueces Cerveceros, la guía de color mostrada en el Anexo 10, permitió estimar visualmente y de forma rápida el color de la muestra de cerveza (BJCP, 2013).

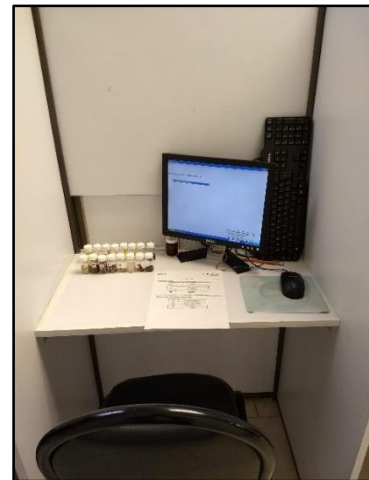


Figura 25. Cabinas utilizadas para la evaluación de las muestras.

La evaluación de las muestras se llevó a cabo con ayuda de FIZZ by BIOSYSTEMES (versión 2.3, módulo Acquisition y judge, 2007, Courtenon, France), un software utilizado en la organización de las sesiones, la recopilación de datos, así como el almacenamiento y cálculo de resultados. Fueron evaluadas como máximo 3 muestras por sesión, finalmente, se realizó una repetición de la prueba con la intención de contar con suficientes datos y de esta manera obtener un análisis estadístico confiable.

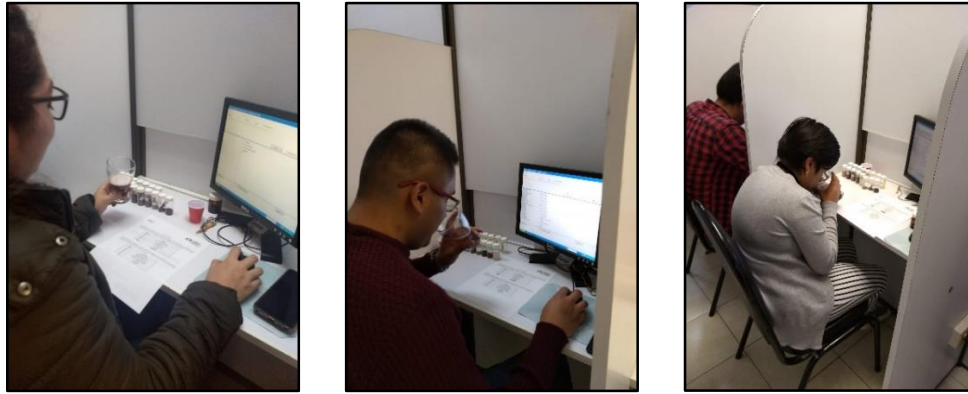


Figura 26. Evaluación de las muestras de cerveza.

7.3.3.5 Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos en las evaluaciones, se representaron gráficamente los promedios por atributo en cada producto, es decir, se creó un perfil descriptivo con diagramas de radar para cada una de las características evaluadas (apariencia, olor, sabor y sensación en boca), donde cada una de las líneas presentes en el diagrama corresponde a un atributo y la intensidad de este se incrementa a medida que se aleja del punto central (Escalona, 1995).

Las evaluaciones de los atributos de cada muestra fueron reportadas como promedio. El análisis estadístico fue realizado usando NCSS, 2019. Los datos fueron analizados mediante ANOVA de tres factores (sesión x jueces x muestras) para cada atributo con un nivel de significancia del 0.05. Para determinar las muestras diferentes se realizó una prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey) igualmente con un nivel de significancia del 0.05. El análisis estadístico fue realizado usando NCSS, 2019.






Además, los datos fueron analizados mediante un Análisis de Componentes Principales, un método multivariado que permitió conocer las características de cada tipo de muestra. Este análisis estadístico fue obtenido por XLSTAT 2012.1.01.

8. Resultados y Discusión

8.1 Parámetros del color de maltas

Los resultados obtenidos de la medición de parámetros de color de las maltas se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de color en maltas de maíz rojo y cebada.

	L*	a*	b*	Hue(h)	Croma(C)	Color
Malta base de maíz rojo	41.8±0.01 ^a	11.05±0.03 ^a	13.52±0.04 ^a	50.74±0.12 ^a	17.46±0.04 ^a	
Malta tostada de maíz rojo T1	36.5±0.02 ^b	7.06±0.06 ^b	15.37±0.1 ^b	65.32±0.3 ^b	16.91±0.1 ^b	
Malta tostada de maíz rojo T2	31.69±0.02 ^c	7.74±0.07 ^c	12.81±0.12 ^c	58.85±0.4 ^c	14.97±0.03 ^c	
Malta base de cebada	59.07±0.01 ^d	7±0.01 ^b	25.49±0.05 ^d	74.64±0.05 ^d	26.43±0.08 ^d	
Malta tostada de cebada	22.14±0.03 ^e	6.41±0.1 ^d	10.5±0.1 ^e	58.59±0.05 ^c	12.30±0.08 ^e	

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las maltas.

En relación con las propiedades cromáticas de las maltas de maíz rojo en sus diferentes tratamientos, la luminosidad (L*) disminuyó conforme aumentó el tratamiento térmico, con valores de 41.8, 36.5 y 31.69 para malta base, malta tostada T1 y malta tostada T2, respectivamente. Los valores del ángulo de tono Hue (h) fueron de 50.74, 65.32 y 58.85 y los valores de Croma (C*) encontrados fueron de 17.46, 16.91 y 14.97 unidades CIELAB, para las mismas muestras, disminuyendo también con aumentó del tratamiento térmico. Al comparar los valores de L*, h y C* entre los diferentes tratamientos de maltas de maíz rojo se encontró diferencia significativa, lo que indica que el tostado del maíz, tuvo efecto significativo sobre los parámetros de color de las maltas.

En 2006, Espinoza y colaboradores analizaron las propiedades cromáticas de diferentes variedades de maíces pigmentados, entre ellos el maíz rojo, reportando para este, valores de L* de 19.4, h de 75.7 y C* de 5.7. Los resultados obtenidos en las maltas de maíz rojo utilizadas en la presente investigación se encuentran en valores relacionados con los anteriormente realizados por los autores, se debe tomar en cuenta que en este trabajo el maíz utilizado tuvo, además un proceso de malteado. En la Figura 27 se presentan las maltas base y tostada de maíz rojo obtenidas.



Figura 27. Diferentes tratamientos de maltas de maíz rojo obtenidos.

En cuanto a las maltas de cebada, se obtuvieron valores de L^* de 59.07 para la malta base de cebada y 22.14 para la malta tostada. Los valores de h fueron de 74.64 y 58.59 para malta base y tostada, respectivamente; finalmente, los valores de C^* 26.43 y 12.30, disminuyendo los tres parámetros con aumentó del tratamiento térmico. Las dos muestras fueron significativamente diferentes.

De acuerdo a los valores de luminosidad (L^*), podemos observar que, de todas las maltas analizadas, el valor más alto lo obtuvo la malta base de cebada siendo este valor de 59.07, es decir su color es claro de acuerdo al rango antes mencionado y como se puede notar en la Figura 28 es la única malta que presenta color claro a simple vista; por otro lado, el valor de L^* más bajo lo obtuvo la malta tostada de cebada, con un valor de 22.14, como se puede observar esta es la malta más oscura.



Figura 28. Diferentes tratamientos de maltas de maíz rojo obtenidos.






Recapitulando, a mayores condiciones de tiempo y temperatura del tostado de las maltas, el valor de luminosidad es menor y por lo tanto las maltas cuentan con colores más oscuros. El

color obtenido de las maltas es resultado de productos de las reacciones de Maillard llamados melanoidinas que se presentan durante el tratamiento térmico (Bamfort, 2006; Hardwick, 1995). Los cambios en los parámetros de color mostraron el efecto del tostado sobre los cambios en la concentración de los compuestos de color: la degradación de antocianinas y la formación de melanoidinas en los diferentes tratamientos de maltas.

8.2 Parámetros de color de cervezas

Los parámetros de color de las cervezas obtenidas se presentan a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros de color en cervezas de maíz rojo y cebada.

	L*	a*	b*	Hue(h)*	Croma(C)*	Color
Malta base de maíz rojo	66.95±3.88 ^a	16.03±3.4 ^{b,c}	57.92±7.5 ^{b,c}	74.61±1.21 ^a	60.11±8.16 ^{b,c}	
Malta tostada de maíz rojo T1	61.9±6.08 ^a	15.07±2.65 ^{b,c}	62.68±3.79 ^c	76.40±3.09 ^a	64.51±3.06 ^c	
Malta tostada de maíz rojo T2	53.5±7.20 ^a	21.79±5.96 ^c	55.29±6.8 ^{b,c}	68.22±7.74 ^a	59.70±4.12 ^{b,c}	
Malta cebada base	74.3±1.27 ^a	4.50±0.04 ^{a,b}	39.72±6.15 ^b	83.44±1.07 ^a	39.98±6.11 ^b	
Malta cebada tostada	2.37±0.20 ^b	0.69±0.13 ^a	4.45±0.19 ^a	81.08±2.07 ^a	4.51±0.17 ^a	

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

Con respecto a las propiedades cromáticas de las cervezas elaboradas a partir de maltas de maíz rojo en sus diferentes tratamientos, la luminosidad (L*) de igual forma que en las maltas disminuyó conforme aumentó el tratamiento térmico, con valores de 66.95, 61.9 y 53.5 para malta base y maltas tostadas T1 y T2, respectivamente. Los valores del ángulo de tono Hue (h) fueron de 74.61, 76.40 y 68.22, y los valores de Croma (C*) fueron de 60.11, 64.51 y 50.70 unidades CIELAB. En cuanto a las cervezas elaboradas a base cebada, se obtuvieron valores de L* de 74.3 en la cerveza elaborada con malta base, y 2.37 para la cerveza con malta tostada, siendo un color muy oscuro. Los valores de h fueron de 83.44 y 81.08 para malta base y tostada, respectivamente, y finalmente los valores de C* 39.98 y 4.51.

De acuerdo al análisis estadístico, en la Tabla 10 se observa que se encontró diferencia significativa entre las muestras en todos los parámetros de color, sin embargo, esta diferencia no se presentó entre las cervezas de maíz en ninguno de los parámetros. Es decir, se encontró diferencia significativa en los parámetros de color diferenciando las cervezas de maíz de las de

cebada, así como la cerveza base y tostada elaboradas a base de cebada. A pesar de que no se encontró diferencia significativa entre las muestras de maíz, se puede observar que el color obtenido se fue oscureciendo conforme aumentó el tostado.

En la Tabla 10 se observa que del mismo modo que en maltas, a mayores condiciones de tiempo y temperatura del tostado de las maltas, el valor de luminosidad y el Croma son menores y por lo tanto las cervezas cuentan con colores más oscuros. En la Figura 29 se presentan las cervezas elaboradas a partir de maltas base y tostadas de cebada y maíz rojo.

MAÍZ ROJO



CEBADA



Figura 29. Cervezas de maíz rojo y cebada obtenidos.

8.3 Parámetros fisicoquímicos de cervezas maduras

A continuación, se presentan y describen los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas de las cervezas analizadas (Tabla 11).

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en cervezas maduras.

Muestra	pH	Acidez Total (g Ac.Lact./L)	Azúcares Reductores Directos (gGlucosa/100mL)	Contenido Alcohólico* (% Alc. Vol.)	Amargor (IBU's)
Cebada Base	3.965±0.148 ^a	4.162 ±1.113 ^a	0.348 ^a	6.960±0.438 ^a	27.85 ^a
Cebada Tostada	3.92±0.141 ^a	4.303±0.278 ^a	0.328 ^a	6.405±0.417 ^a	29.55 ^a
Maíz Base	4.05±0.056 ^a	4.05±0.318 ^a	0.388±0.043 ^a	5.02±0.296 ^{a,b}	30.55 ^a
Maíz Tostado T1	4.235±0.261 ^a	4.134±0.395 ^a	0.361±0.024 ^a	5.22±0.056 ^b	30.65 ^a
Maíz Tostado T2	4.06±0.042 ^a	3.88±0.238 ^a	0.407 ^a	4.485±0.318 ^b	29.35 ^a

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las maltas.

Hay muchos factores que pueden influir en el pH de una cerveza como son la molienda, la alcalinidad y dureza del agua, el impacto de la levadura en la fermentación, entre otros. Evaluar el pH en una cerveza es simplemente un medio para expresar la concentración de ion hidrógeno (H^+) debida a la cantidad y concentración de ácidos disueltos como son acético, láctico, entre otros, sin embargo, conocer este valor es de gran relevancia en la calidad de la cerveza terminada, ya que nos da información acerca de la calidad microbiológica, como de sus características sensoriales (Bamforth, 2001; Guyot *et al.*, 2004; Hardwick, 1995)

En cervezas de cebada maduras, han sido reportados valores de pH entre 3.7 y 4.5, valores inferiores pueden afectar el sabor de la cerveza, con notas de acidez desagradables, mientras que a valores mayores a 4.5 no se garantiza la inhibición de microorganismos patógenos (Hardwick, 1995). Flores en 2018 y Gómez en 2016, reportan valores de pH entre 4.5 y 4.8 para cervezas de maíz azul y de 3.8 a 4.7 en cervezas de maíz rojo, respectivamente. La Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, establece un rango permisible de pH de 2.5 a 5 en cervezas maduras.

En la Tabla 11, se presentan valores de pH de entre 3.92 y 4.06 para las cervezas obtenidas ya maduras entrando en el rango esperado antes mencionado, al realizar un análisis estadístico no se encontró diferencia significativa entre muestras.

Respecto a los valores de acidez total se encontraron en el rango entre 3.88 y 4.303 g de ácido láctico por litro, no encontrándose diferencia significativa entre muestras; estos valores se encuentran dentro o cercanos a valores obtenidos por Popescu *et al.*, quienes reportaron valores de acidez total de 3.8 y 4.1 para cervezas de cebada. Los valores de acidez total obtenidos cumplen con el rango permisible, establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, que establece 10 g de ácido láctico por litro como máximo.

El contenido de azúcares reductores directos se encontró entre 0.328 a 0.407 g de glucosa en 100 mL de cerveza, valores un poco por debajo de los reportados por Flores con valores de aproximadamente 0.6 g de glucosa en 100 mL. Cabe mencionar que mientras más bajo sea este valor es mejor, ya que altas concentraciones dan indicio de una fermentación incompleta, además de que afectan el sabor como la calidad, ya que son una fuente de carbono de fácil aprovechamiento (Gómez, 2016).

En cuanto al contenido alcohólico, la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, establece un rango permisible en cerveza de entre el 2% al 20% Alc. Vol., los valores en cuanto a este parámetro fueron de 4.48%, 5.02% y 5.22% Alc. Vol. en cervezas de maíz rojo, y de 6.4 y 6.96% Alc. Vol en cervezas de cebada, encontrándose dentro del rango, cabe mencionar que el mayor contenido alcohólico lo obtuvieron cervezas con malta base en comparación con la tostada, tanto para maíz como para cebada, esto se atribuye a la baja actividad enzimática de las maltas tostadas debido al tratamiento térmico, contemplando que la cantidad de malta utilizada fue la misma en todas las muestras. Tomando como base lo antes mencionado se puede observar en la Tabla 11 que no se encontró diferencia significativa entre cervezas elaboradas a partir del mismo grano, sin embargo, si se presentó entre cervezas de maíz rojo y cebada, obteniendo valores mayores en las de cebada, lo cual es esperado ya que ha sido reportado un mayor poder diastásico en cebada en comparación con el maíz, es decir, que en cebada se presenta mayor capacidad de las enzimas de convertir almidón en azúcares fermentables; Gómez (2016), reportó un poder diastásico para malta de maíz rojo con

un 35% del de cebada. Flores en 2018 y Gómez en 2016, además, reportan valores de contenido alcohólico de entre 1.4% a 1.7% Alc. Vol. en cervezas de maíz azul y de 2.33% a 4.5% Alc. Vol. en cervezas de maíz rojo, respectivamente.

Finalmente, las unidades utilizadas para medir el grado de amargor en una cerveza son conocidas como IBU (International Bitterness Units, por sus siglas en inglés), a través de la cantidad de iso- α -ácidos presentes en el lúpulo que luego de haber sido hervidos y transformados, le dan el sabor amargo característico a la cerveza. Las IBU's son una medida de concentración que se expresa en miligramos de iso- α -ácidos contenidos en un litro de mosto o cerveza provenientes de la cocción de lúpulo.

Aunque las IBU's son utilizadas como una guía de sabor, es importante notar que el tipo de malta, así como otros ingredientes, la edad de los lúpulos, la temperatura y tiempo de cocción, así como el nivel de atenuación de la levadura, pueden opacar o elevar el amargor de la cerveza. Esto significa que las IBU's no siempre definen el sabor amargo de la cerveza.

En la Tabla 13, se presentan valores de IBU's entre 27.85 y 30.65 para las muestras de cerveza analizadas en las que no se encontró diferencia significativa. Romero (2013), Gómez (2016) y Flores (2018), reportan concentraciones de IBU's con valores entre 11 y 20 en cervezas de maíz, siendo valores por debajo de los obtenidos en este trabajo, sin embargo, es importante mencionar que este parámetro es muy variable y aceptado, dependiendo del tipo y cantidad de lúpulo, así como las condiciones utilizadas en la elaboración de la cerveza. Así, vemos que el amargor es una propiedad característica para cada estilo, por lo que rara se ve se ve como un defecto, sino más bien como una característica. Finalmente, cabe aclarar que las cervezas elaboradas no corresponden a ningún estilo definido por lo que no están condicionadas a ningún valor establecido de amargor.

8.4 Caracterización sensorial de cervezas artesanales de cebada y maíz rojo.

Los resultados del análisis sensorial de características como apariencia, olor, sabor y sensación en boca evaluadas por los jueces entrenados permitieron la caracterización de las cervezas de cebada y maíz rojo obtenidas, que se representan a continuación tanto en Figuras como en Tablas (Anexo 11) con la finalidad de facilitar la comparación de los resultados, así como dar a conocer la intensidad exacta de cada descriptor por muestra.

8.4.1 Perfiles de Apariencia

Sensorialmente, en los perfiles de apariencia (Figura 31), se observa que, en cervezas de maíz rojo, los atributos turbidez y brillantez presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras, obteniendo un efecto del tostado únicamente en la cerveza de maíz elaborada con malta tostada T2, que diferenció significativamente de la cerveza de maíz elaborada con malta base. En los descriptores de carbonatación y espuma no se presentó diferencia significativa entre muestras, obteniendo valores promedio, en una escala de 0 a 15, donde 0 corresponde a la ausencia de estímulo y 15 a la sensación más fuerte, lo cual indica que las cervezas de maíz contaron con buena estabilidad y cantidad de espuma. Respecto a las cervezas de cebada, los atributos turbidez, espuma y brillantez presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras, resultado esperado ya que las muestras eran totalmente diferentes, debido a las maltas utilizadas en su elaboración (base y tostada, mostradas en la Figura 30).

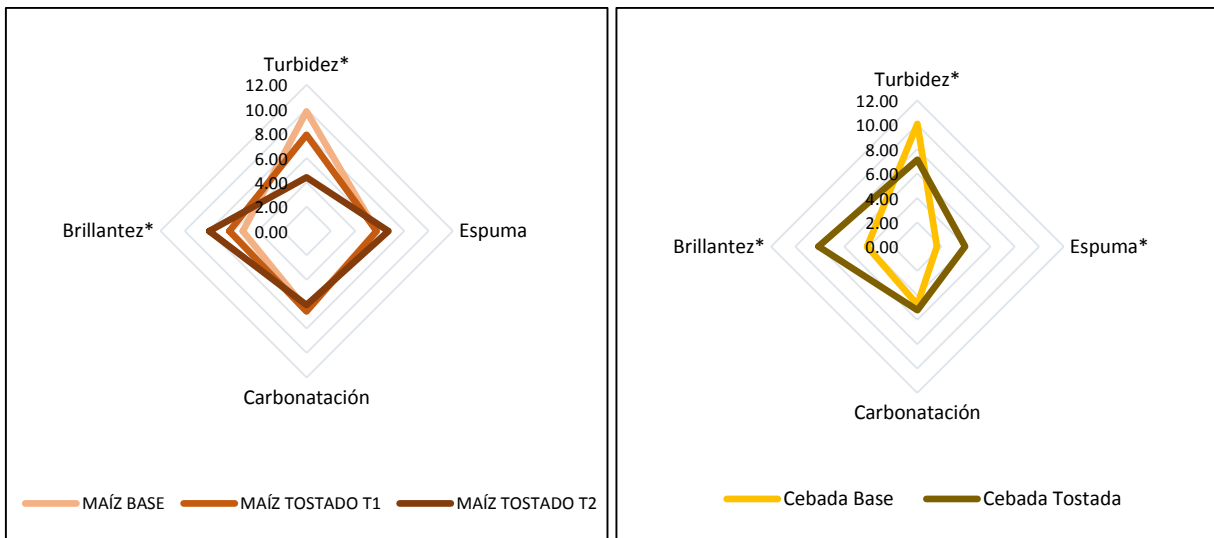


Figura 30. Perfiles de apariencia de cervezas de a) maíz rojo y b) cebada.

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

El color de las cervezas de maíz rojo se encontró en valores de SRM (Standard Reference Method) entre 17 y 19, que corresponden a un color cobrizo, mientras que la cerveza elaborada con malta de cebada base obtuvo un valor de 8 con un tono ámbar y la de cebada con malta tostada obtuvo un valor de 24 correspondiente a un color café muy oscuro (Figura 31). De acuerdo al análisis estadístico entre cervezas de maíz, se encuentra un efecto del tostado únicamente en la cerveza de maíz elaborada con malta tostada T2, que diferenció significativamente de la cerveza de maíz elaborada con malta base. Asimismo, se presenta diferencia significativa entre muestras de maíz y cebada, en estas últimas mencionadas la diferencia es notoria debido a la diferencia de maltas utilizadas. El color de las muestras de cerveza de maíz rojo es resultado de la extracción de antocianinas, de carotenoides provenientes del chile, de cromóforos provenientes de la malta tostada y de los productos de Maillard obtenidos durante la ebullición del mosto, así como de las condiciones a que se sometieron estos compuestos durante el proceso de elaboración (Flores, 2018).

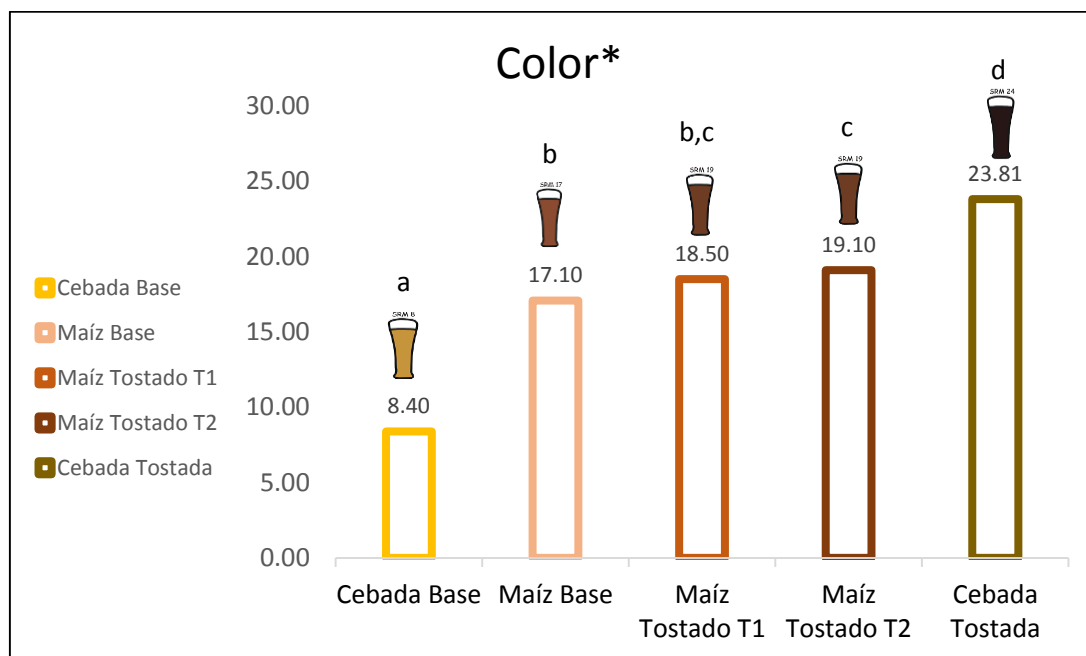


Figura 31. Valores numéricos de color de la guía de SRM obtenidos por los jueces en cervezas de a) maíz rojo y b) cebada.
 *: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las maltas.

8.4.2 Perfiles de Olor

Haciendo una comparación entre los perfiles de olor en cervezas de maíz rojo y cebada (Figura 32), se observa que alcohol obtuvo valores más altos en cervezas de cebada, lo cual concuerda con los resultados fisicoquímicos; frutos tropicales, cítrico y herbal fueron evaluados con mayores valores en cervezas elaboradas con malta base, contrario de las que cuentan con maltas tostadas en las que atributos como caramelo, café y chocolate se presentaron con mayor intensidad, esto puede deberse a que estas últimas notas escondan a las anteriores. El atributo café fue el único que presentó diferencia significativa entre cervezas de maíz rojo ($p < 0.05$) diferenciando de igual manera que en atributos de apariencia únicamente entre la cerveza con malta T2 de la elaborada con malta base; mientras que los descriptores frutos tropicales, café y chocolate fueron los que presentaron efecto en la diferenciación en cervezas de cebada.

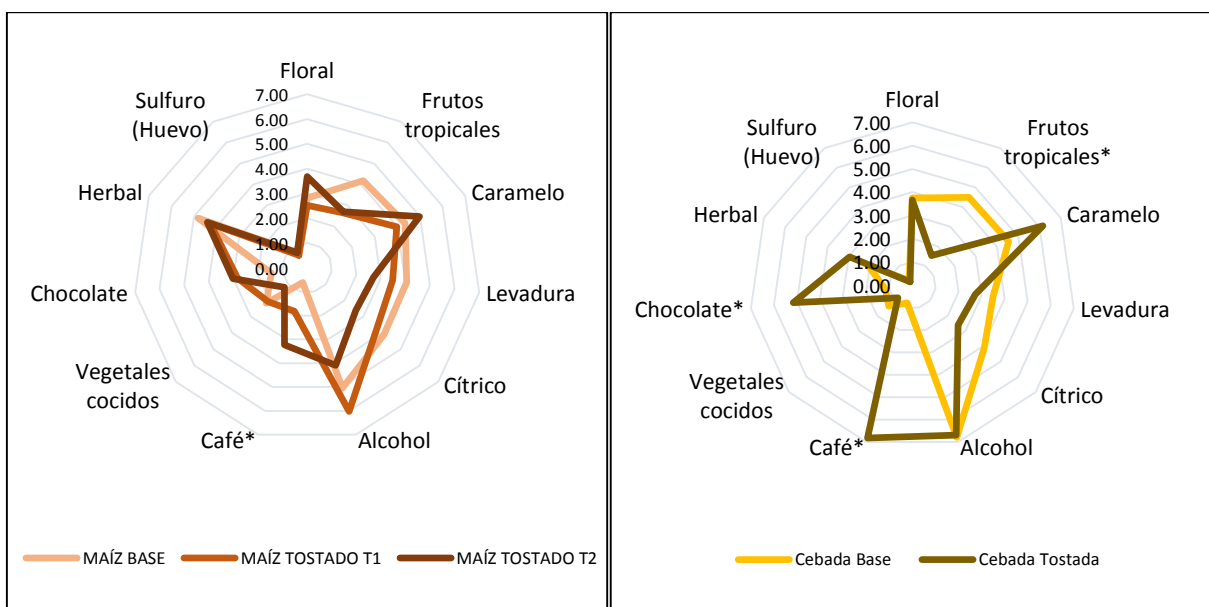


Figura 32. Perfiles de olor de las cervezas de a) maíz rojo y b) cebada.

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

8.4.3 Perfiles de Sabor

En cuanto a los perfiles de sabor (Figura 33), en ninguno de los atributos se obtuvo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre cervezas de maíz rojo, contrario de las de cebada donde tepache, café y frutos tropicales la presentaron. Se puede observar que, aunque no se presentó diferencia significativa; en amargor, las cervezas elaboradas con malta tostada obtuvieron mayores calificaciones en comparación con las de malta base. También, el atributo alcohol fue evaluado con

mayores calificaciones en cervezas de cebada en comparación con las cervezas de maíz. Además, atributos como frutos tropicales, levadura, cítrico y herbal fueron mayormente evaluados en las cervezas en que se empleó malta base, mientras que, en cervezas con maltas tostadas se presentó mayor intensidad en atributos como caramelo, café y chocolate.

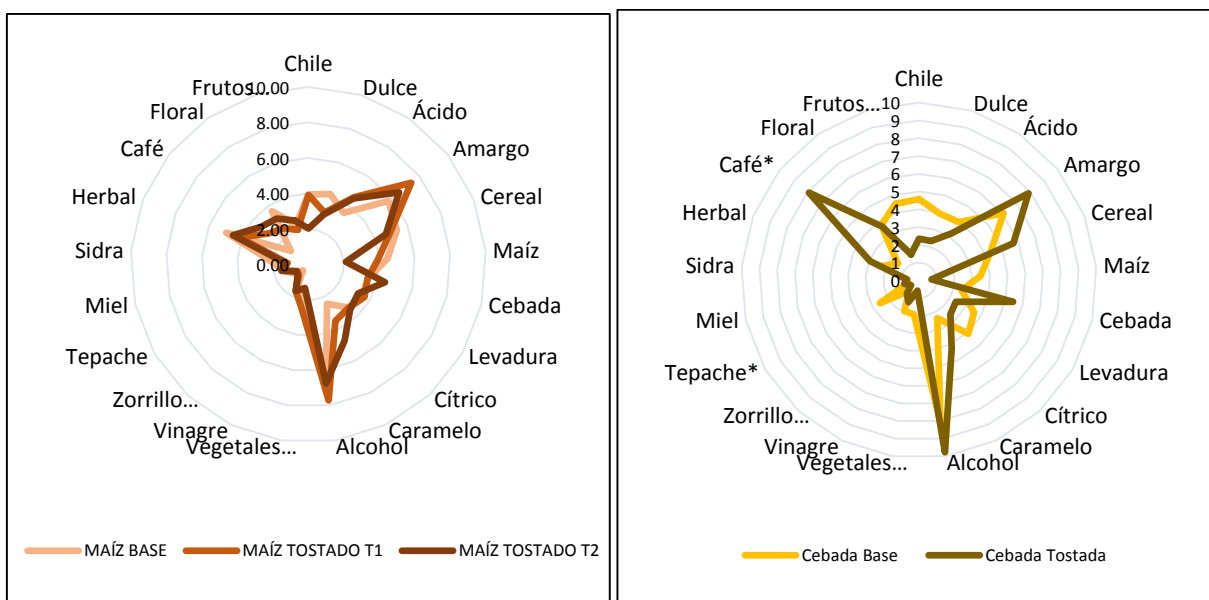


Figura 33. Perfiles de sabor de las cervezas de a) maíz rojo y b) cebada.

8.4.4 Perfiles de Sensación en boca

En los perfiles de sensación en boca (Figura 34), picante fue el único atributo que presentó diferencia significativa entre las muestras, tanto de maíz rojo como las de cebada, siendo las cervezas con mayor tratamiento térmico de tostado las que presentaron menores valores en cuanto a este atributo, lo que nos puede indicar que en cervezas elaboradas con maltas tostadas, en las cuales se presentan notas distintivas dependiendo del tostado de las maltas, la sensación picante disminuye en la percepción del juez, pudiendo ser cubierta por estas notas. Cuerpo, fue un descriptor notorio en todas las muestras, contrario de astringencia y metálico.

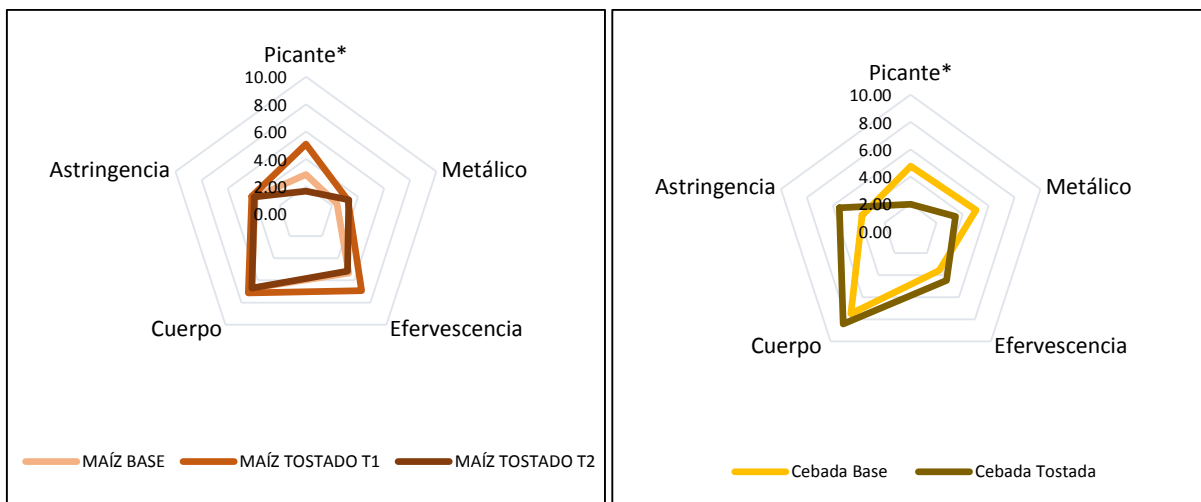


Figura 34. Perfiles de sensación en boca de las cervezas de a) maíz rojo y b) cebada.
* Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Con los resultados obtenidos en la evaluación sensorial se realizó un análisis estadístico de todas las muestras de cerveza tanto de maíz rojo como de cebada. Para cada uno de los atributos se realizó un ANOVA de los factores muestra, juez y repetición, así como de la interacción muestra-juez, con el fin de conocer la forma de evaluación del panel y los descriptores que presentan diferencia significativa al discriminar entre muestras, los resultados obtenidos se pueden observar en el Anexo 12.

De acuerdo con el análisis estadístico, se obtuvieron los atributos que tuvieron efecto en la diferenciación de las muestras, siendo espuma y color en apariencia; frutos tropicales, levadura, café y chocolate, en olor; amargo, maíz, alcohol, tepache y café, en sabor y finalmente, picante y astringencia en atributos de sensación en boca. En cuanto a los resultados de los jueces y la repetición, se obtuvo que en todos los atributos no se encontró diferencia significativa en ninguno de ellos, presentándose lo mismo en la interacción entre muestra y juez. Este análisis nos permite asegurar que se logró una buena diferenciación, así como repetibilidad en la evaluación de las muestras.

8.5 Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales (ACP) fue aplicado a los resultados de las evaluaciones de las cervezas obtenidas, para los atributos presentados en la Tabla 8. Primeramente, se realizó un ACP con los promedios obtenidos de cada una de las muestras,

con su réplica. El ACP especificó la ubicación de cada producto junto con el componente principal, permitiendo la generación de biplots o mapas que representaron la variabilidad de muestras, lo mismo que los atributos relacionados con la muestra. Los productos similares entre sí se colocan cerca uno del otro en el mapa y los diferentes se trazan aparte (Meilgard, 2007).

En la Figura 35 se puede observar que los productos fueron claramente diferenciados, y al observar la ubicación de las réplicas, éstas se encuentran cercanas una de la otra, lo que indica que los jueces al ser entrenados son discriminantes y sobre todo tienen repetibilidad en las evaluaciones realizadas, concordando los resultados del ACP con los análisis estadísticos antes mencionados.

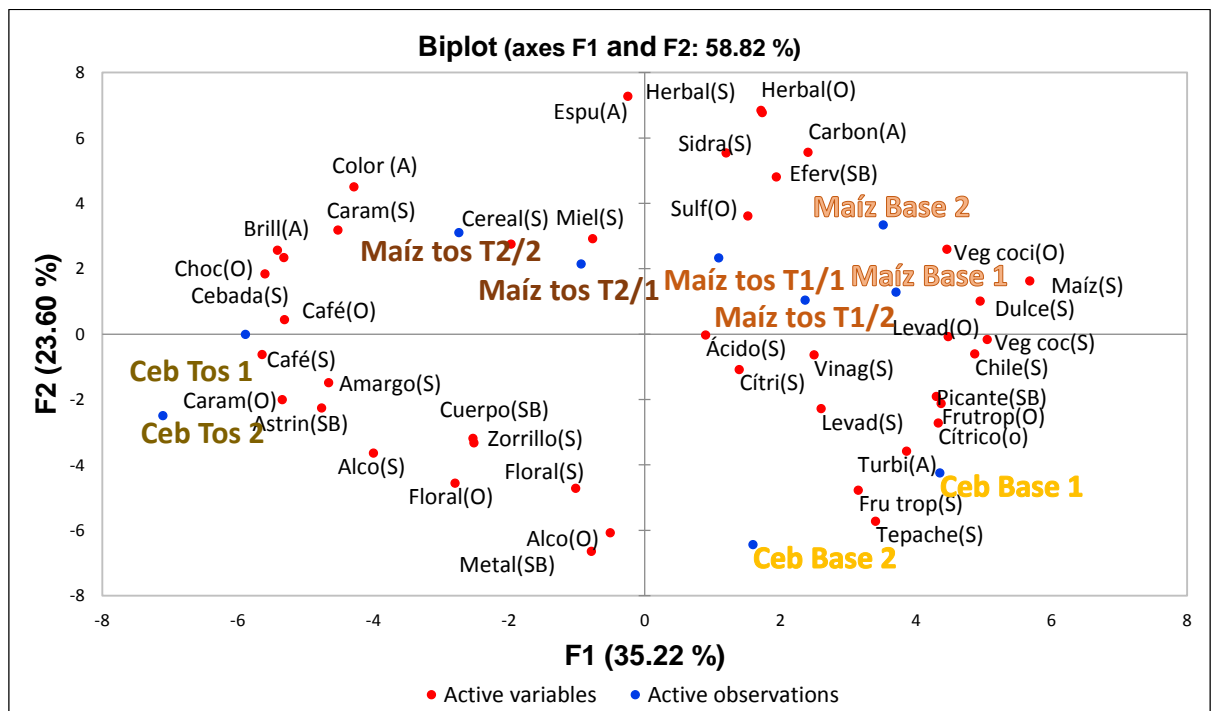


Figura 35. Distribución de las muestras y atributos de acuerdo con el ACP.

Debido a que se obtuvo repetibilidad en todas las muestras, el análisis se realizó al ACP generado a partir del promedio total de las evaluaciones, tanto de los jueces como de las réplicas, que se presenta en la Figura 36. El primer punto para interpretar es la reducción de la dimensionalidad, ya que determina la explicabilidad a partir del diagrama bidimensional y extrae las variables más importantes en la discriminación de las muestras (Escalona, 1995). Se

observa una explicabilidad alcanzada del 79.61%, acumulada del 48.46% del CP1 y 31.15% del CP2, siendo el componente uno el que explica la mayor variabilidad.

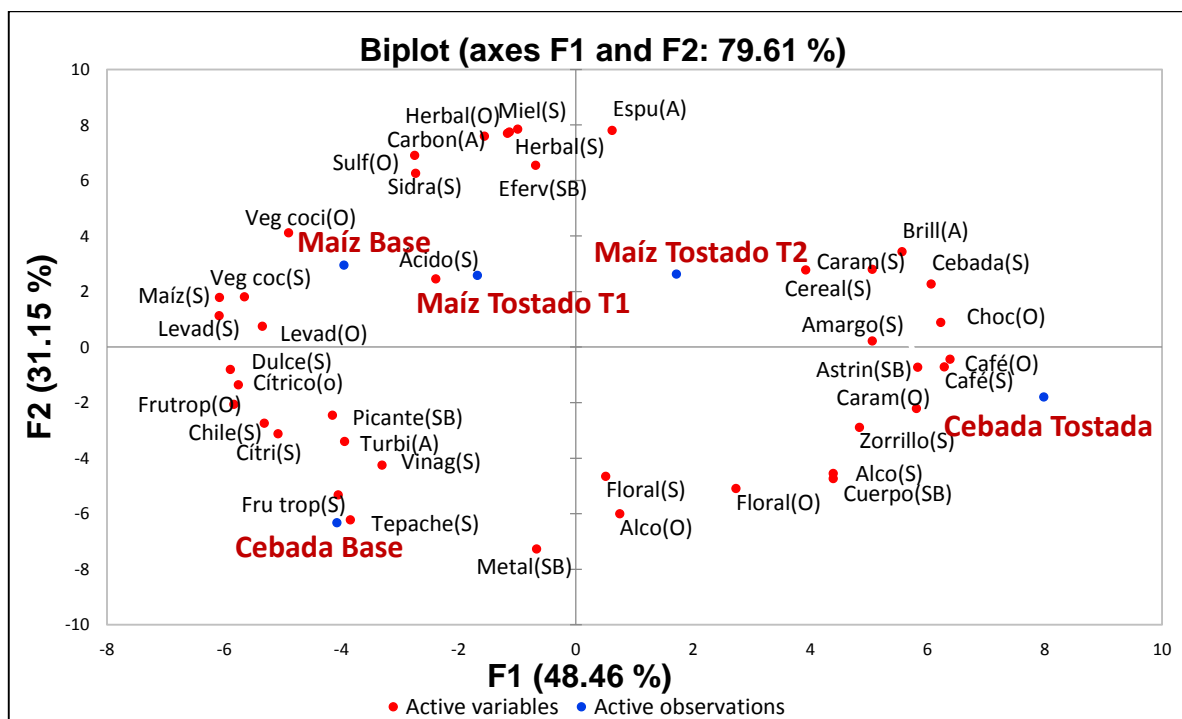


Figura 36. Distribución de las muestras y atributos de acuerdo con el ACP.

El primer CP, eje horizontal, explicó la mayor variabilidad, diferenciando entre cervezas elaboradas con malta base y malta tostada, exceptuando a la cerveza de maíz rojo tostado Tratamiento 1, ubicándose en un punto del diagrama con características muy similares a la cerveza de maíz con malta base, esto puede deberse a que la malta utilizada en la cerveza de cebada con malta tostada, era una malta muy oscura, es decir, su tratamiento de tostado fue muy fuerte por lo que obtuvo valores mayores en comparación con las cervezas de maíz, en las cuales el tratamiento térmico aplicado no fue tan intenso. En el segundo CP, eje vertical, se logró diferenciar entre cervezas de maíz rojo y cebada.

Para definir las variables (atributos) de mayor importancia en la diferenciación de las muestras se consideraron aquellas con mayor coeficiente (peso o "loading") en las funciones generadas por el ACP, es decir en cada componente principal (Tabla 12). Los resultados numéricos arrojados por el análisis de componentes principales (coeficientes, scores y eigenvalues) se muestran en el Anexo 13.

Tabla 12. Atributos más importantes en la diferenciación de las muestras de cerveza.

COMPONENTE PRINCIPAL	ATRIBUTO	COEFICIENTE POSITIVO	ATRIBUTO	COEFICIENTE NEGATIVO
PC1	Café(O)	0.997	Maíz(S)	-0.949
	Café(S)	0.982	Levad(S)	-0.949
	Choc(O)	0.973	Dulce(S)	-0.920
	Cebada(S)	0.947	Frutrop(O)	-0.911
	Astrin(SB)	0.911	Cítrico(O)	-0.898
	Caram(O)	0.908	Veg coc(S)	-0.883
	Brill(A)	0.869	Chile (S)	-0.830
PC2	Herbal(O)	0.982	Metal(SB)	-0.911
	Espu(A)	0.977	Alco(O)	-0.753
	Miel(S)	0.968	Tepache(S)	-0.780
	Herbal(S)	0.963		
	Carbon(A)	0.949		
	Eferv(SB)	0.818		

Los atributos asociados al CP1 hacia el lado positivo son características derivadas del tostado de las maltas (caramelo, café, chocolate, en olor; cebada y café en sabor y astringente para sensación en boca) posicionándose de este lado la cerveza de maíz rojo T2 y la cerveza de cebada tostada, es decir las cervezas con un tratamiento más intenso en el tostado de sus maltas, mientras que al lado negativo se encuentran características provenientes de los ingredientes utilizados en la elaboración de cerveza (frutos tropicales y cítrico para olor; dulce, maíz, levadura y vegetales cocidos en sabor), del mismo lado se posicionaron las cervezas de maíz con malta base tanto de maíz como de cebada pero también la cerveza de maíz T1.

Un segundo grupo de características importante se asociaron al CP2 hacia el lado positivo, fueron espuma y carbonatación en apariencia; herbal en olor; herbal y miel en sabor, y efervescencia para sensación en boca, mientras que al lado negativo se obtuvieron alcohol en olor, tepache en sabor y la sensación en boca metálico. Es importante resaltar que prácticamente las características discriminantes se encuentran asociadas al olor y sabor de los materiales de estudio.

Ya que el diagrama de PCA ubicó a la cerveza de maíz base y a la cerveza de maíz tostada T1 con propiedades similares, se realizó un análisis de varianza de cada uno de los atributos más importantes en la diferenciación del material de estudio de acuerdo con el PCA, esto únicamente para comparar estas cervezas. El descriptor picante fue el único en el que se encontró diferencia significativa entre la cerveza de maíz base y a la cerveza de maíz tostada

T1, un atributo que no se relaciona con el tostado de las maltas por lo que el tratamiento de tostado en la cerveza de maíz T1 no fue lo suficientemente intenso para diferenciarse de la cerveza de maíz rojo elaborada con malta base.

Finalmente, a partir del diagrama de ACP, se determinaron los atributos que caracterizaron a cada una de las cervezas, esta información se presenta en la Tabla 13 para cervezas de maíz rojo y cebada.

Tabla 13. Atributos que caracterizan a cada cerveza.

Maíz Base	Maíz tostado T1	Maíz tostado T2	Cebada Base	Cebada Tostada
<ul style="list-style-type: none"> • Maíz (S) • Levadura (S)(O) • Vegetales cocidos (S)(O) • Herbal (S)(O) • Miel (S) • Efervescente (SB) • Carbonatación (A) 	<ul style="list-style-type: none"> • Maíz (S) • Levadura (S)(O) • Vegetales cocidos (S)(O) • Herbal (S)(O) • Miel (S) • Efervescente (SB) • Carbonatación (A) • Chile (S) • Picante (SB) 	<ul style="list-style-type: none"> • Café (S)(O) • Chocolate (O) • Caramelo (S)(O) • Espuma (A) • Astringente (SB) • Herbal (S)(O) • Carbonatación (A) • Astringente (S) • Brillantez (A) 	<ul style="list-style-type: none"> • Frutos tropicales (S)(O) • Levadura (S) • Dulce (S) • Cítrico (S)(O) • Tepache (S) • Alcohol (S)(O) • Metal (SB) • Cuerpo (SB) • Chile (S) 	<ul style="list-style-type: none"> • Café (S)(O) • Chocolate (O) • Caramelo (S)(O) • Cebada (S) • Astringente (SB) • Alcohol (S)(O) • Cuerpo (SB) • Brillantez (A)

8.6 Ficha de estilo de cervezas



Cerveza de maíz con malta base

- **Fermentación:** Ale
- **Contenido Alcohólico:** 5.02% Alc. Vol.
- **Apariencia:** Carbonatación.
- **Olor:** Levadura, vegetales cocidos, herbal.
- **Sabor:** Maíz, levadura, vegetales cocidos, herbal, miel, chile.
- **Sensación en boca:** Efervescente.
- **SRM:** 17
- **Amargor:** 30.55 IBU's



Cerveza de maíz con malta tostada (Tratamiento 1)

- **Fermentación:** Ale
- **Contenido Alcohólico:** 5.22% Alc. Vol.
- **Apariencia:** Carbonatación.
- **Olor:** Levadura, vegetales cocidos, herbal.
- **Sabor:** Levadura, vegetales cocidos, herbal, chile.
- **Sensación en boca:** Efervescente.
- **SRM:** 18
- **Amargor:** 30.65 IBU's



Cerveza de maíz con malta tostada (Tratamiento 2)

- **Fermentación:** Ale
- **Contenido Alcohólico:** 4.48% Alc. Vol.
- **Apariencia:** Carbonatación, brillantez.
- **Olor:** Café, chocolate, caramelo, herbal.
- **Sabor:** Café, caramelo, herbal.
- **Sensación en boca:** Astringente.
- **SRM:** 19
- **Amargor:** 29.35 IBU's



Cerveza de cebada con malta base

- **Fermentación:** Ale
- **Contenido Alcohólico:** 6.96% Alc. Vol.
- **Apariencia:** Turbidez.
- **Olor:** Frutos tropicales, cítrico, alcohol.
- **Sabor:** Frutos tropicales, levadura, dulce, cítrico, tepache, alcohol, chile.
- **Sensación en boca:** Metálico, cuerpo.
- **SRM:** 8
- **Amargor:** 27.85 IBU's



Cerveza de cebada con malta tostada

- **Fermentación:** Ale
- **Contenido Alcohólico:** 6.4% Alc. Vol.
- **Apariencia:** Brillantez.
- **Olor:** Café, chocolate, caramelo, alcohol.
- **Sabor:** Café, caramelo, cebada, alcohol.
- **Sensación en boca:** Cuerpo, astringente.
- **SRM:** 24
- **Amargor:** 29.55 IBU's

8.7 Identificación de compuestos volátiles en maltas

Mediante el análisis cromatográfico de los compuestos volátiles en las cinco muestras de malta, se identificaron 19 compuestos que comprenden aldehídos, alcoholes, cetonas, furanos, pirazinas y pirroles, los cuales se presentan en la Tabla 14, con sus tiempos de retención y área de los picos identificados en cada malta. Los cromatogramas correspondientes se presentan en el Anexo 14.

Tabla 14. Compuestos identificados en maltas por cromatografía de gases.

Tr	Compuesto	Área (pA*S)				
		Maíz Base	Maíz Tostado1	Maíz Tostado2	Cebada Base	Cebada Tostada
2.240	2-metil-furano	7.26	3.56	3.22	5.84	0.00
2.585	3-metil-butanal	25.60	5.84	9.33	6.10	0.00
2.843	2-metil-butanal	0.00	48.14	42.02	0.00	50.40
3.820	2-vinil-furano	3.93	161.01	197.52	25.86	98.28
4.664	Pirrol	0.00	3.97	9.42	0.00	20.18
5.774	2-hexanona	0.00	0.00	0.00	0.00	10.40
6.742	1-etil-pirrol	0.00	0.00	0.00	0.00	19.41
7.568	Furfural	33.40	14.41	13.53	33.46	234.92
8.492	1H-pirrol, 1-metil	0.00	5.07	4.05	0.00	0.00
9.070	2-furan-metanol	0.00	105.71	209.22	0.00	1759.28
10.514	Estireno	0.00	0.00	6.14	0.00	10.14
13.390	2-metil-3-octanona	0.00	12.03	14.90	0.00	45.29
15.408	3-etil-2,4-dimetil-1H-Pirrol	0.00	53.28	122.30	0.00	916.85
15.654	2-etil-6-metil-pirazina	0.00	0.00	0.00	0.00	80.25
18.572	2-acetil-pirrol	5.77	72.52	31.23	34.47	29.91
18.768	2-etil-3,6-dimetil-pirazina	0.00	13.70	4.66	0.00	0.00
20.646	2-isobutil-3-metil-pirazina	0.00	5.68	4.60	0.00	18.56
22.211	1-furfuril-pirrol	0.00	0.00	3.10	0.00	5.77
23.358	3-fenil-furano	0.00	0.00	0.00	0.00	23.56

Los ácidos grasos poliinsaturados presentes en el cereal engendran la oxidación de lípidos para producir alto nivel de aldehídos, que son los responsables de las notas frescas y ligeramente verdes, en base a los atributos sensoriales de la malta. Los compuestos de cetona son formados por la oxidación de los lípidos. Los alcoholes también se asocian a la oxidación de lípidos, estos compuestos volátiles se pueden considerar como compuestos activos potenciales de aroma. En

general, la oxidación de lípidos se asocia a aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos orgánicos, sin embargo, la peroxidación de lípidos produce compuestos de furano (Dong, 2013).

La producción de pirazinas es a través de la condensación de compuestos amino-carbonilos formados en la degradación de Strecker, pirroles se pueden formar térmicamente a través de una serie de mecanismos, incluyendo la pirólisis directa del aminoácido serina, la reacción de amoníaco con furano o con una 3-desoxihexosona. En otro mecanismo, el acetaldehído y aminoacetaldehído reaccionan vía condensación aldólica para formar pirrol con la pérdida de 2 moléculas de agua. El furfural se forma en la reacción de Maillard de pentosas vía la deshidratación de un precursor cíclico formado del 3-desoxiosona. También puede formarse directamente a partir de la pirólisis de glucosa. (Weenen *et al.*, 1994; Finot *et al.*, 1990; Yaylayan y Keyhani, 2001; Paine III *et al.* 2008, son citados por Flores, 2018).

Los resultados del área de pico relativa de los compuestos volátiles de cada muestra se utilizaron para realizar un análisis de datos multivariante para cada malta, basado en el análisis de componentes principales (ACP), con el cual se puede visualizar la manera como se relacionan los compuestos volátiles identificados con cada una de las maltas analizadas (Figura 37).

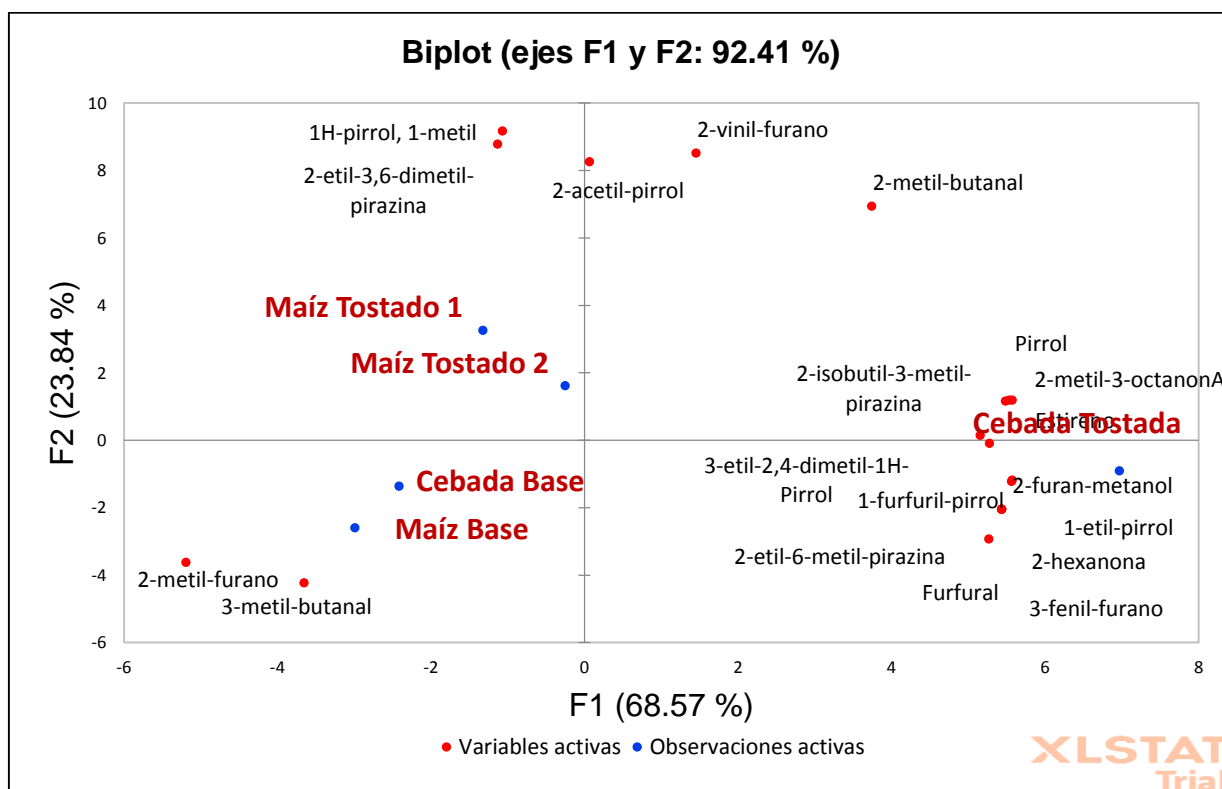


Figura 37. Distribución de las maltas y compuestos de acuerdo al ACP.

En el gráfico de PCA, se observa una explicabilidad alcanzada del 92.41%, acumulada del 68.57% del CP1 y 23.84% del CP2, siendo el componente uno el que explica la mayor variabilidad. El primer componente diferenció entre la cerveza de cebada con malta tostada del resto, ya que su tratamiento de tostado fue muy intenso en comparación al resto de las maltas. El segundo CP, eje vertical, logró diferenciar entre cervezas de maíz rojos tostado de las cervezas en las que se empleó maltas base.

Para definir los compuestos de mayor importancia en la diferenciación de las muestras se consideraron aquellas con mayor coeficiente (peso o "loading") en las funciones generadas por el ACP, es decir, en cada componente principal (Tabla 15). Los resultados numéricos arrojados por el análisis de componentes principales (coeficientes, scores y eigenvalues) se muestran en el Anexo 15.

Tabla 15. Compuestos más importantes en la diferenciación de las maltas.

Componente Principal	Compuesto	Coefficiente
CP1 (Positivo)	3-etil-2,4-dimetil-1H-Pirrol	0.990
	2-metil-3-octanona	0.989
	2-furan-metanol	0.988
	2-isobutil-3-metil-pirazina	0.983
	Pirrol	0.974
	2-hexanona	0.966
	1-etil-pirrol	0.966
	2-etil-6-metil-pirazina	0.966
	3-fenil-furano	0.966
	1-furfuril-pirrol	0.937
	Furfural	0.936
	Estireno	0.916
	2-metil-butanal	0.665
	CP1 (Negativo)	2-metil-furano
3-metil-butanal		-0.648
CP2 (Positivo)	1H-pirrol, 1-metil	0.690
	2-etil-3,6-dimetil-pirazina	0.919
	2-vinil-furano	0.891
	2-acetil-pirrol	0.864

Los compuestos asociados al CP1 hacia el lado positivo fueron principalmente compuestos que se forman durante el tostado de las maltas como son: 3-etil-2,4-dimetil-1H-Pirrol, 2-metil-3-octanona, 2-furan-metanol, 2-isobutil-3-metil-pirazina, pirrol, estireno y 2-metil-butanal, compuestos que se presentaron únicamente en las maltas tostadas tanto de maíz como de cebada;

2-hexanona, 1-etil-pirrol, 2-etil-6-metil-pirazina y 3-fenil-furano, compuestos que se presentaron únicamente en la malta de cebada, es decir, que se formaron en condiciones de tostado superiores a 170°C; 1-furfuril-pirrol identificado en malta de maíz T2 y malta de cebada, es decir, que en la malta de maíz T1 aún no se presentaron las condiciones para la formación de este compuesto y finalmente, furfural que se identificó en todas las maltas, pero el área de su pico fue incrementando considerablemente conforme aumentó el tostado. Hacia el lado negativo del componente 1 se identificaron 2-metil-furano y 2-metil-butanal que obtuvieron picos mayores en las maltas base y que fue decreciendo o desapareciendo conforme aumento el tostado.

En el lado positivo del CP2 se identificaron 1H-pirrol,1-metil, 2-etil-3,6-dimetil-pirazina, 2-vinil-furano y 2-acetil-pirrol, compuestos presentes únicamente en las maltas tostadas de maíz rojo, es decir, que se formaron durante el tostado, pero a condiciones altas de tostado como la malta de cebada tostada ya no se presentaron.

Finalmente, a partir del diagrama de ACP, se determinaron los compuestos volátiles que caracterizaron a cada una de las maltas (Tabla 16), cabe mencionar que no quiere decir que solo esos compuestos fueron identificados para cierta malta, más bien se identificaron tentativamente en mayor proporción en dicha muestra.

Tabla 16. Compuestos volátiles que caracterizan a cada malta.

Maíz Base	Maíz tostado T1	Maíz tostado T2	Cebada Base	Cebada Tostada
<ul style="list-style-type: none"> •2-metil-furano •3-metil-butanal 	<ul style="list-style-type: none"> •1H-pirrol,1-metil •2-etil-3,6-dimetil-pirazina •2-vinil-furano •2-acetil-pirrol •3-etil-2,4-dimetil-1H-Pirrol •2-metil-3-octanona •2-furan-metanol •2-isobutil-3-metil-pirazina •Pirrol •2-metil-butanal •Furfural 	<ul style="list-style-type: none"> •1H-pirrol,1-metil •2-etil-3,6-dimetil-pirazina •2-vinil-furano •2-acetil-pirrol •3-etil-2,4-dimetil-1H-Pirrol •2-metil-3-octanona •2-furan-metanol •2-isobutil-3-metil-pirazina •Pirrol •2-metil-butanal •1-furfuril-pirrol •Furfural •Estireno 	<ul style="list-style-type: none"> •2-metil-furano •3-metil-butanal 	<ul style="list-style-type: none"> •3-etil-2,4-dimetil-1H-Pirrol •2-metil-3-octanona •2-furan-metanol •2-isobutil-3-metil-pirazina •Pirrol •2-hexanona •1-etil-pirrol •2-etil-6-metil-pirazina •3-fenil-furano •1-furfuril-pirrol •Furfural •Estireno •2-metil-butanal

8.8 Identificación de compuestos volátiles en cervezas

Mediante el análisis cromatográfico de los compuestos volátiles de las cervezas obtenidas, se identificaron 14 compuestos, principalmente alcoholes y ésteres, los cuales se presentan en la Tabla 17 con sus correspondientes tiempos de retención y área de picos identificados en cada muestra. Los cromatogramas se presentan en el Anexo 16.

Tabla 17. Compuestos identificados en maltas por cromatografía de gases.

Tr	Compuesto	Área (pA*S)				
		Maíz Base	Maíz Tostado 1	Maíz Tostado 2	Cebada Base	Cebada Tostada
2.53	Etanol	15994.00	21555.00	5281.01	14122.30	9069.58
3.213	1-propanol	47.73	0.00	47.52	69.86	65.36
3.325	Acetato de etilo	215.66	63.53	142.41	271.64	212.54
4.3	2-metil-1-propanol	5.32	3.66	3.79	4.71	0.00
5.152	Alcohol isoamílico	792.67	1032.50	664.27	855.57	602.43
5.64	Isobutirato de etilo	0.00	0.00	0.00	2.42	1.95
5.867	Alcohol amílico	228.13	264.02	182.34	457.10	350.99
9.915	Acetato de isoamilo	209.14	358.01	486.46	51.52	272.40
9.316	Estireno	0.00	0.00	91.97	0.00	89.93
12.91	Hexanoato de etilo	53.12	43.25	44.39	60.26	82.18
16.3	2-fenil etanol	793.27	482.32	756.51	417.12	628.89
18.672	Octanoato de etilo	86.97	96.82	64.70	121.64	157.10
20.364	Decanoato de etilo	96.56	110.33	149.48	146.58	210.57
23.936	Dodecanoato de etilo	26.76	35.45	7.70	14.70	9.67

Los compuestos volátiles de la cerveza que son responsables de los aromas y sabores pertenecen principalmente a grupos de ésteres, alcoholes, aldehídos y ácidos, entre otros. De los compuestos identificados, etanol, que fue encontrado en todas las muestras es el compuesto que presenta mayores áreas de picos en comparación con los demás compuestos; alcoholes superiores como 1-propanol, 2-metil-1-propanol, 3-metil-1-butanol (alcohol isoamílico), 2-metil-1-butanol (alcohol amílico) y 2-fenil etanol fueron identificados, estos alcoholes se derivan del metabolismo de azúcar y aminoácidos en la fermentación alcohólica y comúnmente se encuentran en vino o cerveza. También fueron identificados ésteres, que son los compuestos responsables del aroma afrutado y su concentración depende de la cepa de levadura utilizada, aunque la presencia de ésteres es mínima, su olor y umbrales de aroma son bajos, por lo que son los contribuyentes más importantes a los aromas y sabores de la cerveza; los ésteres identificados fueron, acetato de isoamilo, compuesto característico producido por la levadura durante el metabolismo del azúcar, y ésteres etílicos como, acetato, isobutirato, hexanoato,

octanoato, decanoato y dodecanoato de etilo, derivados de la reacción de ácidos orgánicos con etanol y finalmente, fue identificado en algunas de las cervezas con malta tostada el hidrocarburo aromático, estireno (Coehlo, 2019; González, 2019).

De igual manera que en maltas, con la intención de visualizar la relación entre los compuestos volátiles identificados con cada cerveza analizada, se analizaron los datos obtenidos empleando el Análisis de Componentes Principales. En la Figura 38, se observa una explicabilidad alcanzada del 80.30%, acumulada del 49.08% del CP1 y 31.23% del CP2.

El primer componente principal diferenció las cervezas de maíz de las de cebada. El segundo, logró diferenciar entre cervezas con malta base de las que se elaboraron con malta cebada, exceptuando a la cerveza elaborada con malta tostada T1, del mismo modo que en la evaluación sensorial, en donde no se encontró diferencia significativa entre la última mencionada y la de malta base.

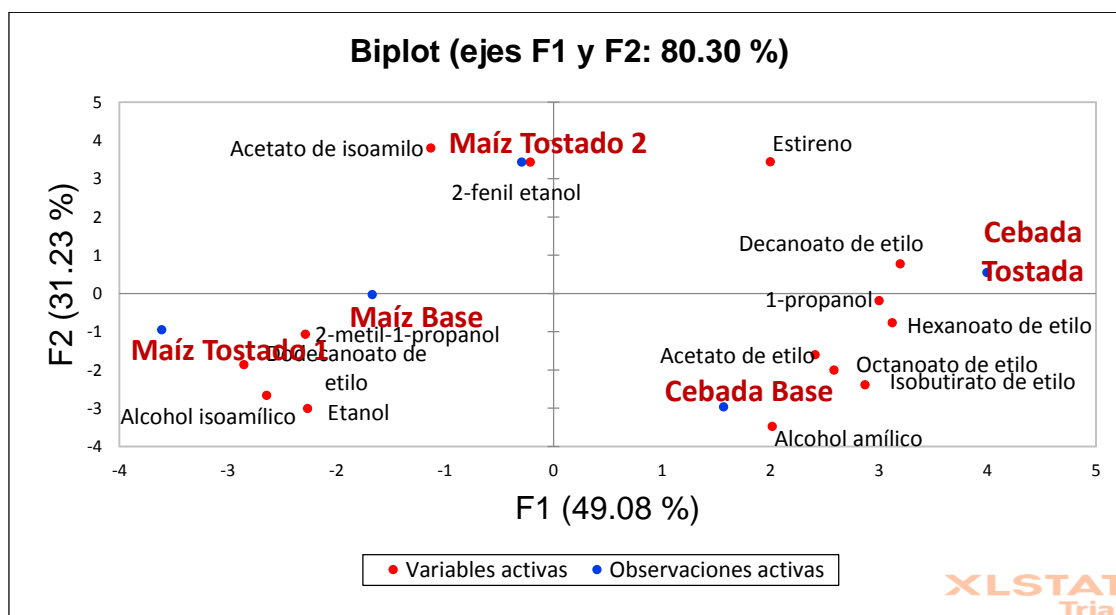


Figura 38. Distribución de las cervezas y compuestos de acuerdo al ACP.

Para definir los compuestos de mayor importancia en la diferenciación de las muestras se consideraron aquellas con mayor coeficiente (peso o "loading") en las funciones generadas por el ACP, es decir en cada componente principal (Tabla 18). Los resultados numéricos (coeficientes, scores y eigenvalues) se muestran en el Anexo 17.

Tabla 18. Compuestos más importantes en la diferenciación de las cervezas.

	Compuesto	Coefficiente Positivo	Compuesto	Coefficiente Negativo
CP1	Decanoato de etilo	0.911	Dodecanoato de etilo	-0.813
	Hexanoato de etilo	0.890	Alcohol isoamílico	-0.753
	1-propanol	0.855	2-metil-1-propanol	-0.651
	Isobutirato de etilo	0.819		
	Octanoato de etilo	0.737		
	Acetato de etilo	0.687		
CP2	Acetato de isoamilo	0.863	Alcohol amílico	-0.792
	Estireno	0.782	Etanol	-0.685
	2-fenil etanol	0.780		

Los compuestos asociados al CP1 hacia el lado positivo son: decanoato de etilo, hexanoato de etilo, 1-propanol, isobutirato de etilo, octanoato de etilo y acetato de etilo, asociándose a las cervezas de cebada. Del lado negativo del CP1 se asociaron dodecanoato de etilo, alcohol isoamílico y 2-metil-1-propanol, junto con las cervezas de maíz.

Respecto al segundo componente, acetato de isoamilo, estireno y 2-fenil etanol, fueron los compuestos asociados del lado positivo, posicionándose de este lado la cerveza de maíz T2 y la cerveza de cebada. Del lado negativo se asociaron alcohol amílico y etanol con las cervezas elaboradas con malta base, así como la de maíz T1.

Como se puede observar en la Tabla 17, muchos de los compuestos identificados, principalmente ésteres etílicos, obtuvieron mayores áreas en cervezas de cebada en comparación con las de maíz, lo cual deriva en la principal discriminación del ACP, esto concuerda con lo reportado por Romero, en 2013, quién obtuvo varios compuestos con mayores concentraciones de compuestos volátiles en cervezas de cebada en comparación con las de maíz, esto puede ser atribuido a que las concentraciones de compuestos volátiles entre una cerveza y otra son muy variables, mientras más favorables sean las condiciones para el desarrollo de la levadura en el mosto durante la fermentación, mayor rendimiento de estos compuestos resultará en la cerveza. Un pequeño cambio en las condiciones puede variar de gran manera tanto la presencia como la concentración del compuesto. Otra posible explicación pudiera estar referida al metabolismo de la levadura en la cerveza de maíz, ya que no se puede dejar de lado que la levadura empleada ha sido desarrollada para su crecimiento en mostos de cebada.

9. Conclusiones

- Se confirma la hipótesis planteada ya que variaciones en las condiciones del tostado de maltas de maíz rojo, dieron lugar a la modificación de la composición volátil, viéndose reflejado en las propiedades sensoriales del producto final.
- Respecto a los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la cerveza madura, únicamente el porcentaje de alcohol fue afectado en las diferentes formulaciones, siendo mayor en cervezas de cebada en comparación con las de maíz, así como valores ligeramente mayores en cervezas elaboradas con malta base en comparación de las elaboradas con malta tostada.
- Los cambios en los parámetros de color mostraron el efecto del tostado sobre los diferentes tratamientos de maltas (debido a la degradación de antocianinas y la formación de melanoidinas), así como de las cervezas analizadas.
- La evaluación sensorial permitió la caracterización de las cervezas, logrando diferenciar entre cervezas de maíz y cebada. Asimismo, se obtuvieron características distintivas en la cerveza de maíz con malta tostada T2, en el cual se aplicó un tiempo de tostado de 60 minutos, y en la de cebada tostada, a las que se aplicó un mayor tratamiento térmico durante el tostado.
- Mediante Cromatografía de Gases se identificaron 19 compuestos volátiles en las maltas, entre los que se encuentran compuestos provenientes de las reacciones de Maillard como furanos, pirroles y pirazinas. De acuerdo con las condiciones de tostado, diferentes compuestos se formaron en las maltas, siendo la malta de cebada tostada la que presentó la mayor cantidad.
- Fueron identificados 14 compuestos en cervezas, (ésteres y alcoholes principalmente), que no aportan información acerca del efecto del tostado; sin embargo, el ACP permitió diferenciar entre cervezas de maíz y cebada, así como de las elaboradas con maltas base y maltas tostadas con mayor tratamiento térmico.

10. Perspectivas

- La identificación de los principales compuestos volátiles que se forman durante el tostado de maltas en el producto final no se determinó en esta investigación, este estudio se propone para trabajos posteriores. Además, la cerveza de maíz es una bebida con características particulares, será de gran importancia identificar los compuestos que la caractericen.
- El maíz rojo, puede ser tratado con diferentes y mayores condiciones de tostado para la obtención de maltas distintas, favoreciendo la complejidad de estilos y sabores, y el uso de combinaciones de maltas para dar distintas notas al producto.
- Finalmente, un estudio de consumidores permitirá conocer las necesidades, gustos, preferencias, deseos, hábitos de consumo, comportamientos de compra y demás características con la intención de mejorar el producto. Esta información permitirá tomar decisiones y diseñar las estrategias que mejor satisfagan las necesidades del consumidor.

11. Referencias Bibliográficas

- American Society of Brewing Chemists (ASBC-2009). Methods of Analysis. Wort-11 and Beer-12B, Reducing sugars: Copper reducing substances-Lane-Eynon volumetric method. The Society, St. Paul. Minnesota.
- American Society of Brewing Chemists (ASBC-2009). Methods of Analysis. Beer-4B, Alcohol: Beer and distillate measured gravimetrically. The Society, St. Paul. Minnesota.
- American Society of Brewing Chemists (ASBC-2009). Methods of Analysis. Wort-7 and Beer-8, Total acidity. The Society, St. Paul. Minnesota.
- American Society of Brewing Chemists (ASBC-2009). Methods of Analysis. Beer-23A, Beer bitterness (Bitterness units – International method). The Society, St. Paul. Minnesota.
- Bamforth C. (2001). pH in brewing: an overview. *MBAA Technical Quarterly*, 38(1), 1–9.
- Bamforth C. (2006). *Brewing. New technologies*. Woodhead Publishing Limited. Inglaterra.
- Benítez, C. y Pfeiffer H. (2006) El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados*, 2006, Núm. 7, 15-20.
- Bredie W. y Moller P. (2012). Chapter 1. Overview of sensory perception. *Beer: production, sensory characteristics and sensory analysis., Alcoholic beverages. Sensory evaluation and Consumer reseacher., The University of Copenhagen, Denmark*; 4-21.
- BJCP (2018). Beer Judge Certification Program. Accedido el 18 de marzo de 2019, desde: <http://www.bjcp.org/colorguide.php>
- CIMA (2019). Reporte del mercado de maíz. Accedido el 11 de septiembre, 2019, desde: https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2019/Reporte_mercado_maiz_070819.pdf
- Coghe, S., Gheeraert, B., Michiels, A., y Delvaux, F.R. (2006) Development of Maillard reaction related characteristics during malt roasting, *Journal of the Institute of Brewing*, 112 (2): 148-156.

- Coghe S., Martens E., D'Hollander H., Patrick J. Dirinck P. y Delvaux F. (2004). Sensory and Instrumental Flavour Analysis of Wort Brewed with Dark Specialty Malts, *Journal of the institute of brewing*, 110(2); 94–103.
- Delarue J. y Sieffermann J. (2004). Sensory mapping using Flash Profile. Comparison with a convectional descriptive method for the evaluation of the flavour of fruit dairy products. *Food Quality and Preference*, 15; 383-392.
- Coelho E., Magalhães J., Pereira F., Macieira F. y Oliveira J. (2019). Volatile fingerprinting differentiates diverse-aged craft beers. *LWT - Food Science and Technology*; 108, 129-136.
- Dong L., Zhang X., Zhao Y. y Hou Y Shi Z. (2013). Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC–MS. *Food Research International*, 51; 783-789.
- Elgaard L., Mielby L., Heymann H. (†), y Byrne D.(†). (2019) Effect of Product Involvement on Panels' Vocabulary Generation, Attribute Identification, and Sample Configurations in Beer. *Foods* 2019, 8, 488; doi:10.3390/foods8100488.
- Escalona-Buendía, H. B. (1995). Tesis para obtener el grado de maestro en Biotecnología. Evaluación estadística de metodologías para pruebas sensoriales a través de estudios de caso. México D.F. Posgrado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
- Espinosa E., Mendoza M. y Castillo F. (2006). Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 29, núm. Es2, septiembre, 2006, pp. 19-23. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C., Chapingo, México.
- Estarrón M., Montoya M., López J., Pérez F., Arellano M. y Villafaña J. (2017). Microextracción en fase sólida aplicada en la caracterización del perfil volátil en cerveza. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2; 595-596.
- FAO (2019). Situación alimentaria mundial. Accedido el 11 de septiembre, 2019, desde: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>

- Fix G. (1999). Principles of Brewing Science. A Study of Serious Brewing Issues. Brewers Publications. Segunda Edición. Estados Unidos de América.
- Flores-Calderón, A. M. D. (2018). Tesis para obtener el grado de Doctora en Biotecnología. Influencia del proceso de elaboración de la cerveza artesanal de maíz azul en compuestos que le dan sabor y color. Posgrado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
- García M., Quintero R. y López A. (2009). Biotecnología alimentaria, México, Limusa; 263-287.
- García-Barrón, S. E. (2012). Efecto de la región de procedencia del agave y las condiciones de fermentación sobre el perfil aromático de mezcal. Tesis de Maestría en Procesos Agroindustriales, México.
- Gómez-Linton D. R. (2015). Tesis para obtener el grado de Maestría en Biotecnología. “Elaboración y caracterización fisicoquímica y sensorial de cervezas artesanales elaboradas con maíz rojo”. Posgrado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
- Gonzalez C., Fuentes S., Torrico D., Godbole A. y Dunshea F. (2019). Chemical characterization of aromas in beer and their effect on consumers liking. University of Melbourne, School of Agriculture and Food, Faculty of Veterinary and Agricultural Sciences, VIC 3010, Australia. Food Chemistry; 293, 479-485.
- Gruber M. (2001). The flavor contributions of kilned and roasted products to finished beer styles, Technical Quarterly, 38; 227-233.
- Hardwick W. (1995). Handbook of Brewing. Marcel Dekker, Inc. Estados Unidos de América; 185, 566-578.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 28(3): 718-726.
- Hernández-Rodríguez, O. (1998). Temas de análisis estadístico multivariado. Ed de la Universidad de Costa Rica; 9-14.

- Hough J. (1990). *Biología de la cerveza y la malta*. Editorial Acribia, España; 6-69.
- Hughes P., y Baxter E. (2001). *Beer: Quality, Safety and Nutritional Aspects*. Cambridge; 1,26.
- Jousse, F., Jongen, T., Agerof, W., Russel, S., y Braat, P. (2002) Simplified kinetic scheme of flavour formation by the Maillard Reaction, *Journal of Food Science*, 67 (7); 2534-2542.
- Kobayashi M., Shimizu H. y Shioya S., (2008), Beer volatile compounds and their application to low-malt beer fermentation, *Journal of bioscience and bioengineering*; 106 (4), 317-323.
- Kreis, S. (2007) Malting in *Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets*. Eßlinger, M. (ed.), Freiberg. Capítulo 6, p. 150, 152, 155, 163.
- Krottenthaler, M., Back, W., y Zarkow, M. (2007) Wort Production in *Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets*. Eßlinger, M. (ed.), Freiberg. Capítulo 7, p. 165, 168-171, 186, 187, 207.
- Lafontaineand S. y Shellhammer T. (2018). Impact of static dry-hopping rate on the sensory and analytical profiles of beer. *J. Inst. Brew*; 124:434-442.
- Lawless H. y Heymann H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2nd ed.). New York, NY: Springer; 228.
- Martens H. y Martens M. (2012). Chapter 4. Sensory methods for product development and their application in the alcoholic beverage industry, *Alcoholic beverages. Sensory evaluation and Consumer researcher*; 67-78.
- Medina K., Boido E., Farina L., Ares G., Dellacassa E., y Carrau F. (2019) Impact on Tannat wines aroma produced by different yeast using three vinification. *BIO Web of Conferences* 12, 02007. 41st World Congress of Vine and Wine. Accedido el 11 de Octubre, 2019, desde: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2019/01/bioconf-oiv2018_02007/bioconf-oiv2018_02007.html


- Meilgaard M., Civille G., y Carr B. (2007). *Sensory Evaluation Techniques*. Boca Raton, FL: CRC Press; 4a, 173-180.
- Meilgaard M. (1982). Prediction of Flavor Differences between Beers from their Chemical Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 30, 1009-1017.
- Mencia G. y Pérez R. (2016). *Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (Zea mays), cebada Hordeum vulgare), carbonatada con azúcar y miel de abeja*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Mendoza G., Mendoza M., Delgado A., Castillo F., Kato T. y Cruz F. (2017). Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado total. *Rev. Fitotec. Mex.*; 40(4), 471-479.
- Monteleone E. (2012). Chapter 4. Sensory methods for product development and their application in the alcoholic beverage industry., *Alcoholic beverages. Sensory evaluation and Consumer reseacher.*; 67-78.
- Murray J., Delahunty C. y Baxter I. (2001). Descriptive Sensory Analysis: Past Present and Future. *Food Research International*; 34, 461-471.
- Naez T., Brockhoff P. y Tomic O. (2012). Chapter 4. Sensory methods for product development and their application in the alcoholic beverage industry., *Alcoholic beverages. Sensory evaluation and Consumer researcher*; 67-78.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-199-SCFI-2017. *Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba*. Accedido el 12 de septiembre, 2019, desde:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017
- Parker D. (2012). Chapter 6. Beer: production, sensory characteristics and sensory analysis., *Alcoholic beverages. Sensory evaluation and Consumer researcher*; 133-156.
- Popescu V., Soceanu A., Dobrinas S. y Stanciu G. (2013). A study of beer bitterness loss during the various stages of the Romanian beer, *Journal of the Institute of Brewing*; 119,111–115.

- Priest F. y Stewart G. (2006). Handbook of Brewing. Second edition. CRC Press Taylor & Francis Group. Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Ratón, FL 334872742; 41-80.
- Ramírez-Romero, G., Moran-Bañuelos, H., Rico-Molina, D. y Jiménez-Pérez, C. (2018). Folleto impreso con financiamiento de SNICS-SINAREFI. Potencial nutracéutico de los maíces pigmentados. Accedido el 24 de febrero del 2018 desde: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241208/FOLLETO_UAM-MAIZ.pdf
- Romero-Medina, M. A. (2013). Tesis para obtener el grado de Maestra en Biotecnología. Caracterización de cervezas de malta de maíz y de cebada basadas en su perfil sensorial, compuestos volátiles y capacidad antioxidante. Posgrado en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa.
- Salinas Y., Pérez J., Vázquez G., Aragón F., y Velázquez G. (2012). Anthocyanins antioxidant activity in maize grains (*Zea mays* L.) of chalqueño, elotes cónicos and bolita races. *Agrociencia*; 46, 693-706.
- Salinas Y., Soria J. y Espinoza E. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico Núm. 42. ISBN.
- Serratos J. (2009). The origin and diversity of maize in the american continent. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Greenpeace, Mexico.
- Stashenko E. y Martínez J. (2011). Algunos consejos útiles para el análisis cromatográfico de compuestos orgánicos volátiles, *Scientia Chromatographica*; 3(3),199.
- Stone H. y Sidel J. (2004). *Sensory Evaluation Practices*, 3 a ed. Academia San Diego, EUA.; 13-16, 69-87, 201-242.
- Verde-Calvo, J. R., Escalona-Buendía, H. B., Cruz-Rodríguez N. N., y Romero-Medina, M. A. (2019), Patente No. MX 365910, Proceso para la elaboración de cerveza antioxidante a base de maíz malteado azul y rojo. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa. Ciudad de México, México.

- Vidal L., Ares G., Hedderley D., Meyners M. Jaeger S. (2018). Comparison of rate-all-that-apply (RATA) and check-all-that-apply (CATA) questions across seven consumer studies. *Food Quality and Preference*. Vol. 67: 49-58.
- Yahya H., Linforth R. y Cook D. (2014). Flavour generation during commercial barley and malt roasting operations: a time course study. *Food Chemistry*; 145, 378-387.
- Zambrano T. (2017), Evaluación de compuestos aromáticos en cervezas de producción ecológica y convencional. *AE. Agricultura y ganadería ecológica*; 27, 44-45.
- Zapataa P., Martínez A., Gironés A., Santos D., Noguera L. y Carbonell A. (2019). Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits. *Food Science and Technology* 103; 39–146.

12. ANEXOS

12.1 Anexo 1. Cuestionario de pre-selección de jueces

Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos. R010.	 Casa abierta al tiempo UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Unidad Iztapalapa
CUESTIONARIO DE PRESELECCION DE JUECES SENSORIALES	
Nombre: _____ Edad: _____ Sexo: _____	
Fecha: _____ Escolaridad Máxima: _____	
Correo electrónico: _____	
Salud	
¿Alergias? Si _____ No _____	
¿A qué? _____	
¿Padece de alguna enfermedad que puede afectar sus sentidos?	
Si _____ No _____	
¿Cuál? _____	
Frecuencia _____	
¿Toma algún medicamento que afecte su sentido del olfato o gusto?	
Si _____ No _____	
¿Es daltónico? Si _____ No _____	
¿Con que frecuencia se resfría?	
Poco _____ Moderadamente _____ Frecuentemente _____	
Hábitos	
¿Fuma? Si _____ No _____	
¿Cuántos cigarrillos al día? _____	
Horario de trabajo: _____ am a _____ pm.	
Horario de alimentos:	
Desayuno: _____ AM	
Comida: _____ PM	
Cena: _____ PM	
¿Padece de alguna intolerancia a algún alimento? Si _____ No _____	
¿Cuál(es)? _____	
¿Le disgusta en particular algún alimento? Si _____ No _____	
¿Cuál(es)? _____	
¿Le gusta la cerveza? Si _____ No _____	



Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos. R010.

¿Consumes usted cerveza? Si _____ No _____

¿Qué tipo de cerveza consume más?

Industrial _____ Artesanal _____ Ambas _____

¿Cómo consume la cerveza?

Sola _____ Con limón _____ En michelada _____

Otro (s) _____

¿Cuál de las siguientes cervezas es la que más le agrada?

Clara _____ Oscura _____ Ámbar _____ Otras _____

¿Conoces algún estilo de cerveza? ¿Cuál? _____

¿Estaría dispuesto a participar en pruebas sensoriales para evaluar cerveza?

No _____ Si _____

¿En qué horario quisiera participar (1 ó 2 veces por semana, de preferencia lunes y viernes)?

Mañana: _____ Tarde: _____

Hora exacta preferida: _____

Habilidades analíticas:

I. Evalúe del 1 al 8 (donde 1 es el mínimo y 8 el máximo) los siguientes atributos de su persona.

Tolerancia: _____

Disciplina: _____

Puntualidad: _____

Iniciativa: _____

Honestidad: _____

II. Describe el olor y sabor de un platillo que haya consumido ayer (no use calificativos que indiquen si le gustó o no, como agradable, desagradable, bueno, malo).

¡Muchas gracias por el tiempo dedicado a este cuestionario!

12.2 Anexo 2. Cuestionario de selección de jueces - Pruebas de sensibilidad



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA Unidad Iztapalapa Trimestre 18-O

Nombre: _____

Edad: _____ Teléfono: _____

e-mail: _____

Pruebas de selección de jueces para evaluación sensorial.

Prueba para la identificación de sensaciones de olor.

1. A continuación, se te presentan 5 muestras para que evalúes su olor. **Huele** cada una de ellas y a continuación describe la nota de olor asociándola con algún material, producto o sustancia que te recuerde.

Muestra	Descriptor
682	_____
708	_____
349	_____
275	_____
132	_____

Prueba de asociación de olores.

2. Una vez realizada la descripción, percibe el olor de las otras cinco muestras que tienen las mismas sustancias e indica en cada caso el código de la muestra a la cuál sea idéntica.

Muestra	Código de la muestra idéntica
625	_____
927	_____
429	_____
506	_____
911	_____

Prueba de ordenación.

3. A continuación, se te presentan 5 muestras con diferentes concentraciones de lúpulo, uno de los componentes principales de la cerveza, encargado de aportar el amargor característico de esta bebida, **prueba** cada una y ordénalas de menor a mayor intensidad de acuerdo al código que presentan (152, 076, 465, 802 y 369).

Menor

Mayor

Pruebas de habilidad descriptiva

4. Por último, frente a usted se presentan 2 muestras codificadas de cerveza las cuales debe probar una a la vez y describir sus percepciones en cuanto a visibilidad, olor, sabor y consistencia.

Código de la muestra: 774

Visibilidad _____

Olor _____

Sabor _____

Consistencia _____

Código de la muestra: 850

Visibilidad _____

Olor _____

Sabor _____

Consistencia _____

¡GRACIAS POR PARTICIPAR!

12.3 Anexo 3. Cuestionario de evaluación de muestras durante el entrenamiento

Nombre: _____



1. A continuación, se te presentan dos muestras codificadas de diferentes cervezas, **obsérvalas, huélelas, pruéalas y siente su consistencia**. Marca en las siguientes tablas la intensidad que presenta cada uno de los descriptores, para cada una de las muestras (**0: Nada, 1: Poco, 2: Moderadamente, 3: Mucho 4: Extremadamente**).

Apariencia	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
Turbidez										
Partículas suspendidas										
Espuma										
Persistencia de espuma										
Carbonatación										
Brillante										
Claro										
Pálido										
Ámbar										
Oro										
Cobrizo										
Café claro										
Café oscuro										
Café muy oscuro										
Negro										

Olor	767	0	1	2	3	4	982	0	1	2	3	4
Floral												
Frutos tropicales												
Caramelo												
Cebada												
Maiz												
Levadura												
Citrico												
Alcohol												
Café												
Mantequilla												
Vegetales cocidos												
Vinagre												
Tepache												
Zorrillo (Quemado)												
Chocolate												
Herbáceo												
Sulfuro (Huevo podrido)												
Manzana												

Sabor		0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
Chile												
Dulce												
Ácido												
Amargo												
Maíz												
Cereal												
Cebada												
Levadura												
Lúpulo												
Café												
Caramelo												
Alcohol												
Vegetales cocidos												
Vinagre												
Zorrillo (Quemado)												
Salado												
Mantequilla												
Tepache												
Miel												
Sidra												
Chocolate												
Sulfuro (Huevo podrido)												

Sensación en boca		0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
Picante												
Metálico												
Efervescencia												
Cuerpo												
Astringencia												

¡Gracias por participar, cualquier duda que tengas no dudes en preguntarl

12.4 Anexo 4. Ejemplo de presentación de referencias



Nombre: _____

1. A continuación, se te presentan algunas muestras codificadas y en la tabla siguiente se encuentra escrito cada uno de los descriptores a los cuales corresponden. **Huélelas** e intenta familiarizarte con cada una de ellas, son algunas de las notas aromáticas que pueden presentarse en la cerveza en general.

Código	Muestra
535	Esencia de cítrico
708	Ácido acético (vinagre)*
845	Caramelo
917	Vegetales cocidos*
023	Floral
604	Frutos tropicales
128	Chocolate
682	Herbal
781	Manzana*

*Defecto

2. Los olores y sabores principales en una cerveza se deben a la **materia prima** o ingredientes con los que se elabora, entre otros factores debidos al proceso. Enseguida te presentamos algunos de estos, de igual forma conócelos y trata de familiarizarte con el **olor** que presentan.

Código	Muestra
294	Malta de cebada
657	Malta de cebada tostada
401	Malta de maíz rojo
946	Malta de maíz rojo tostada
203	Lúpulo "Cascade" (cítrico)
183	Levadura
521	Chile guajillo
385	Café

12.5 Anexo 5. Estándares y descripción de descriptores

APARIENCIA

DESCRIPTOR	ESTÁNDAR	DEFINICIÓN
Turbidez	Imágenes de referencia. Anexo 6	Enturbiamiento causado por la precipitación de algún compuesto formado
Espuma	Imágenes de referencia. Anexo 7	Cantidad y duración de espuma formada
Carbonatación	Imágenes de referencia. Anexo 8	Cantidad de desprendimiento del CO ₂ disuelto en la cerveza
Brillantez	Cervezas	La superficie brilla por el reflejo de luz

OLOR

DESCRIPTOR	ESTÁNDAR	DEFINICIÓN
Floral	Esencia Floral	Olor característico de flores
Frutos tropicales	Esencia de frutos tropicales	Olor característico de frutos tropicales
Caramelo	Caramelo	Olor asociado a caramelo de flan, tostado
Levadura	Levadura activa en agua.	Olor a levadura de cerveza
Cítrico	Pellets de lúpulo “Cascade”, cervezas muy lupuladas	Olor a frutos cítricos como limón, naranja, toronja: principalmente aportado por el lúpulo
Alcohol	Cervezas con alto contenido alcohólico, whiskey	Olor a alcohol
Café	Café de grano.	Olor típico del café. Tostado
Vegetales cocidos	Jugo de verduras cocidas.	Olor a maíz dulce, que proviene de la malta, se le conoce como DMS, sulfato de dimetil, un compuesto de azufre
Chocolate	Esencia de chocolate.	Olor típico del chocolate. Tostado
Herbal	Pellets de lúpulo “Columbus”, cervezas muy lupuladas	Olor relacionado con hierbas, principalmente aportado por el lúpulo
Sulfuro	Esencia de Sulfuro	Pueden aparecer aromas a huevo cocido, un cerillo encendido o aguas residuales sin procesar.

SABOR

DESCRIPTOR	ESTÁNDAR	DEFINICIÓN
Chile	Chile “Puya”	Asociado a chiles secos
Dulce	Mostos dulces	Gusto básico dulce
Ácido	Ácido acético	Gusto básico ácido
Amargo	Infusiones de lúpulo	Gusto básico amargo, es una sensación en la parte posterior de la lengua, provocada por la amargura del lúpulo, a partir de su contenido de Alfa-ácidos o por maltas tostadas.
Cereal	Mosto de maíz y cebada	Sabor dulce

Maíz	Mosto de maíz rojo	Sabor a maíz, dulce
Cebada	Mosto de cebada	Sabor a cebada, dulce
Levadura	Levadura activa en agua	Sabor a levadura de cerveza
Cítrico	Infusiones de lúpulo con notas cítricas, Cervezas lupuladas	Olor a frutos cítricos como limón, naranja, toronja: principalmente aportado por el lúpulo
Herbal	Infusiones de lúpulo con notas herbales, Cervezas lupuladas	Sabor relacionado con hierbas, principalmente aportado por el lúpulo
Alcohol	Cervezas con bajo y alto contenido alcohólico, whiskey	Sabor característico del alcohol
Vegetales cocidos	Jugo de verduras cocidas	Sabor a maíz dulce, que proviene de la malta, se le conoce como DMS, sulfato de dimetil, un compuesto de azufre.
Vinagre	Cerveza contaminada con ácido acético, vinagre	Sabor fuerte muy ácido
Zorrillo	Cerveza expuesta al sol	Presente en cervezas oxidadas debido a la exposición a la luz, amargor excesivo desagradable.
Tepache	Tepache, pulque, Yakult (Producto lácteo fermentado)	Sabor característico de ácido láctico
Miel	Miel	Sabor muy dulce, afrutado o floral, ligeramente ácido
Sidra	Sidra de manzana	Jugo fermentado de manzana con notas afrutadas y de alcohol
Café	Café de grano	Sabor típico del chocolate. Tostado
Floral	Cerveza adicionada con esencia floral	Olor característico de flores, principalmente aportado por la levadura
Frutos tropicales	Cerveza adicionada con esencia de frutos tropicales	Sabor característico de frutos tropicales como mango, melón, piña, etc., principalmente aportado por la levadura

SENSACIÓN EN BOCA

DESCRIPTOR	ESTÁNDAR	DEFINICIÓN
Picante	Chile "Puya", cervezas picantes	Sensación de ardor en lengua y boca
Metálico	Sulfato ferroso amoniacal	Sensación o sabor a hierro, monedas o metal
Efervescencia	Cervezas con baja y alta carbonatación.	Sensación de gasificación o burbujeo en boca
Cuerpo	Cerveza "Ultra"- Cuerpo ligero Cerveza "Guinness"- Cuerpo completo	Sensación de plenitud producida en la boca, de peso y viscosidad. Una cerveza con mucho cuerpo se siente densa mientras que las que poseen poco cuerpo se sienten como agua.
Astringencia	Estándar de Astringencia	Produce una sensación de contracción áspera en la lengua y el paladar

12.6 Anexo 6. Imágenes de referencia del descriptor “turbidez”



12.7 Anexo 7. Imágenes de referencia del descriptor “espuma”



12.8 Anexo 8. Imágenes de referencia del descriptor “carbonatación”



12.9 Anexo 9. Cuestionario utilizado en la evaluación de las muestras.

Nada Poco Moderado Mucho Extremadamente

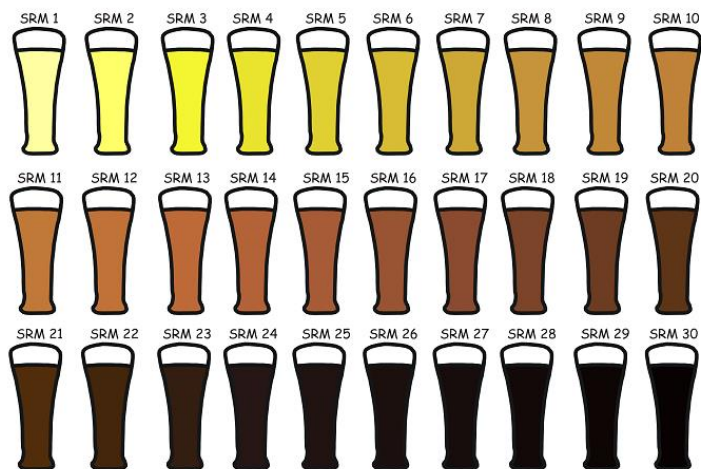
OK

A continuación, se te presentan dos muestras codificadas de diferentes cervezas, **obsérvalas, huélelas, pruébalas y siente su consistencia**. Marca en las siguientes tablas la intensidad que presenta cada uno de los descriptores, para cada una de las muestras (**Nada, Poco, Moderadamente, Mucho, Extremadamente**).

Apariencia Olor Sabor Sensación en boca

- Floral
- Frutos tropicales
- Caramelo
- Levadura
- Cítrico
- Alcohol
- Café
- Vegetales cocidos
- Chocolate
- Herbáceo
- Sulfuro (Huevo podrido)

12.10 Anexo 10. Guía de color utilizada durante la evaluación sensorial



12.11 Anexo 11. Promedio de la evaluación de jueces en QDA

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de apariencia en cervezas de maíz.

Apariencia				
Muestra	Turbidez*	Espuma	Carbonatación	Brillante*
Maíz base	9.79 ^a	5.73	6.43	5.24 ^a
Maíz tostado 1	7.90 ^a	5.73	6.60	6.33 ^{a,b}
Maíz tostado 2	4.41 ^b	6.71	6.06	7.98 ^b

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de apariencia en cervezas de cebada.

Apariencia				
Muestra	Turbidez*	Espuma*	Carbonatación	Brillante*
Cebada base	10.05	1.61	4.76	4.11
Cebada tostada	7.13	3.91	5.20	8.10

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de olor en cervezas de maíz.

Olor			
	Maíz Base	Maíz Tostado 1	Maíz Tostado 2
Floral	2.82	2.52	3.68
Frutos Tropicales	4.18	2.64	2.69
Caramelo	4.34	3.98	4.99
Levadura	4.05	3.48	2.70
Cítrico	4.11	3.72	2.61
Alcohol	5.04	6.03	4.09
Café*	0.61 ^a	1.82 ^{a,b}	3.23 ^b
Vegetales cocidos	2.18	2.07	1.20
Chocolate	1.46	2.84	3.02
Herbal	4.82	4.28	4.41
Sulfuro (Huevo)	0.74	0.61	0.72

* Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de olor en cervezas de cebada.

Olor		
	Cebada Base	Cebada Tostada
Floral	3.75	3.67
Frutos Tropicales*	4.50	1.53
Caramelo	4.54	6.16
Levadura	3.50	2.73
Cítrico	4.09	2.61
Alcohol	6.80	6.69
Café*	0.78	6.83
Vegetales cocidos	1.35	0.82
Chocolate*	1.16	5.17
Herbal	2.10	2.96
Sulfuro (Huevo)	0.25	0.18

* Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de sabor en cervezas de maíz.

Sabor			
	Maíz Base	Maíz Tostado 1	Maíz Tostado 2
Chile	3.94	3.93	2.03
Dulce	4.16	3.07	2.96
Ácido	3.52	4.59	4.51
Amargo	5.76	7.40	6.53
Cereal	5.34	4.94	4.70
Maíz	4.47	3.93	2.11
Cebada	3.44	3.42	4.43
Levadura	3.50	3.65	3.23
Cítrico	3.29	3.32	3.46
Caramelo	2.43	3.53	4.73
Alcohol	6.64	7.72	6.76
Vegetales cocidos	2.06	2.51	1.32
Vinagre	1.38	1.64	1.64
Zorrillo (quemado)	0.44	0.80	0.88
Tepache	0.97	0.72	0.76
Miel	1.46	1.54	1.54
Sidra	2.03	1.16	1.34
Herbal	4.95	4.17	4.56
Café	1.26	2.82	3.42
Floral	3.64	2.48	3.14
Frutos tropicales	2.36	2.05	2.60

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de sabor en cervezas de cebada.

Sabor		
	Cebada Base	Cebada Tostada
Chile	4.58	2.34
Dulce	3.94	2.33
Ácido	3.98	3.20
Amargo	6.08	7.88
Cereal	4.32	5.72
Maíz	3.48	0.70
Cebada	2.46	5.43
Levadura	3.58	2.39
Cítrico	4.09	2.61
Caramelo	2.36	4.25
Alcohol	8.08	9.77
Vegetales cocidos	1.93	0.58
Vinagre	1.92	1.35
Zorrillo (quemado)	0.80	1.00
Tepache*	2.53	0.53
Miel	0.64	0.85
Sidra	0.64	0.68
Herbal	2.23	2.96
Café*	1.51	7.92
Floral	3.75	3.67
Frutos tropicales*	4.50	1.53

*: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de sensación en boca en cervezas de maíz.

Sensación en boca

Muestra	Picante*	Metálico	Efervescencia	Cuerpo	Astringencia
Maíz base	2.87 ^{ab}	2.39	5.34	6.74	3.91
Maíz Tostado 1	5.09 ^b	3.22	6.92	7.14	4.14
Maíz Tostado 2	1.65 ^a	3.29	5.16	6.71	3.96

**: Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.*

Promedio de la evaluación de los jueces en QDA para atributos de sensación en boca en cervezas de cebada.

Sensación en boca

Muestra	Picante*	Metálico	Efervescencia	Cuerpo	Astringencia
Cebada base	4.76	5.04	3.57	7.48	3.74
Cebada Tostada	1.98	3.47	4.47	8.43	5.50

** Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras.*

12.12 Anexo 12. Resultados de ANOVA realizado a cada atributo

	P Muestra	P Juez	P Repetición	P Muestra-Juez
APARIENCIA				
Turbidez	0.99968	0.93974	0.94803	0.99866
Espuma	0.00635	0.81484	0.24643	0.85793
Carbonatación	0.33435	0.49310	0.87972	0.99984
Brillantez	0.054964	0.15958	0.11247	0.99968
Color	<0.0001	0.82186	0.68928	0.99890
OLOR				
Floral	0.75324	0.76395	0.98435	0.99953
Frutos tropicales	0.03521	0.31534	0.94358	>0.9999
Caramelo	0.93934	0.94152	0.06696	0.98232
Levadura	0.00205	0.80840	0.80565	>0.9999
Cítrico	0.98922	0.98298	0.27536	0.99967
Alcohol	0.07006	0.75643	0.62116	0.99982
Café	0.03561	0.45890	0.62903	>0.9999
Vegetales	0.52678	0.99615	0.83383	>0.9999
Chocolate	0.00017	0.76919	0.11224	0.98890
Herbal	0.14760	0.53420	0.67419	>0.9999
Sulfuro	0.99358	0.97364	0.97471	0.96856
SABOR				
Chile	0.06237	0.58090	0.66585	0.96621
Dulce	0.23148	0.35460	0.10645	0.94445
Ácido	0.80609	0.71285	0.73535	0.99919
Amargo	0.00198	0.23246	0.11714	0.98880
Cereal	0.07532	0.65955	0.57481	>0.9999
Maíz	0.02022	0.77725	0.98937	>0.9999
Cebada	0.96053	0.52515	0.29031	0.97438
Levadura	0.42297	0.51199	0.72160	>0.9999
Cítrico	0.98165	0.52153	0.67814	0.99969
Caramelo	0.78152	0.37418	0.29850	0.96572
Alcohol	0.00084	0.79057	0.52250	0.99857
Vegetales cocidos	0.98325	0.70093	0.64513	>0.9999
Vinagre	0.21678	0.40908	0.18474	0.99888
Zorrillo	0.89280	0.54935	0.719064	0.99989
Tepache	0.01765	0.58199	0.989905	>0.9999
Miel	0.64025	0.85520	0.83135	0.99810
Sidra	0.29600	0.76316	0.54148	0.99864
Herbal	0.35371	0.61633	0.91232	>0.9999
Café	0.02726	0.72581	0.26357	0.97731
Floral	0.29884	0.95694	0.85656	0.99382
Frutos tropicales	0.47328	0.75260	0.91202	>0.9999
SENSACIÓN EN BOCA				
Picante	0.00477	0.90316	0.42519	0.90316
Metálico	0.22987	0.59516	0.05555	0.99707
Efervescencia	0.28224	0.32240	0.18783	0.99972
Cuerpo	0.16082	0.75343	0.76750	>0.9999
Astringencia	0.04363	0.65301	0.61176	0.99963

12.13 Anexo 13. Resultados del ACP para la evaluación descriptiva de los diferentes tratamientos de cerveza

Correlación entre variables y componente principal

	CP1	CP2	CP3	CP4
Turbi(A)	-0.615	-0.426	-0.659	-0.076
Espu(A)	0.097	0.977	0.181	0.066
Carbon(A)	-0.243	0.949	-0.057	-0.190
Brill(A)	0.869	0.429	0.247	0.007
Floral(O)	0.427	-0.639	0.404	0.497
Frutrop(O)	-0.911	-0.259	-0.062	0.316
Caram(O)	0.908	-0.278	-0.086	0.301
Levad(O)	-0.835	0.093	-0.543	-0.015
Cítrico(o)	-0.898	-0.171	-0.382	-0.133
Alco(O)	0.117	-0.753	-0.423	-0.490
Café(O)	0.997	-0.055	-0.040	-0.027
Veg coci(O)	-0.765	0.514	-0.314	-0.229
Choc(O)	0.973	0.111	-0.052	-0.198
Herbal(O)	-0.154	0.982	-0.034	0.108
Sulf(O)	-0.429	0.863	0.193	0.184
Chile(S)	-0.830	-0.344	-0.332	-0.287
Dulce(S)	-0.920	-0.102	-0.201	0.320
Ácido(S)	-0.373	0.307	0.773	-0.412
Amargo(S)	0.790	0.026	-0.046	-0.611
Cereal(S)	0.613	0.348	-0.707	0.060
Maíz(S)	-0.949	0.223	-0.186	-0.124
Cebada(S)	0.947	0.283	-0.057	0.140
Levad(S)	-0.949	0.140	0.202	-0.196
Cítri(S)	-0.793	-0.391	0.462	0.068
Caram(S)	0.790	0.350	0.502	-0.045
Alco(S)	0.686	-0.570	-0.302	-0.335
Veg coc(S)	-0.883	0.225	-0.019	-0.412
Vinag(S)	-0.516	-0.533	0.632	-0.225
Zorrillo(S)	0.756	-0.363	0.449	-0.310
Tepache(S)	-0.600	-0.780	0.142	0.110
Miel(S)	-0.176	0.968	0.168	-0.056
Sidra(S)	-0.427	0.782	-0.237	0.388
Herbal(S)	-0.182	0.963	-0.013	0.199
Café(S)	0.982	-0.090	-0.125	-0.111
Floral(S)	0.080	-0.584	-0.367	0.719
Fru trop(S)	-0.633	-0.667	0.346	0.185
Picante(SB)	-0.648	-0.308	-0.070	-0.693
Metal(SB)	-0.104	-0.911	0.368	-0.151
Eferv(SB)	-0.107	0.818	-0.018	-0.565
Cuerpo(SB)	0.686	-0.593	-0.343	-0.244
Astrin(SB)	0.911	-0.092	-0.377	-0.140

Puntuaciones factoriales (scores)

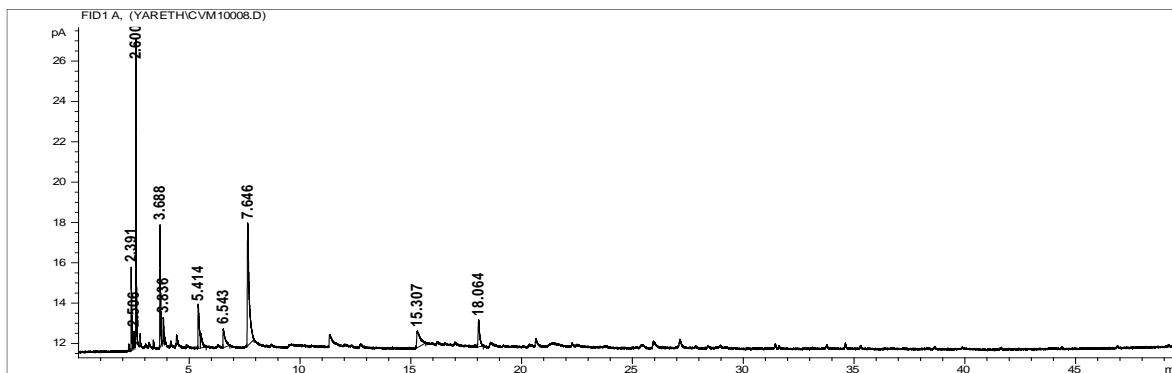
	F1	F2	F3	F4
Cebada Base	-4.075	-6.331	0.748	0.123
Cebada Tostada	7.985	-1.799	-1.717	-0.070
Maíz Base	-3.952	2.941	-2.749	1.934
Maíz Tostado T1	-1.679	2.571	0.149	-3.567
Maíz Tostado T2	1.721	2.618	3.570	1.579

Valores propios (Eigenvalues)

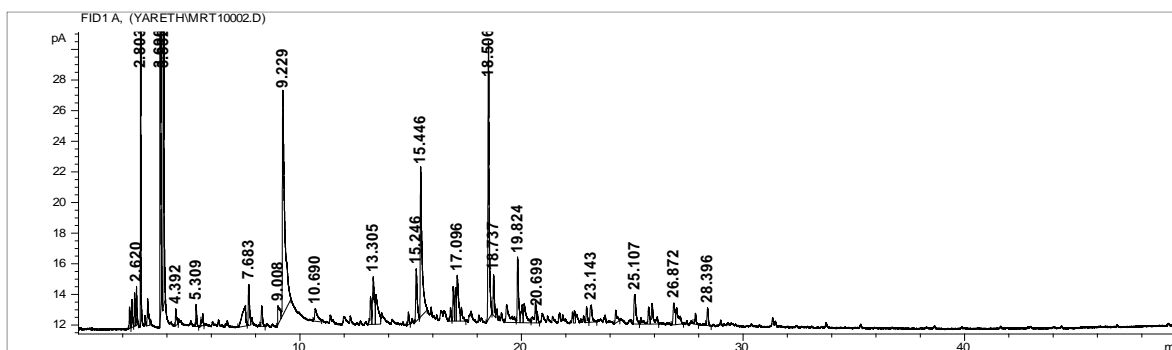
	F1	F2	F3	F4
Eigenvalue	20.353	13.085	4.767	3.795
Variability (%)	48.460	31.155	11.349	9.036
Cumulative %	48.460	79.615	90.964	100.000

12.14 Anexo 14. Cromatogramas obtenidos de las maltas analizadas

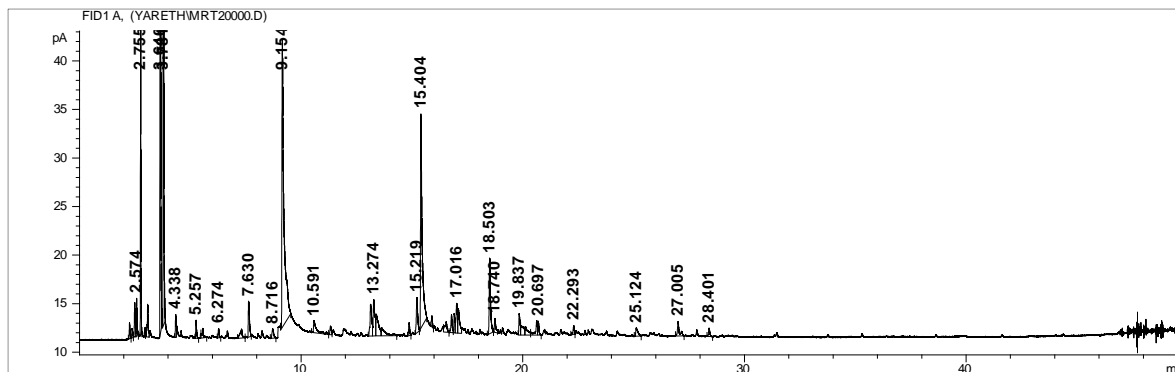
12.14.1 Malta de maíz base



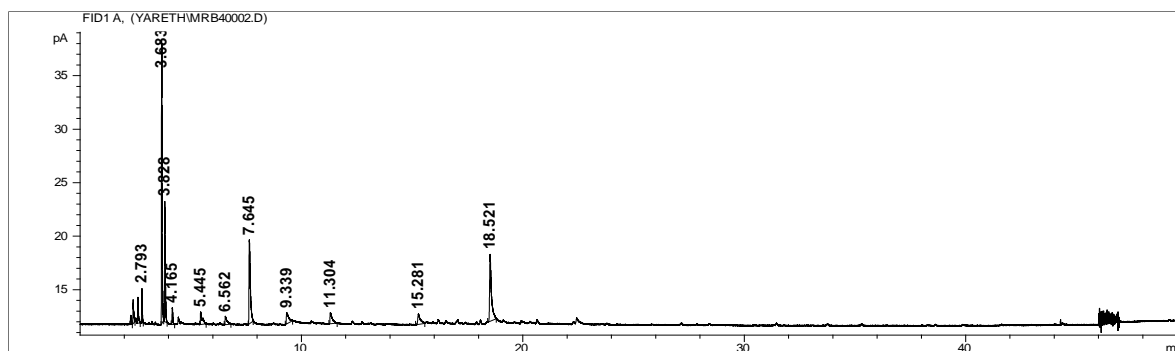
12.14.2 Malta de maíz tostado – Tratamiento 1



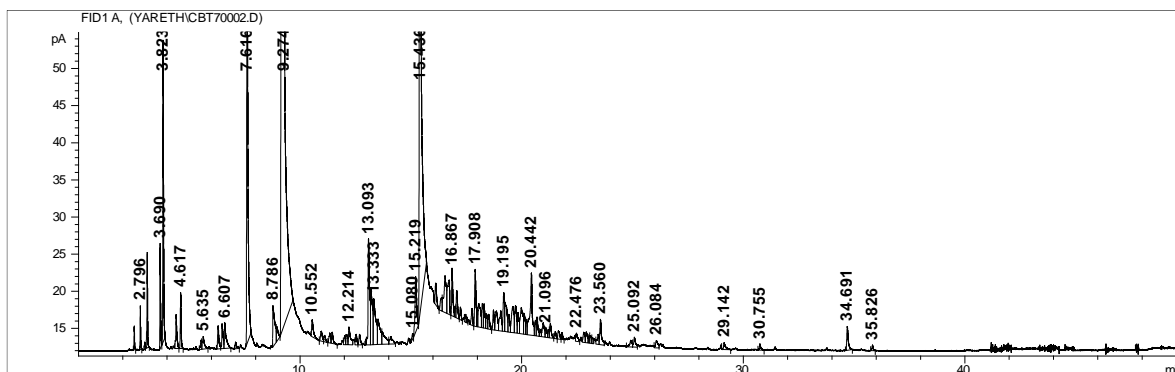
12.14.3 Malta de maíz tostado – Tratamiento 2



12.14.4 Malta de cebada base



12.14.5 Malta de cebada tostada



12.15 Anexo 15. Resultados del ACP para la evaluación cromatográfica de las maltas

Correlación entre variables y componente principal

	F1	F2	F3	F4
2-metil-furano	-0.922	-0.380	0.012	0.081
3-metil-butanal	-0.648	-0.443	-0.375	0.493
2-metil-butanal	0.665	0.726	-0.112	0.134
2-vinil-furano	0.259	0.891	-0.362	-0.089
Pirrol	0.974	0.121	-0.189	-0.015
2-hexanona	0.966	-0.214	0.127	0.076
1-etil-pirrol	0.966	-0.214	0.127	0.076
Furfural	0.936	-0.307	0.158	0.070
1H-pirrol, 1-metil	-0.189	0.960	-0.184	0.097
2-furan-metanol	0.988	-0.128	0.056	0.059
Estireno	0.916	0.015	-0.377	-0.137
2-metil-3-octanonA	0.989	0.125	-0.030	0.068
3-etil-2,4-dimetil-1H-Pirrol	0.990	-0.124	0.042	0.053
2-etil-6-metil-pirazina	0.966	-0.214	0.127	0.076
2-acetil-pirrol	0.012	0.864	0.501	-0.045
2-etil-3,6-dimetil-pirazina	-0.200	0.919	0.192	0.280
2-isobutil-3-metil-pirazina	0.983	0.124	0.067	0.117
1-furfuril-pirrol	0.937	-0.009	-0.328	-0.116
3-fenil-furano	0.966	-0.214	0.127	0.076

Puntuaciones factoriales (scores)

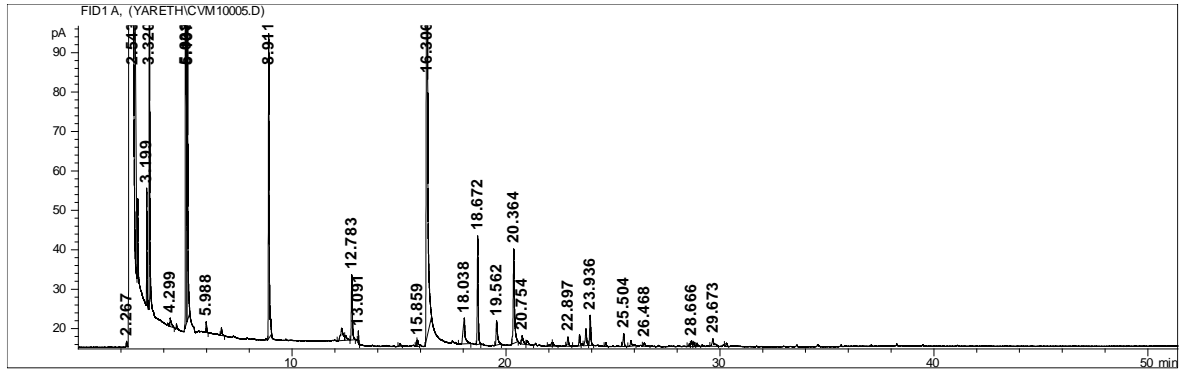
	F1	F2	F3	F4
Maíz Base	-2.989	-2.599	-0.457	0.852
Maíz Tostado uno	-1.320	3.254	0.949	0.529
Maíz Tostado dos	-0.250	1.619	-1.697	-0.481
Cebada Base	-2.412	-1.362	0.952	-1.001
Cebada Tostada	6.971	-0.912	0.252	0.102

Valores propios (eigenvalues)

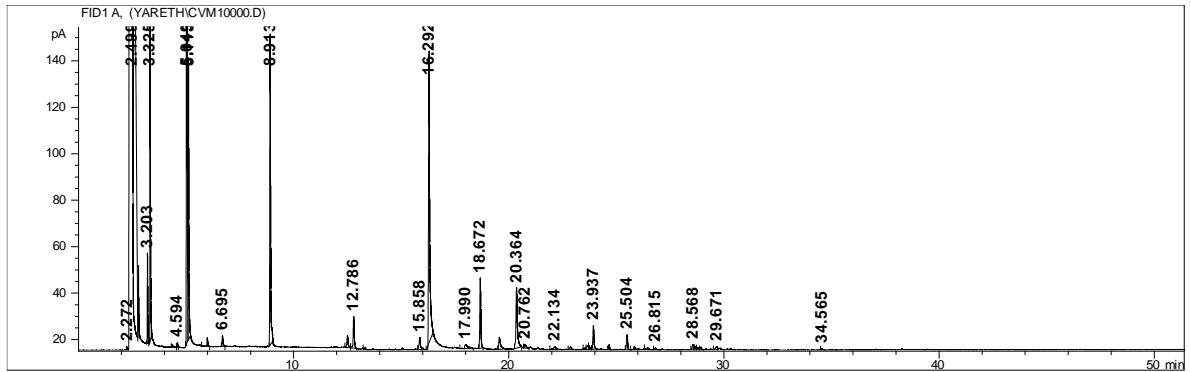
	F1	F2	F3	F4
Valor propio	13.029	4.530	0.991	0.450
Variabilidad (%)	68.574	23.841	5.218	2.367
% acumulado	68.574	92.415	97.633	100.000

12.16 Anexo 16. Cromatogramas obtenidos de las cervezas analizadas.

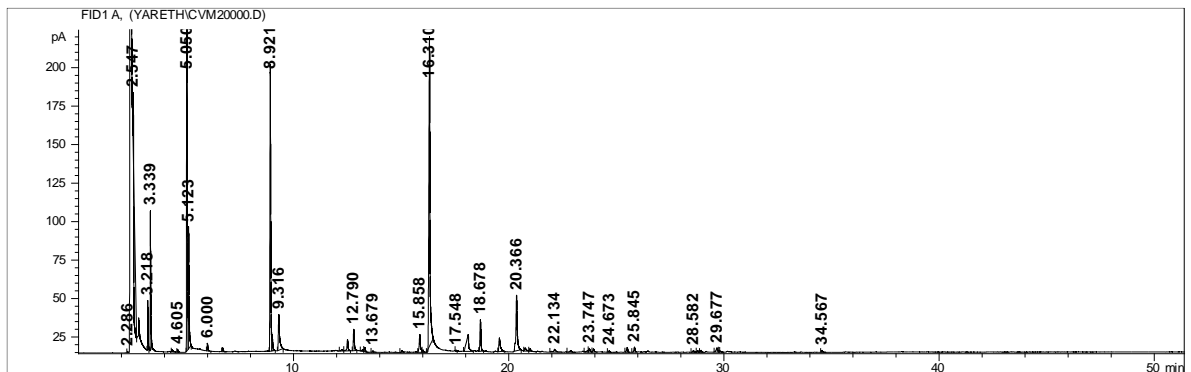
12.16.1 Cerveza elaborada con malta de maíz base



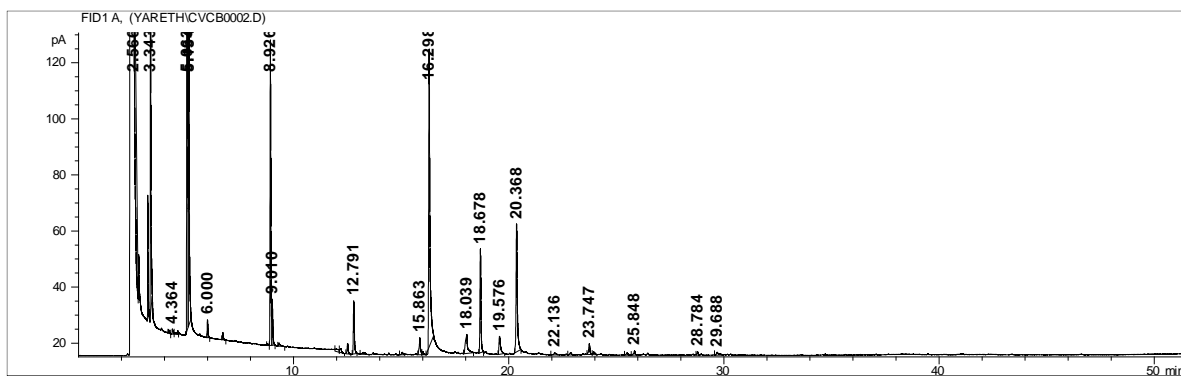
12.16.2 Cerveza elaborada con maíz tostado- Tratamiento 1.



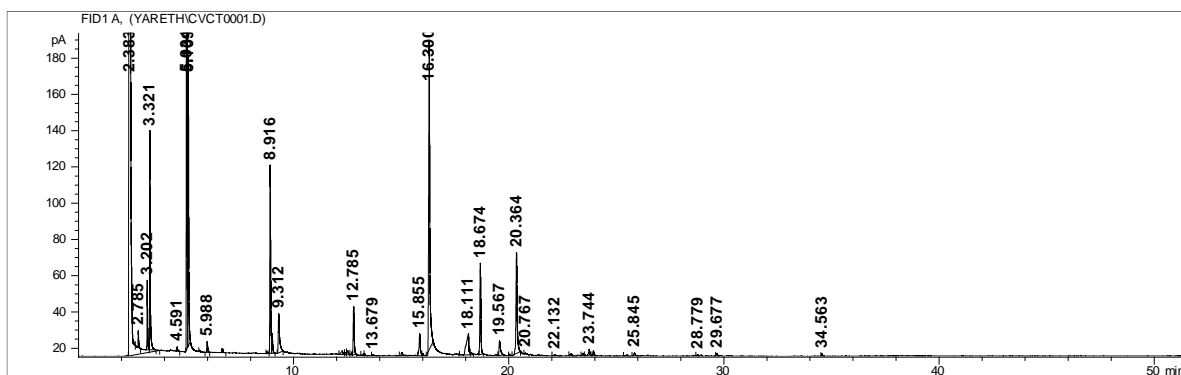
12.16.3 Cerveza elaborada con malta de maíz tostado- Tratamiento 2.



12.16.4 Cerveza elaborada con malta de cebada base



12.16.5 Cerveza elaborada con malta de cebada tostada



12.17 Anexo 17. Resultados del ACP para la evaluación cromatográfica de las cervezas

Correlación entre variables y componente principal

	F1	F2	F3	F4
Etanol	-0.645	-0.685	-0.240	0.239
1-propanol	0.855	-0.044	0.516	0.001
Acetato de etilo	0.687	-0.366	0.614	0.127
2-metil-1-propanol	-0.651	-0.244	0.698	-0.173
Alcohol isoamílico	-0.753	-0.608	-0.193	-0.163
Isobutirato de etilo	0.819	-0.544	-0.027	-0.179
Alcohol amílico	0.575	-0.792	-0.043	-0.201
Acetato de isoamilo	-0.321	0.863	-0.361	-0.148
Estireno	0.570	0.782	-0.223	-0.119
Hexanoato de etilo	0.890	-0.176	-0.199	0.370
2-fenil etanol	-0.060	0.780	0.395	0.481
Octanoato de etilo	0.737	-0.457	-0.426	0.256
Decanoato de etilo	0.911	0.175	-0.353	-0.119
Dodecanoato de etilo	-0.813	-0.424	-0.228	0.329

Puntuaciones factoriales (scores)

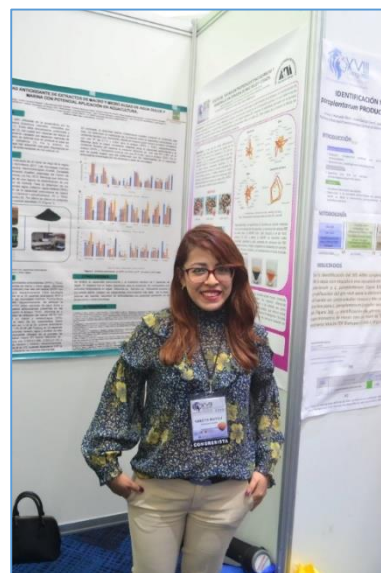
	F1	F2	F3	F4
Maíz Base	-1.669	-0.038	1.652	1.324
Maíz Tostado 1	-3.610	-0.957	-1.910	-0.167
Maíz Tostado 2	-0.291	3.432	0.614	-0.935
Cebada Base	1.572	-2.978	1.046	-0.915
Cebada Tostada	3.998	0.541	-1.402	0.694

Valores propios (eigenvalues)

	F1	F2	F3	F4
Valor propio	6.871	4.372	1.963	0.795
Variabilidad (%)	49.078	31.226	14.019	5.678
% acumulado	49.078	80.304	94.322	100.000

Parte de este proyecto fue presentado en el “XVIII CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA LEÓN 2019”, con el trabajo titulado: “EFECTO DEL TOSTADO EN PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES EN CERVEZAS DE MAÍZ ROJO Y CEBADA” aceptado como CARTEL, llevado a cabo del 23 al 28 de junio de 2019, en Poliforum León, León Guanajuato, México.

Agradezco encarecidamente el otorgamiento de la beca para participar en eventos de difusión y de Investigación en Ciencia y Tecnología otorgada por la Universidad Autónoma Metropolitana, por conducto de Rectoría general.





Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00263

Matrícula: 2173801791

Efecto del tostado en la composición volátil y propiedades sensoriales en cervezas artesanales de maíz rojo y cebada.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 9:00 horas del día 26 del mes de noviembre del año 2019 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. JOSE RAMON VERDE CALVO
DRA. PATRICIA SEVERIANO PEREZ
DRA. JOSEFA ESPITIA LOPEZ
MTRA. FRIDA PURA MALPICA SANCHEZ



YARETH NAYELI HERNANDEZ MORA
ALUMNA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretaria la última, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN BIOTECNOLOGIA

DE: YARETH NAYELI HERNANDEZ MORA

y de acuerdo con el artículo 76 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

REVISÓ

MTRA. ROSALBA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS

DRA. LUCÍA CAMARGO RICALDE

PRESIDENTE

DR. JOSE RAMON VERDE CALVO

VOCAL

DRA. PATRICIA SEVERIANO PEREZ

VOCAL

DRA. JOSEFA ESPITIA LOPEZ

SECRETARIA

MTRA. FRIDA PURA MALPICA SANCHEZ