



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DESARROLLO TECNOLÓGICO Y VALORIZACIÓN DE CERVEZAS, EMPLEANDO SEMILLA DE CAOILLA Y MALTA DE MAÍZ AZUL.

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA

Presenta:

Ricardo Cruz Aguilar.

Bajo la supervisión de: Dr. Anastacio Espejel García



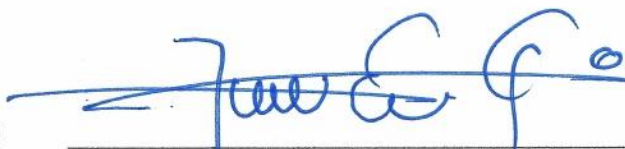
Chapingo, Estado de México, noviembre de 2024.

DESARROLLO TECNOLÓGICO Y VALORIZACIÓN DE CERVEZAS, EMPLEANDO SEMILLA DE CAOBILLA Y MALTA DE MAÍZ AZUL.

Tesis realizada por **RICARDO CRUZ AGUILAR** bajo la supervisión del Comité Asesor Indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

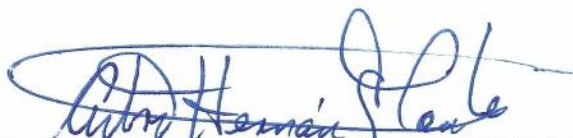
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR:



Dr. Anastacio Espejel García

ASESOR:



Ph. D. Arturo Hernández Montes

ASESORA:



Dra. Landy Hernández Rodríguez

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE CUADROS	VIII
DEDICATORIAS	X
AGRADECIMIENTOS	XI
DATOS BIBLIOGRÁFICOS	XII
RESUMEN GENERAL	XIII
GENERAL ABSTRACT	XIV
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	15
2. REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1 Cerveza	17
2.1.1 Origen	17
2.1.2 Producción y comercio	18
2.1.3 Composición	18
2.1.5 Proceso productivo de malta	21
2.1.6 Proceso de elaboración de cerveza	22
2.2 Evaluación sensorial	26
2.2.1 Perfil Flash	27
2.2.1 Punto de igualdad subjetiva	27
2.3 Cromatografía	28
2.4 Valoración económica	29
2.5 Literatura consultada	32
3. ESTANDARIZACIÓN DE ELABORACIÓN DE CERVEZA A BASE DE SEMILLA DE CAOILLA Y MALTA DE MAÍZ AZUL	38
Resumen	38
Abstract	39
3.1 Introducción	40
3.1.1 Lúpulo	40

3.1.2 Antecedentes sobre sustitución de lúpulo.....	40
3.1.3 Árbol de caobilla	41
3.2. Metodología.....	44
3.2.1 Planeación experimental.....	44
3.2.2 Materiales	45
3.2.3 Métodos	45
3.3 Resultados y discusión.....	50
3.3.1 Punto de igualdad subjetiva para atributo amargor	50
3.3.2 Resultados de la superficie de respuesta	52
3.3.3 Efecto de los niveles de maltas de cebada, malta de maíz azul, lúpulo y caobilla en el rendimiento de alcohol, sólidos solubles y costo por botella de cerveza.	56
3.3.4 Optimización de las variables respuesta y predicción del tratamiento óptimo	61
3.4 Conclusión.....	62
3.5 Literatura citada.....	64
4. CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DE CERVEZAS ELABORADAS CON MALTA DE MAÍZ AZUL Y SEMILLA DE CAOILLA	68
Resumen	68
Abstract	69
4.1 Introducción.....	70
4.2 Metodología.....	72
4.2.1 Aceptabilidad de cervezas	72
4.2.2 Perfil Flash	74
4.3 Resultados	76
4.3.1 Evaluación sensorial de cervezas.....	76
4.3.2 Perfil Flash de cervezas.....	79
4.4 Conclusión.....	82
4.5 Literatura citada.....	84
5. IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLATILES EN CERVEZA	88

Resumen.....	88
Abstract	89
5.1 Introducción.....	90
5.2 Metodología.....	91
5.2.1 Objeto de estudio.....	91
5.2.2 Identificación de compuestos volátiles en cervezas	92
5.3 Resultados y discusión.....	93
5.3.1 Identificación de compuesto volátiles en cervezas	93
5.3.2 Análisis de volátiles en cervezas	96
5.4 Conclusiones.....	99
5.6 Literatura citada.....	101
6. DISPOSICIÓN A PAGAR POR CERVEZAS ELABORADAS CON MALTA DE MAÍZ AZUL Y SEMILLA DE CAOBILLA	106
Resumen.....	106
Abstract	107
6.1 Introducción.....	108
6.1.1 Métodos de valoración multiatributo	109
6.2 Metodología.....	113
6.2.1 Determinación de atributos y niveles.	113
6.2.2 Diseño del Experimento de elección.....	115
6.2.3 Fuente de datos.....	116
6.3 Resultados Y Discusión.....	116
6.3.1 Hábitos de consumo de cerveza artesanal	116
6.3.2 Valoración económica (EED).....	122
6.4 Conclusiones.....	126
6.5 Literatura citada.....	128
7. CONCLUSIONES GENERALES	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases de la producción de malta	21
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso general de elaboración de cerveza.	23
Figura 3. Árbol de Caobilla.	42
Figura 4. Fruto en estado inmaduro.....	42
Figura 5. Fruto de Swietenia humillis en estado maduro y liberando sus semillas.	43
Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza.	48
Figura 7. Gráfica de valores Z del porcentaje de respuestas “más amarga” (●), contra la intensidad de la concentración de semilla de caobilla.....	51
Figura 8. Superficie de respuesta (a) y gráfica de contornos (b) para la variable sólidos solubles equivalentes a azúcares totales obtenidos relacionada con los niveles de porcentaje de malta de cebada y lúpulo.	57
Figura 9. Superficie de respuesta (a) y gráfica de contornos (b) para la variable alcohol relacionada con los niveles de porcentaje de malta de cebada y lúpulo.	59
Figura 10. Superficie de respuesta (a) y gráfica de contornos (b) para la variable costo por botella relacionada con los niveles de porcentaje de malta de cebada y lúpulo.	60
Figura 11. Atributos consensuados por panelistas (●) en el Perfil Flash y ubicación de las seis cervezas (●), obtenidos por el Análisis Procrusteano Generalizado.....	81
Figura 12. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% de malta de maíz azul.	94
Figura 13. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% malta de cebada.	95

Figura 14. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% semilla de caobilla.	95
Figura 15. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% de lúpulo.	96
Figura 16. Tarjeta de selección de cervezas.	116
Figura 17. Consumo de cerveza por campos sociales	118
Figura 18. Consumo de cerveza por rango de edad.....	119
Figura 19. Consumo de cerveza por escolaridad.....	120
Figura 20. Consumo de cerveza por ocupación.....	121
Figura 21. Consumo de cerveza por nivel de ingreso mensual.	122

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características generales de levaduras empleadas en la fermentación de cerveza.	20
Cuadro 2. Tipos de malta y sus características.	22
Cuadro 3. Condiciones de activación de enzimas.	24
Cuadro 4. Información taxonómica del árbol de caobilla	41
Cuadro 5. Diseño Compuesto Central de la superficie de respuesta, con los porcentajes de formulación de malta de cebada y lúpulo.	47
Cuadro 6. Cantidad de respuestas “más amargo” y sus valores Z.	50
Cuadro 7. Características fisicoquímicas del mosto de los tratamientos	52
Cuadro 8. Características fisicoquímicas y costo por botella de cervezas.....	53
Cuadro 9. Significancia de las variables dependientes de diseño compuesto central analizadas con superficie de respuesta.	55
Cuadro 10. Porcentaje de alcohol para cada uno de los tratamientos del diseño compuesto central para la elaboración de cerveza.....	56
Cuadro 11. Valores de porcentaje de alcohol para cada uno de los tratamientos del diseño compuesto central para la elaboración de cerveza.	58
Cuadro 12. Valores de costo por botella de 355 mL para cada uno de los tratamientos del diseño compuesto central para la elaboración de cerveza.....	60
Cuadro 13. Optimización de las variables respuesta de cerveza.....	62
Cuadro 14. Características de las cervezas evaluadas en el diseño de Bloques incompletos balanceados.	74
Cuadro 15. Características de las cervezas evaluadas en el Perfil Flash.....	75
Cuadro 16. Resultados de la aceptabilidad de tratamientos de cervezas.....	76
Cuadro 17. Cantidad de insumos de las muestras de cerveza analizadas.....	92
Cuadro 18. Métodos de valoración económica de bienes y servicios.....	108
Cuadro 19. Atributos y niveles del diseño experimental.	114
Cuadro 20. Relación de combinaciones de productos alternativos.....	115

Cuadro 21. Variables sociodemográficas de entrevistados.	117
Cuadro 22. Coeficientes estandarizados de los modelos de elección.	123
Cuadro 23. Disposición a pagar marginal de los modelos de elección discreta.	124

DEDICATORIAS

A mis padres María del Carmen Aguilar Sánchez y Juan Cruz López, por su gran apoyo, comprensión, amor incondicional y enseñanzas.

A mis abuelas Carmen y Alicia; mis tíos Oscar, Mercedes, Gaira, Yedith, Demetrio por su apoyo incondicional.

A mis hermanos Lucia, Flor, Skarlet, Katelyn, Eduardo, Elia, Melanie, por ser mi fortaleza. A mis sobrinos Ximena y Matías por alegrar mis días.

A mis amigos y familiares.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico otorgado durante la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, que me formó académicamente.

Al Dr. Anastacio Espejel García por su invaluable apoyo, sus conocimientos compartidos y facilidades para llevar a cabo la presente investigación.

A la Dra. Landy Hernández Rodríguez por su comprensión, sus conocimientos compartidos, contribución y orientación para la elaboración de esta investigación.

Al Dr. Arturo Hernández Montes por su paciencia, por dirigirme de la mejor manera con sus conocimientos compartidos y contribución en esta investigación.

A mis familiares y amigos, por su apoyo y amistad durante esta fase.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Ricardo Cruz Aguilar.

Fecha de nacimiento: 02 de abril de 1993

Lugar de nacimiento: Tehuiztingo, Puebla.

Cartilla militar: D-5913028

CURP: CUAR930402HMSRGC06

Profesión: Ingeniería Agroindustrial.

Cédula profesional: 12787137

Desarrollo académico

Bachillerato: Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Puebla.

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

DESARROLLO TECNOLÓGICO Y VALORIZACIÓN DE CERVEZAS, EMPLEANDO SEMILLA DE CAOBILLA Y MALTA DE MAÍZ AZUL.

Este estudio evaluó alternativas tecnológicas y económicas para sustituir insumos en la producción de cerveza, utilizando semillas de caobilla en lugar de lúpulo y malta de maíz azul en lugar de cebada. Primero se determinó el Punto de Igualdad Subjetiva (PIS) entre el amargor de la caobilla y el lúpulo, estableciendo que $11.44 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de caobilla equivalen a $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de lúpulo. Para la evaluación de la influencia de los insumos en las características fisicoquímicas de las cervezas se empleó un diseño de superficie de respuesta donde se observó que el tratamiento óptimo combinó 75% malta de cebada, 25% maíz azul, 71.62% lúpulo y 28.38% caobilla, con un costo por botella de \$16.56 MXN. Los 14 tratamientos obtenidos se sometieron a un análisis sensorial y se mostró que la cerveza con caobilla resaltó por su amargor, mientras que las cervezas de maíz azul y lúpulo destacaron por su sabor a maíz. Cuatro de las 14 muestras se analizaron su perfil de compuestos volátiles y semivolátiles mediante microextracción en fase sólida y cromatografía de gases, donde se encontraron ácidos, alcoholes y ésteres como compuestos clave. Por último, se realizó un análisis económico que mostró que los consumidores estarían dispuestos a pagar más por cervezas con malta de maíz azul (\$50.57 MXN) y caobilla (\$50.56 MXN), aunque el uso de lúpulo redujo el precio dispuesto a pagar. La etiqueta "cerveza nacional" tuvo un efecto negativo en la disposición a pagar en algunos casos, sin embargo, las cervezas con insumos nacionales tienen potencial en el mercado artesanal.

Palabras clave: Cerveza, semilla de caobilla, maíz azul, cebada

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Ricardo Cruz Aguilar.

Director de Tesis: Anastacio Espejel García, Dr.

GENERAL ABSTRACT

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND VALORIZATION OF BEERS USING CAOBILLA SEEDS AND BLUE CORN MALT.

This study evaluated technological and economic alternatives to replace key ingredients in the production of beer, using caobilla seeds instead of hops and blue corn malt instead of barley. First, the Point of Subjective Equality (PSE) between the bitterness of caobilla and hops was determined, establishing that $11.44 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of caobilla is equivalent to $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of hops. A response surface design was employed to assess the influence of the ingredients on the physicochemical characteristics of the beers, revealing that the optimal treatment combined 75% barley malt, 25% blue corn, 71.62% hops, and 28.38% caobilla, with a cost of \$16.56 MXN per bottle. The 14 treatments obtained were underwent a sensory analysis, showing that the beer with caobilla stood out for its bitterness, while the blue corn and hop beers highlighted their corn flavor. Four of the 14 samples had their volatile and semi-volatile compound profiles analyzed through solid-phase microextraction and gas chromatography, identifying acids, alcohols, and esters as key compounds. Lastly, an economic analysis revealed that consumers would be willing to pay more for beers with blue corn malt (\$50.57 MXN) and caobilla (\$50.56 MXN), though the use of hops lowered the willingness to pay. The "national beer" label negatively impacted willingness to pay in some cases, but beers made with national ingredients have potential in the craft market.

Keywords: Beer, caobilla seed, blue corn, barley

Master of Science Thesis, Master of Science in Agri-Food Science and Technology, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Ricardo Cruz Aguilar.

Thesis advisor: Anastacio Espejel García, Dr.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción y comercialización de cerveza en México ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, generando un impacto económico significativo tanto a nivel nacional como internacional. No obstante, los pequeños productores de cerveza artesanal enfrentan desafíos relacionados con altos costos operativos, particularmente en la adquisición de insumos como el lúpulo y la malta de cebada, que son en su mayoría importados. Estas condiciones limitan la rentabilidad y competitividad del sector artesanal.

El presente estudio tiene como objetivo general evaluar alternativas tecnológicas y económicas para la sustitución de insumos clave en la producción de cervezas tipo Ale. En concreto, se propone el uso de la semilla de caobilla (*Swietenia humilis* Zucc.) como sustituto del lúpulo y la malta de maíz azul (*Zea mays*) como sustituto de la malta de cebada (*Hordeum vulgare*). La hipótesis general de este trabajo consiste en que la malta de maíz azul y la semilla de caobilla, al ser materias primas de origen nacional, podrían disminuir considerablemente los costos de producción, mejorar la aceptación por los consumidores e inclusive aumentar la disposición a pagar.

Este trabajo establece las bases para el desarrollo y la valorización de nuevas fórmulas de cerveza artesanal con ingredientes locales. Además, complementa investigaciones previas sobre la sustitución de materias primas y puede servir como un punto de partida para estudios futuros sobre la viabilidad de la producción a gran escala de estos sustitutos, tanto en instituciones de investigación como en cervecerías artesanales.

Para lograr el objetivo general de esta investigación, el trabajo se dividió en capítulos, descritos en la presente tesis de maestría a partir del capítulo tres.

En el capítulo tres, el objetivo específico fue determinar el punto de igualdad subjetiva entre el lúpulo y la semilla de caobilla, así como estandarizar y analizar el efecto de las formulaciones de cervezas con distintas proporciones de maltas de maíz azul y cebada, además de lúpulo y semilla de caobilla. Este objetivo se planteó a partir de la hipótesis de que la semilla de caobilla y la malta de maíz azul pueden sustituir a la malta de cebada y el lúpulo en la elaboración de cerveza, sin alterar sus características sensoriales y fisicoquímicas.

En el capítulo cuatro, el objetivo fue caracterizar sensorialmente las muestras, partiendo de la hipótesis de que las cervezas elaboradas con malta de maíz azul y semilla de caobilla presentarían características sensoriales distintivas que permitirían diferenciarlas de las cervezas hechas con malta de cebada y lúpulo.

En el capítulo cinco, el objetivo consistió en identificar los compuestos volátiles de cuatro muestras de cerveza mediante cromatografía de gases. La hipótesis planteada fue que las cervezas elaboradas con malta de maíz azul y semilla de caobilla se diferenciarían de las elaboradas con malta de cebada y lúpulo en cuanto a sus compuestos volátiles y semivolátiles.

Finalmente, en el capítulo seis, el objetivo fue analizar la disposición a pagar (DAP) utilizando técnicas de experimentos de elección discreta. La hipótesis correspondiente estableció que las cervezas elaboradas con malta de maíz azul y semilla de caobilla generarían una mayor disposición a pagar por parte de los consumidores.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cerveza

La cerveza es una bebida alcohólica elaborada con cuatro ingredientes principales: agua, malta de cebada, lúpulo y levadura. A pesar del uso común de la cebada es fácil encontrar cervezas elaboradas con otros cereales malteados o con mezcla de granos malteados y sin maltear (Hailee et al., 2019; Parker, 2012).

2.1.1 Origen

En los primeros tiempos del sedentarismo humano, cuando se comenzó la domesticación de plantas y animales, surgió la necesidad de conservar alimentos, especialmente granos y semillas, por ser fuentes vitales de carbohidratos, proteínas y nutrientes. Durante el almacenamiento de estos productos, la alta humedad y la presencia de microorganismos pudieron haber llevado al descubrimiento de la fermentación, donde los azúcares se transforman en alcohol y otros compuestos (Meussdoerffer, 2009).

Aunque no existe un registro exacto del origen de la cerveza, su desarrollo se ha perfeccionado a lo largo de milenios. Los primeros registros de bebidas fermentadas a partir de cebada se encontraron en Sumeria, donde se conocía una bebida llamada Sikaru, obtenida de la fermentación de pan de cebada. Además, se cree que en Egipto se desarrolló el proceso de malteo de la cebada (Pilla y Vinci, 2011). En Europa, la cerveza se popularizó y se elaboraba con microorganismos presentes en el aire dando origen a las cervezas Lambic. Antes de que el lúpulo fuera común, se usaba una mezcla de hierbas y malta llamada Gruit, que incluía plantas como el Mirto de Brabante, Laurel, Alcaravea, hojas de *Laserpitium siler* y resina de pinos (Ruis, 2016; Verberg, 2020). Posteriormente,

se descubrió que la flor femenina del lúpulo mejoraba la aceptación y conservación de la cerveza (Mulder, 2017).

2.1.2 Producción y comercio

Antes de la llegada de la cerveza, el pulque era la bebida alcohólica fermentada más consumida en México. Este comercio generó importantes capitales, pero el pulque fue desplazado del mercado (Bernáldez-Camiruaga, 2013).

En 2019, México fue el cuarto productor mundial de cerveza y el principal exportador de esta bebida, representando el 65% del valor de la producción de bebidas alcohólicas en el país (Cerveceros de México, 2021). Sin embargo, los altos costos de producción de la cerveza artesanal se deben a la importación de insumos como el lúpulo, que no se produce en México, y la malta de cebada, acaparada por el duopolio cervecero de Grupo Modelo (Anheuser-Busch InBev) y Heineken México, que controla el 99% de la producción y ventas nacionales (Deloitte SL, 2017). Las pequeñas cervecerías artesanales también importan levaduras, elevando los costos de producción y, por ende, el precio de venta en comparación con las cervezas industriales.

La popularidad de la cerveza artesanal en México se debe a la influencia de Estados Unidos, donde en los años 80 predominaban las cervezas lager y light producidas masivamente, lo que dio pauta a que los consumidores buscaran cervezas locales de estilos clásicos (Poelmans y Swinnen, 2011). Este movimiento dio origen a la cerveza artesanal en México, caracterizada por el uso de insumos de alta calidad y procesos manuales (Albán-Cabaco et al., 2015; Garavaglia y Swinnen, 2018).

2.1.3 Composición

La composición de una cerveza se determina por la proporción de sus materias primas. Para una cerveza con un contenido alcohólico del 4%, la composición

típica sería aproximadamente 94% agua, hasta 2% de azúcares residuales y alrededor de 0.1% compuestos volátiles (Parker, 2012).

Agua

Es el ingrediente principal de la cerveza, llegando a componer más del 90% de la misma, sin embargo, su composición de sales influye en el sabor final (Parker, 2012).

Malta

Los cereales contienen azúcares en forma de almidón, que no es fermentable por la levadura, por ello es necesario realizar el malteo de los granos. Un malteo controlado produce las enzimas necesarias para transformar el almidón en azúcares fermentables (Parker, 2012). Una vez acondicionado, el grano malteado se usa para elaborar cerveza.

El grano más común en la elaboración de cerveza es la cebada (*Hordeum vulgare*), que se clasifica en dos categorías según su estructura: cebada de 2 hileras (2H) y de 6 hileras o 6H (Parker, 2012).

Lúpulo

La planta de lúpulo (*Humulus lupulus*) fue clasificada inicialmente en la familia *Cannabinaceae*, pero en 1972 se cambió a la familia *Cannabaceae*, que incluye a los géneros *Celtis* y *Cannabis* (Hieronymous, 2012; Parker, 2012). La flor femenina del lúpulo aporta varios atributos a la cerveza artesanal, como amargor, aroma, sabor, sensación en boca, retención de espuma, estabilidad del sabor y protección contra ciertos microorganismos (Hieronymous, 2012; Parker, 2012). En la industria cervecera, las resinas y aceites esenciales del lúpulo son sus componentes más importantes. Las resinas contienen compuestos que proporcionan amargor, principalmente los α -ácidos o humulonas, que constituyen del 2% al 15% de la materia seca de la flor y se transforman en iso- α -ácidos más amargos durante el hervido del mosto (Hieronymous, 2012; Parker, 2012). La

percepción del amargor varía según la variedad de lúpulo y su procesamiento (flor entera, extracto de CO₂, pellets o extracto isomerizado), así como el rendimiento durante el hervido y la fermentación (Janish, 2021; Parker, 2012).

Levadura

Forman un grupo de microorganismos de los cuales algunas especies son responsables de la fermentación alcohólica. Su importancia radica no solo en la producción de alcohol, ya que de alrededor de 1000 compuestos que se han descrito de la cerveza, 600 son derivados de la levadura (White y Zainasheff, 2010; Parker, 2012). Sin embargo, el perfil sensorial final de la cerveza depende de la composición original del mosto y la cepa de levadura usada, las cuales comúnmente se clasifican en 3 grupos (Parker, 2012; Spitaels et al. 2014), cuyas características se describen en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Características generales de levaduras empleadas en la fermentación de cerveza.

Nombre común	Nombre científico	Rango de temperatura de fermentación (°C)
Levadura tipo Ale	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	16 – 22
Levadura tipo Lager	<i>Saccharomyces Carlsbergensis</i>	6 – 16
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
	<i>Saccharomyces pastorianus</i>	
Fermentación espontanea	<i>Brettanomyces lambicus</i>	variable
	<i>Brettanomyces Bruxellensis</i>	
Fuente: Elaboración propia con datos de Parker, 2012; Spitaels et al., 2014		

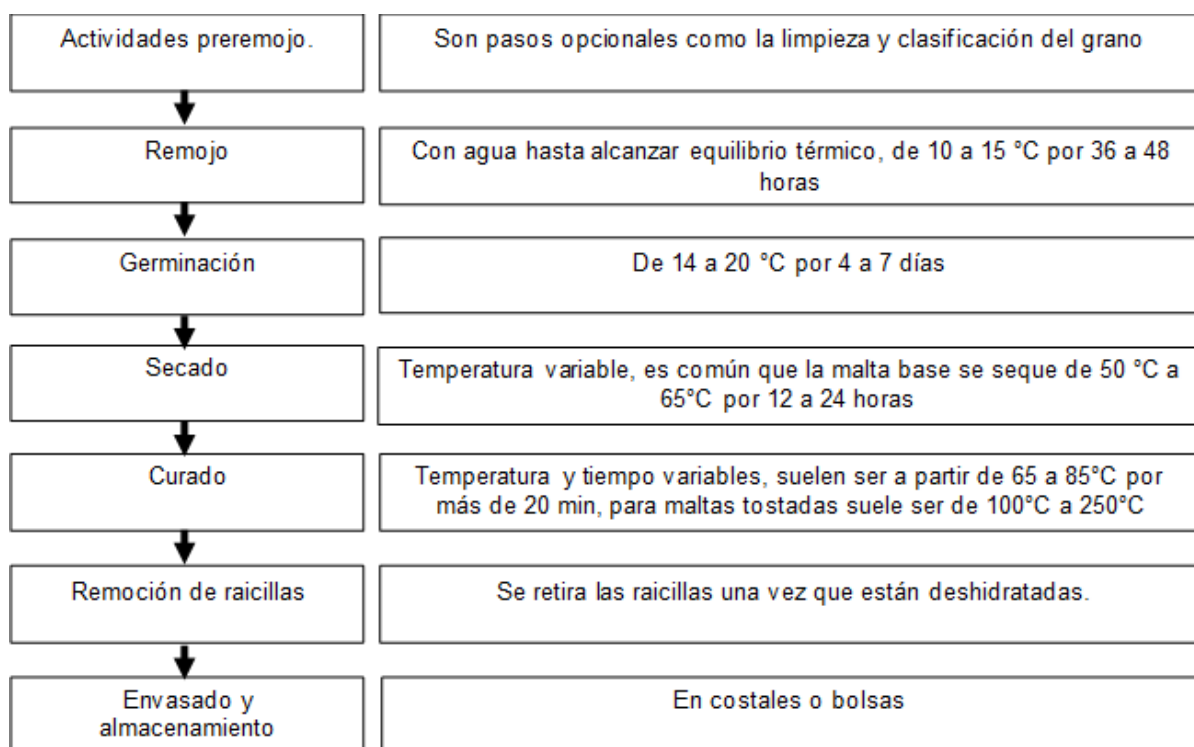
A pesar de esta clasificación, originalmente la cerveza se fermentaba usando las levaduras presentes en el medio ambiente creando una fermentación mixta entre levaduras y bacterias, lo que dio origen a las cervezas tipo Lambic, producidas en Bélgica y otras zonas de Europa (Spietels et al. 2014; Bongaerts et al. 2021).

Adjuntos

Son fuentes de carbohidratos provenientes principalmente de cereales sin maltear, los cuales se agregan en la maceración (Parker, 2012).

2.1.5 Proceso productivo de malta

El grano de los cereales consiste en un embrión, reservas compactadas y, en algunos casos, una cáscara protectora. Durante la germinación, los componentes internos se modifican, se crean enzimas y se degrada la estructura proteica. Aunque la germinación de los granos parece sencilla, la transformación en malta requiere equipos, materiales y condiciones adecuadas (Mallet, 2014; Carvalho et al., 2016). Sin embargo, el proceso incluye varias fases adicionales para asegurar el desarrollo adecuado de la malta, como se muestra en la Figura 1.



Fuente: Elaboración propia con datos de Mallet (2014); Carvalho, et al. (2016); y Rani y Bhardwaj (2021).

Figura 1. Fases de la producción de malta

Realizado el malteo se obtiene lo que se conoce como malta base, la cual se caracteriza por aportar la mayor parte de enzimas y azúcares fermentables, no obstante, se puede tostar el grano malteado para originar las maltas de especialidad (Parker, 2012; Mallet, 2014; Carvalho, et al. 2016; Rani y Bhardwaj, 2021), siendo las principales características las descritas en la Cuadro 2:

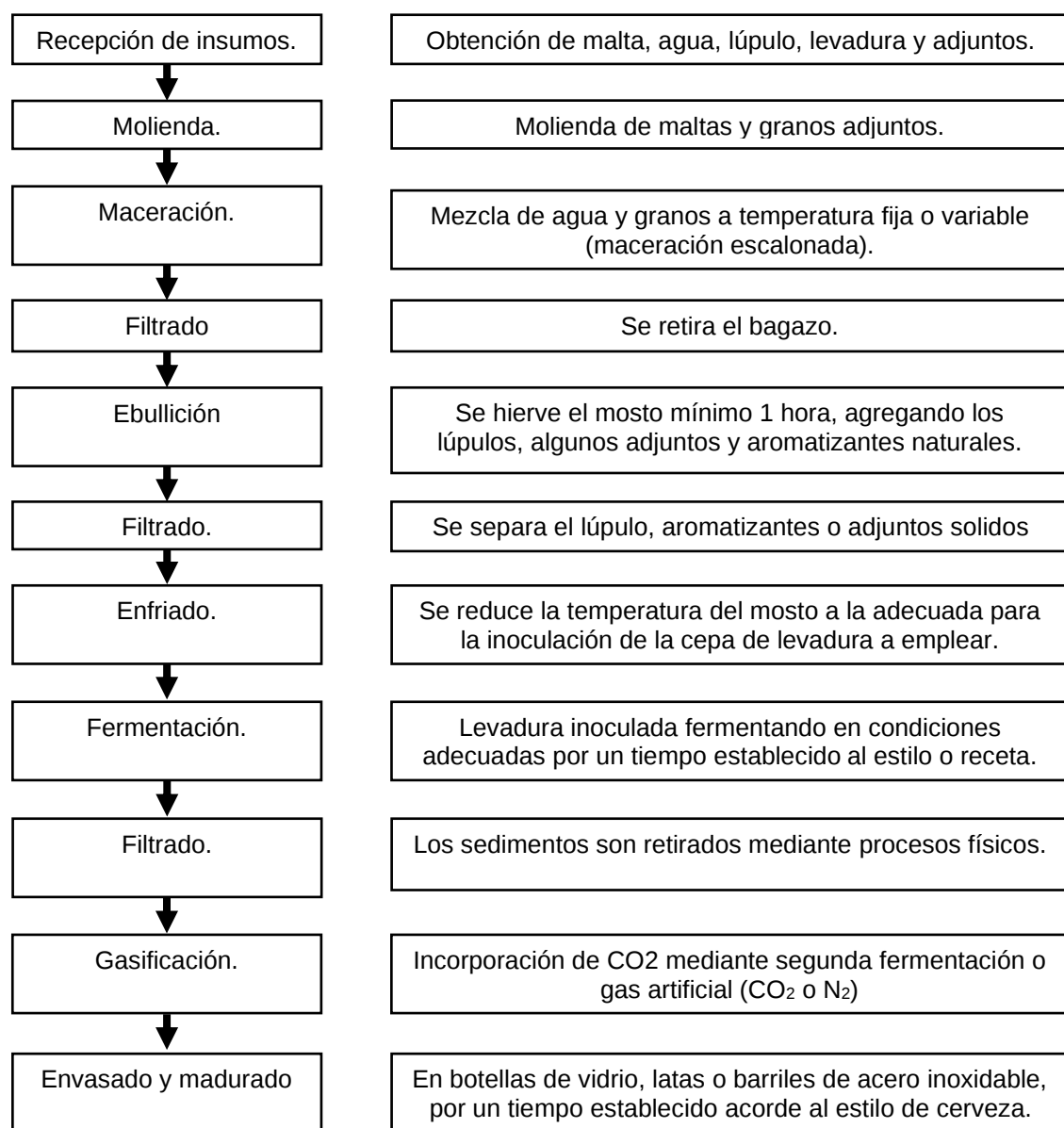
Cuadro 2. Tipos de malta y sus características.

Tipo de malta	Características	Temperatura de tostado
Maltas base tipo Lager	Contiene alto poder enzimático, brinda sabores a malta, dulce y nuez.	70 – 95 °C
Maltas base tipo Ale	Contiene las enzimas necesarias, brinda colores dorados, sabores y aromas dulces, tostados, a granos y nuez.	
Caramalt	Notas dulces y de caramelo.	> 100 °C
Crystal	Aporta sabor dulce, frutal y caramelo	
Amber	Da aromas y sabores parecidos a galleta, pan, malta y amargor	220 – 250°C
Chocolate	Da astringencia y color oscuro a la cerveza, otorga notas tostadas y de chocolate	
Black	Da astringencia y color oscuro a la cerveza, también brinda notas tostadas y de café.	

Fuente: Elaboración propia con datos de Mallet, (2014); Parker (2012); Carvalho, et al. (2016); y Rani y Bhardwaj (2021).

2.1.6 Proceso de elaboración de cerveza

El proceso de elaboración de cerveza suele ser variable dependiendo el estilo a elaborar, la técnica del productor y el equipo a utilizar, sin embargo, de forma general el proceso se ilustra en la Figura 2.



Fuente: Elaboración propia con información de Palmer (2017) y Pilla y Vinci (2011).

Figura 2. Diagrama de bloques del proceso general de elaboración de cerveza.

Molienda.

Tiene por objeto triturar la malta, pero es necesario que la cascarilla permanezca tan entera como sea posible y que, en cambio, el endospermo se muele hasta un tamaño de partícula que permita la fácil liberación de los azúcares y almidones. Si la cascarilla se desintegra mucho, esta no podrá formar un filtro eficaz y permeable durante la circulación del mosto y en el caso contrario la cascarilla

muy rota libera más sustancias tánicas las cuales no son deseables en la cerveza (Hough, 1990).

Maceración.

Es la fase en la que se obtiene una mezcla de azúcares disueltas en agua, esto se obtiene mezclando el agua con malta, y de manera opcional, otros cereales molidos que funcionen como adjuntos. Esta mezcla se calienta hasta llegar a una temperatura fija para poder activar las enzimas deseables siendo la relación entre las enzimas y su temperatura de trabajo mostradas en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Condiciones de activación de enzimas.

Enzima	Temperatura óptima.	pH óptimo (a 25°C).	Función
Fitasa ^a	35–45°C	4.5–5.2	Reduce el pH del mosto, sin embargo, no se considera indispensable.
Beta gluconasa ^{bc}	40–48°C	4.5–5.5	Rompe polisacáridos de los cereales sin maltear.
Proteasa ^d	45–55°C	5.0–5.5	Solubiliza proteínas insolubles.
Peptidasa ^d	45–55°C	5.0–5.5	Produce Nitrógeno amino libre (FAN) de proteínas solubles.
Alpha-glucosidasa ^{eg}	60–70°C	5.0–5.5	Divide la maltosa y otros azúcares en glucosa.
Beta amilasa ^c	55–65°C	5.4–5.5	Produce maltosa
Alfa amilasa ^{cg}	60–70°C	5.6–5.8	Produce una variedad de azúcares como dextrina e incluso maltosa.

Fuente: Cuadro adaptado de palmer (2017) con datos de: a. Lee (1990); b. Muller (1995); c. Kunze (2014); d. Jones y Budde (2005); e. MacGregor y Lenoir (1987); f. Stenholm y Home (1999); g. Macgregor, (1987).

Las enzimas más importantes en el malteado y en la elaboración de cerveza son las amilasas α y β , las cuales se denominan así, según la posición del hidroxilo del carbono 1 del carbohidrato producido (Hough, 1990; Palmer, 2017).

Filtrado.

Consiste en separar el extracto acuoso, denominado mosto dulce, de los cereales agotados denominados como “bagazo” (Hough, 1990).

Ebullición.

En esta etapa, el mosto se hierve durante al menos una hora, lo que permite obtener compuestos aromáticos y sabores del lúpulo, evaporar productos volátiles indeseables, coagular proteínas y taninos, esterilizar el mosto, detener la actividad enzimática, precipitar fosfato de calcio reduciendo el pH, evaporar agua para concentrar el mosto y producir colores oscuros mediante la caramelización de azúcares (Hough, 1990).

Enfriado.

Al finalizar el proceso de hervor, el mosto debe enfriarse de inmediato. La temperatura final de enfriamiento dependerá del estilo de cerveza que se vaya a elaborar y de las condiciones óptimas para la inoculación de la cepa de levadura que se utilizará.

Fermentación.

Después de enfriar el mosto, mediante condiciones asépticas se inocula la cepa de levadura de interés para que durante esta fase las levaduras actúen sobre los azúcares produciendo alcohol etílico, gas carbónico y otros metabolitos que ayudan al aroma y sabor final (Hough, 1990).

Filtrado

Al final de la fermentación, la cerveza contiene levadura y sólidos en suspensión, por lo que puede filtrarse antes de envasar. Esto se logra enfriando el mosto a menos de 0 °C durante al menos 3 días para sedimentar los sólidos (Parker, 2012; Pilla y Vinci, 2011). En las cervezas carbonatadas con fermentación en botella, el azúcar añadido provoca una segunda fermentación que genera nuevas levaduras, visibles como sedimento en el fondo de los envases (Parker, 2012; Pilla y Vinci, 2011).

Gasificación.

El proceso de carbonatación de la cerveza recién fermentada y filtrada puede realizarse mediante dos métodos:

Carbonatación natural: Se añaden azúcares fermentables antes de embotellar, provocando una segunda fermentación en la botella sin permitir la salida de CO₂. La cantidad de azúcar varía según el tipo de carbohidrato, su pureza y el nivel de CO₂ deseado en el producto final.

Carbonatación forzada: Se suministra CO₂ o N₂ de una fuente externa, sin necesidad de una segunda fermentación.

Envasado y madurado.

Generalmente la cerveza se envasa en botellas o latas, evitando el contacto del mosto con el aire ya que el oxígeno puede perjudicar la calidad sensorial (Parker, 2012). Después de la carbonatación se desarrollan aromas y sabores que requieren un tiempo óptimo de maduración antes del consumo. Tras la maduración, es común pasteurizar la cerveza para prolongar su vida útil.

2.2 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de la cerveza es una herramienta crucial en la industria cervecera para asegurar la calidad y consistencia constante de la cerveza y de las materias primas utilizadas (Gómez-López, 2020; Habschied, et al. 2022; Habschied, 2023). Esta evaluación implica el uso de métodos científicos y técnicos para analizar atributos sensoriales como el sabor, aroma, cuerpo y otros aspectos que afectan la percepción del consumidor.

2.2.1 Perfil Flash

El perfil Flash (PF) es una metodología rápida de análisis sensorial que se ha desarrollado como una alternativa a los métodos descriptivos tradicionales. Este método se basa en la elección libre de atributos con una evaluación comparativa de todo el conjunto de productos, permitiendo a los evaluadores elegir y usar sus propias palabras para describir los productos (Delarue, 2015; Delarue y Sieffermann, 2004; Lassoued et al. 2008). Esta metodología se caracteriza por ser más rápida que los métodos descriptivos convencionales, lo que lo hace adecuado para necesidades industriales donde el tiempo y los recursos son limitados (Delarue y Sieffermann, 2004; Delarue, 2015; Petit y Vanzeveren, 2015).

El Perfil Flash puede proporcionar una discriminación clara entre productos y un mapeo sensorial preciso, aunque puede ser menos detallado en términos semánticos comparado con los métodos convencionales (Delarue y Sieffermann, 2004; Liu, et al. 2016; Liu, et al. 2018)

Los datos obtenidos del Perfil Flash se analizan comúnmente mediante técnicas estadísticas multivariantes como el Análisis Generalizado de Procrustes (GPA) y el Análisis de Factores Múltiples (MFA) para evaluar la correspondencia y las correlaciones entre los atributos sensoriales y las mediciones instrumentales (Lassoued et al. 2008; Petit y Vanzeveren, 2015). También puede ser adaptado y modificado para mejorar la discriminación y reproducción, incluyendo la limitación del número de atributos y la capacitación del panel en el método o en las propiedades sensoriales del producto (Dehlholm, et al. 2012; Liu, et al. 2016; Liu, et al. 2018;)

2.2.1 Punto de igualdad subjetiva.

El punto de igualdad subjetiva (PIS) es utilizado para determinar el punto en el cual un estímulo variable es percibido como igual a un estímulo estándar. Las aplicaciones de esta metodología incluyen la evaluación de alimentos y bebidas

para determinar cuándo dos productos son percibidos como igual de dulces, salados, amargos, entre otros; también es útil en estudios de percepción sensorial para investigar cómo diferentes personas perciben estímulos y cómo estas percepciones varían entre individuos o grupos; los resultados obtenidos del PIS son útiles para el desarrollo de productos, ajustando sus propiedades sensoriales para que se perciban de manera deseada en comparación con un producto de referencia. Esta técnica permite estimar el punto de igualdad subjetiva mediante diversos métodos, entre los que destacan:

Método de estímulos constantes con modelos logísticos extendidos: proporcionan un marco teórico para calcular umbrales individuales y generales cuando se aplica el método de estímulos constantes utilizando una elección forzada con más de dos alternativas. Lo cual mejora las estimaciones del PSE individual y permite realizar pruebas de ajuste para verificar la concordancia entre el modelo y los datos (Burro et al. 2011).

Método de máxima verosimilitud adaptativa (Best PEST): Este método es eficiente para encontrar umbrales de diferencia y el PSE, utilizando procedimientos adaptativos para maximizar la eficiencia (Pokorny, 1998).

Modelos de Rasch: Permiten estimar el PSE de un observador sin presentar todos los pares de estímulos, lo cual es útil en situaciones donde se requiere limitar el número de pruebas (Burro et al. 2011; Vidotto et al. 2019)

Método de pasos aleatorios: Este método sigue una regla de "uno arriba, uno abajo" con un tamaño de paso aleatorio dentro de un rango predefinido de niveles de prueba (Wang y Reynaud, 2023).

2.3 Cromatografía

El análisis de cromatografía es una técnica analítica que se ha empleado para identificar, separar y cuantificar compuestos presentes en una mezcla. En el estudio de los alimentos, entre ellos las bebidas alcohólicas, se emplea

principalmente para detectar compuestos volátiles que influyen en el aroma y sabor, lo cual ayuda a analizar la calidad y seguridad del producto. Sin embargo, no existe una técnica única para realizar la evaluación de estos compuestos. Entre algunas técnicas empleadas se encuentran la cromatografía de gases (GC) con etanol como estándar que permite la determinación directa de compuestos volátiles en bebidas espirituosas (Charapitsa et al. 2013; 2019). Otra técnica es la microextracción en fase sólida en espacio de cabeza (HS-SPME) que al combinarse con GC y detección por emisión atómica es efectiva para detectar compuestos orgánicos volátiles de azufre y selenio en cervezas, vinos y licores (Campillo, 2009), y también se ha utilizado para analizar componentes volátiles polares en bebidas alternativas a la leche de nueces (Manousi y Zachariadis, 2019). En cambio, la cromatografía de gases-olfactometría (GC-O) se utiliza para evaluar la actividad sensorial de los componentes volátiles en bebidas alcohólicas, permitiendo la evaluación cualitativa y cuantitativa del olor (Plutowska y Wardencki, 2008). Un método más específico es el purge-and-trap capillary gas chromatography (PT-GC) con detección por emisión atómica, este es eficaz para la determinación simultánea de compuestos orgánicos halogenados volátiles en aguas y bebidas, incluyendo cervezas y jugos (Campillo et al. 2004). En cambio, la microextracción líquido-líquido combinada con GC-MS es útil para analizar compuestos volátiles en bebidas fermentadas, mostrando robustez y precisión (Coelho et al. 2020).

2.4 Valoración económica

La valorización económica de los bienes de no mercado es la práctica de asignar un valor monetario a bienes y servicios que no se comercializan en mercados tradicionales, a manera de ejemplo puede ser la biodiversidad, la tranquilidad, entre otros. Esta práctica es útil en las decisiones de políticas públicas y análisis costo-beneficio y pueden realizarse mediante métodos de preferencia revelada (PR) y métodos de preferencia declarada (PD).

Métodos de preferencias reveladas

Toman como base el comportamiento real observado de los individuos en el mercado, utilizando datos de decisiones pasadas para inferir preferencias (Zhang y Xie, 2012; Alberini, 2019; Loomis, 2009). Entre sus ventajas está el hecho de que está basado en datos de comportamiento real, lo que brinda una mayor validez externa y fiabilidad (Alberini, 2019; Loomis, 2009). Sin embargo, está limitado a situaciones donde existen datos de mercado, lo que restringe su aplicabilidad a bienes que no cuentan con un mercado (Zhang y Xie, 2012; Alberini, 2019).

Métodos de preferencias declaradas

Estas metodologías se basan en escenarios hipotéticos donde se pregunta a los individuos sobre sus valoraciones y decisiones en situaciones simuladas para aquellos bienes o servicios que no cuenten con un mercado consolidado (Ben-Akiva, et al. 2019; Haab et al. 2020), lo que permite explorar múltiples escenarios y obtener datos sobre preferencias que no se observan en el mercado real (Johnston et al. 2017), sin embargo, pueden estar sujetos a sesgos hipotéticos y problemas de validez interna, ya que las respuestas pueden no reflejar el comportamiento real de los individuos (Dolan y Metcalf, 2008; Haab et al. 2020).

Entre las diversas técnicas de preferencias declaradas esta la valoración de bienes y servicios multiatributo, esta se clasifica en dos categorías: enfoques basados en preferencias y enfoques basados en elección. En los enfoques basados en preferencias, los entrevistados califican escenarios utilizando una escala cardinal con números continuos. En contraste, los enfoques basados en elección permiten a los encuestados seleccionar entre opciones mediante una escala ordinal, que simula decisiones más cercanas a la realidad (Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017ab). Dentro de esta última categoría se encuentran los experimentos de elección discreta (EED), una técnica que permite evaluar las preferencias individuales sobre escenarios hipotéticos. Esta metodología utiliza encuestas donde los participantes eligen entre varias

alternativas de bienes o servicios con atributos modificados mediante un diseño experimental. Las elecciones de los encuestados proporcionan información valiosa sobre los atributos y niveles de los bienes o servicios, así como sobre las compensaciones que consideran en su proceso de toma de decisiones (Cantillo et al., 2020).

2.5 Literatura consultada

- Albán-Cabaco, B., Nuñez-Tabales, J. M., y Sánchez-Cañizares, S. M. (2015). El sector cervecero artesanal español y sus posibilidades de internacionalización. *Regional and Sectoral Economic Studies*, 15(2), 146.
- Alberini, A. (2019). Revealed versus Stated Preferences: What Have We Learned About Valuation and Behavior?. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13, 283 - 298. <https://doi.org/10.1093/reep/rez010>.
- Ben-Akiva, M., McFadden, D., y Train, K. (2019). Foundations of Stated Preference Elicitation: Consumer Behavior and Choice-based Conjoint Analysis. *Foundations and Trends® in Econometrics*. 10(1-2), 1 - 144 <https://doi.org/10.1561/08000000036>.
- Bernáldez-Camiruaga, A. I. (2013). Cerveza artesanal en México: ¿soberanía cervecera y alimentaria? *CULINARIA revista especializada en gastronomía*. 6, 56-63.
- Burro, R., Sartori, R., y Vidotto, G. (2011). The method of constant stimuli with three rating categories and the use of Rasch models. *Quality & Quantity*, 45, 43-58. <https://doi.org/10.1007/S11135-009-9282-3>.
- Campillo, N., Peñalver, R., López-García, I., y Hernández-Córdoba, M. (2009). Headspace solid-phase microextraction for the determination of volatile organic sulphur and selenium compounds in beers, wines and spirits using gas chromatography and atomic emission detection. *Journal of chromatography*. 1216(39), 6735-6740. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.08.019>.
- Campillo, N., Viñas, P., López-García, I., Aguinaga, N., y Hernández-Córdoba, M. (2004). Purge-and-trap capillary gas chromatography with atomic emission detection for volatile halogenated organic compounds determination in waters and beverages. *Journal of chromatography*. 1035(1), 1-8 . <https://doi.org/10.1016/J.CHROMA.2004.02.029>.
- Cantillo, J., Martín, J. C., y Román, C. (2020). Discrete choice experiments in the analysis of consumers' preferences for finfish products: A systematic literature review. *Food Quality and Preference*. 84, 1 – 25. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103952>
- Carvalho, D. O., Gonçalves, L. M., y Guido, L. F. (2016). Overall Antioxidant Properties of Malt and How They Are Influenced by the Individual Constituents of Barley and the Malting Process. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 927–943. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12218>

- Cerveceros de México. (2021). La agroindustria cervecera en México. Reporte anual. Cámara de la cerveza. En línea: <https://cervecerosdemexico.com/revistas/reporte-enero-marzo-2022.pdf>
- Charapitsa, S., Sytova, S., Korban, A., y Sobolenko, L. (2019). Single-Laboratory Validation of a Gas Chromatographic Method of Direct Determination of Volatile Compounds in Spirit Drinks: Need for an Improved Interlaboratory Study. *Journal of AOAC International*, 102(2), 669-672 . <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0258>.
- Coelho, E., Lemos, M., Genisheva, Z., Domingues, L., Vilanova, M., y Oliveira, J. (2020). Validation of a LLME/GC-MS Methodology for Quantification of Volatile Compounds in Fermented Beverages. *Molecules*, 25. <https://doi.org/10.3390/molecules25030621>.
- Dehlholm, C., Brockhoff, P., Meinert, L., Aaslyng, M., y Bredie, W. (2012). Rapid descriptive sensory methods – Comparison of Free Multiple Sorting, Partial Napping, Napping, Flash Profiling and conventional profiling. *Food Quality and Preference*, 26, 267-277. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2012.02.012>.
- Delarue, J. (2015). Flash Profile, its evolution and uses in sensory and consumer science. *Rapid Sensory Profiling Techniques*, 121–151. <https://doi.org/10.1533/9781782422587.2.121>.
- Delarue, J., y Sieffermann, J. (2004). Sensory mapping using Flash profile. Comparison with a conventional descriptive method for the evaluation of the flavour of fruit dairy products. *Food Quality and Preference*, 15, 383-392. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(03\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(03)00085-5).
- Deloitte SL . (2017). Cerveza artesanal: una experiencia multisensorial. [En línea]. Recuperado el 13 de septiembre de 2023, de: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/consumer-business/2017/Cerveza-Artesanal-Mexico-2017.pdf>
- Dolan, P., y Metcalf, R. (2008). Comparing willingness-to-pay and subjective well-being in the context of non-market goods. LSE Research Online Documents on Economics.
- Garavaglia, C. y Swinnen J. (2018) Economics of the Craft Beer Revolution: A Comparative International Perspective. *Economic Perspectives on Craft Beer*. Palgrave Macmillan, 03-51. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58235-1_1.
- Gómez-López, J. (2020). Sensory evaluation of beer. The Craft Brewing Handbook. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102079-1.00007-2>.

- Haab, T., Lewis, L., y Whitehead, J. (2020). State of the Art of Contingent Valuation. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.450>.
- Habschied, K., Ćosić, I., Šarić, G., Krstanović, V., y Mastanjević, K. (2023). Sensory Analysis Coupled with Gas Chromatography/Mass spectrometry Analysis in Craft Beer Evaluation. *Fermentation*. 9(8), 747. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080747>.
- Habschied, K., Krstanović, V., y Mastanjević, K. (2022). Beer Quality Evaluation—A Sensory Aspect. *Beverages*. 8(1), 15 <https://doi.org/10.3390/beverages8010015>.
- Hailee E. A., Santos I. C., Hildenbrand Z. L. y Schug K.A. (2019). Review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control, *Analytica Chimica Acta*, 1085, 1-20, <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.061>.
- Hieronymus, S. (2012). For the love of hops: The practical guide to aroma, Bitterness and the culture of Hops. Boulder, Colorado, Estados Unidos de Norteamérica: Brewers Association.
- Hough, J. S. (1990). Biotecnología de la cerveza y la malta. Zaragoza, España: Acibia, S.A.
- Janish, S. (2021). La nueva IPA. Una guía científica sobre el aroma y el sabor del lúpulo. Panamá, República de Panamá: Libros de Guarda, S.A.
- Johnston, R., Boyle, K., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T., Hanemann, W., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R., Tourangeau, R., y Vossler, C. (2017). Contemporary Guidance for Stated Preference Studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4, 319 - 405. <https://doi.org/10.1086/691697>.
- Jones, B. L., y Budde, A. D. (2005). How various malt endoproteinase classes affect wort soluble protein levels. *Journal of Cereal Science*, 41(1), 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.09.007>.
- Kunze W. (2014). Technology brewing and malting. Editado por Olaf Hendel Versuchs Und Lehranstalt Für Brauerei, (Quinta Edición); Berlín, Alemania.
- Lassoued, N., Delarue, J., Launay, B., y Michon, C. (2008). Baked product texture: Correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. *Journal of Cereal Science*, 48, 133-143. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2007.08.014>.

- Lee, W. J. (1990). Phytic Acid Content and Phytase Activity of Barley Malt. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 48(2), 62–65. <https://doi.org/10.1094/asbcj-48-0062>.
- Liu, J., Bredie, W., Sherman, E., Harbertson, J., y Heymann, H. (2018). Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile. *Food research international*, 106, 892-900 . <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.062>.
- Liu, J., Grønbeck, M., Monaco, R., Giacalone, D., y Bredie, W. (2016). Performance of Flash Profile and Napping with and without training for describing small sensory differences in a model wine. *Food Quality and Preference*, 48, 41-49. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2015.08.008>.
- Loomis, J. (2009). Nancy Bockstael and Kenneth McConnell, Environmental and Resource Valuation with Revealed Preferences: A Theoretical Guide to Empirical Models. *Environmental and Resource Economics*, 42, 133-135. <https://doi.org/10.1007/S10640-008-9240-X>.
- Macgregor, A. W. (1987). α -Amylase, Limit Dextrinase, and α -Glucosidase Enzymes in Barley and Malt. *Critical Reviews in Biotechnology*, 5(2), 117–128. <https://doi.org/10.3109/07388558709086972>.
- MacGregor, A. W., y Lenoir, C. (1987). STUDIES ON α -GLUCOSIDASE IN BARLEY AND MALT*. *Journal of the Institute of Brewing*, 93(4), 334–337. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1987.tb04515.x>.
- Mallet, J. (2014). Malt, A practical guide from field to brewhouse. Boulder, Colorado, EE.UU: Brewers Publications.
- Manousi, N., y Zachariadis, G. (2019). Determination of Volatile Compounds in Nut-Based Milk Alternative Beverages by HS-SPME Prior to GC-MS Analysis. *Molecules*, 24(17), 3091. <https://doi.org/10.3390/molecules24173091>.
- Meussdoerffer, F. G. (2009). A Comprehensive History of Beer Brewing. En Eßlinger H., M. (Eds.). Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets. (pp. 01–42). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Mulder, R. (2017). Further notes on the essence of gruit: An alternative view. *The Brewery History Society Brewery History*. (169), 73-76.
- Muller, R. (1995). Factors Influencing the Stability of Barley Malt β -Glucanase During Mashing. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 53(3), 136–140. <https://doi.org/10.1094/asbcj-53-0136>.

- Palmer, J. J. (2017). How to Brew. Everything you need to know to brew great beer every time. Brewers Publication. Boulder, Colorado.
- Parker, D. K. (2012). Beer: production, sensory characteristics and sensory analysis. En Piggot, J. (Ed). Alcoholic beverages. Sensory evaluation and consumer research. (pp 133-158). Woodhead Publishing.
- Petit, C., y Vanzeveren, E. (2015). Adoption and use of Flash Profiling in daily new product development: a testimonial. 335 - 344. *Rapid Sensory Profiling Techniques*, 335–344. <https://doi.org/10.1533/9781782422587.3.335>.
- Pilla, S., y Vinci, G. (2011). Cervezas de todo el mundo: Enciclopedia práctica. Barcelona, España: De Vecchi Ediciones.
- Plutowska, B., y Wardencki, W. (2008). Application of gas chromatography–olfactometry (GC–O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages – A review. *Food Chemistry*. 107, 449-463. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.08.058>.
- Poelmans, E. y Swinnen, J. F. M. (2011). From Monasteries to Multinationals (and Back): A Historical Review of the Beer Economy. *Journal of Wine Economics*. 6(2), 196–216. <https://doi.org/10.1017/S1931436100001607>.
- Pokorny, R. (1998). Using maximum-likelihood adaptive methods to estimate difference thresholds and points of subjective equality. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*. 30, 624-636. <https://doi.org/10.3758/BF03209480>.
- Rani, H. y Bhardwaj, R. D. (2021) Quality attributes for barley malt: “The backbone of beer.” *Journal of Food Science*. 86, 3322–3340. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15858>.
- Ruis, F. (2016). A note on the essence of gruit. The Brewery History Society Brewery History. 166, 50-53.
- Spitaels, F., Wieme, A. D., Janssens, M., Aerts, M., Heide-Marie, D. Van-Landschoot, A., De-Vuyst, L., Vandamme, P. (2014) The Microbial Diversity of Traditional Spontaneously Fermented Lambic Beer. *PLoS ONE*. 9(4): e95384. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095384>.
- Stenholm, K., y Home, S. (1999). A New Approach to Limit Dextrinase and its Role in Mashing. *Journal of the Institute of Brewing*, 105(4), 205 – 210. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1999.tb00020.x>.
- Tudela-Mamani, J. W., y Leos-Rodríguez, J. A. (2017). Herramientas metodológicas para aplicaciones del Experimento de elección. Universidad

Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).

Verberg, S. (2020). From herbal to hopped beer: The displacement of regional herbal beer traditions by commercial export brewing in medieval europe. *The Brewery History Society Brewery History*. 183, 9-23

Vidotto, G., Anselmi, P., y Robusto, E. (2019). New Perspectives in Computing the Point of Subjective Equality Using Rasch Models. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02793>.

Wang, P., y Reynaud, A. (2023). The Random Step Method for Measuring the Point of Subjective Equality. *Vision*, 7(4), 74. <https://doi.org/10.3390/vision7040074>.

White, C., y Zainasheff, J. (2010). *Yeast: A Practical Guide to Beer Fermentation*. Boulder, Colorado: Brewers Association.

Zhang, H., y Xie, X. (2012). Combining Stated Preference and Revealed Preference Methods for the Valuation of Non-market Goods. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*. 10, 121 - 126. <https://doi.org/10.1080/10042857.2012.10685119>.

3. ESTANDARIZACIÓN DE ELABORACIÓN DE CERVEZA A BASE DE SEMILLA DE CAOBILLA Y MALTA DE MAÍZ AZUL

Resumen

La caobilla (*Swietenia humilis* Zucc.) es un árbol nativo de zonas tropicales de América y áreas costeras del Pacífico, reconocido principalmente por su madera. Sin embargo, sus semillas han sido empleadas con fines medicinales y se destacan por su amargor. Este estudio tuvo como objetivo determinar el punto de igualdad subjetiva (PIS) entre el amargor de las semillas de caobilla y el lúpulo, así como desarrollar una metodología para la elaboración de cerveza a partir de malta de maíz azul, cebada, caobilla y lúpulo, utilizando un diseño experimental de superficie de respuesta. Se empleó un diseño central compuesto de segundo orden basado en un arreglo factorial 2^2 , donde las variables independientes fueron el porcentaje de malta de cebada y el de lúpulo. Se encontró que una concentración de 11.44 gL^{-1} de caobilla equivale a 3 gL^{-1} de lúpulo cascade con 5.6% de α -ácidos, siendo este el Punto de Igualdad Subjetiva (PIS). Los panelistas percibieron diferencias significativas cuando la variación respecto al PIS fue mayor o igual a $1.95 \text{ g}^*\text{L}^{-1}$. Los tratamientos presentaron niveles de acidez entre 4.08 y $7.15 \text{ g}^*\text{L}^{-1}$, cumpliendo con la NOM-199-SCFI-2017. El contenido de alcohol osciló entre 1.69% y 5.81%, siendo el valor más bajo registrado en la cerveza con 100% de maíz, la cual no cumplió con los límites de alcohol establecidos por la norma. El análisis de superficie de respuesta mostró que los azúcares obtenidos fueron significativos en los modelos cuadrático y lineal ($p \leq 0.05$), mientras que el alcohol y los costos fueron significativos en el modelo lineal. Las variables sensoriales no resultaron significativas ($p > 0.05$). El tratamiento óptimo se obtuvo con 75% de malta de cebada, 25% de maíz azul,

71.62% de lúpulo y 28.38% de caobilla, logrando una cerveza con un costo de \$16.56 pesos por botella de 355 mL.

Palabras clave: Punto de Igualdad Subjetiva, Superficie de respuesta, Caobilla.

STANDARDIZATION OF BEER PRODUCTION BASED ON CAOBILLA SEED AND BLUE CORN MALT

Abstract

The caobilla (*Swietenia humilis* Zucc.) is a tree native to tropical areas of the Americas and coastal regions of the Pacific, primarily known for its wood. However, its seeds have been used for medicinal purposes and are notable for their bitterness. This study aimed to determine the subjective equality point (SEP) between the bitterness of caobilla seeds and hops, as well as to develop a methodology for brewing beer using blue corn malt, barley, caobilla, and hops, through a response surface experimental design. A second-order central composite design based on a 2^2 factorial arrangement was used, where the independent variables were the percentage of barley malt and hops. It was found that a concentration of $11.44 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of caobilla is equivalent to $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of cascade hops with 5.6% α -acids, establishing this as the Subjective Equality Point (SEP). Panelists perceived significant differences when the variation from the SEP was greater than or equal to $1.95 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. The treatments exhibited acidity levels between 4.08 and $7.15 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, complying with NOM-199-SCFI-2017. Alcohol content ranged from 1.69% to 5.81%, with the lowest value recorded in the beer made with 100% corn, which did not meet the alcohol limits established by the standard. The response surface analysis showed that sugars obtained were significant in both quadratic and linear models ($p \leq 0.05$), while alcohol and costs were significant in the linear model. Sensory variables were not significant ($p > 0.05$). The optimal treatment was achieved with 75% barley malt, 25% blue corn, 71.62% hops, and 28.38% caobilla, producing a beer with a cost of \$16.56 pesos per 355 mL bottle.

Keywords: Subjective Equality Point, Response Surface, Caobilla.

3.1 Introducción

3.1.1 Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta perteneciente a la familia de las Cannabaceae, siendo usada para producción de cerveza la flor femenina sin fecundar y actualmente la demanda de lúpulo de calidad está creciendo conforme crece la demanda de la cerveza (Natsume et al, 2014). El género *Humulus* abarca las especies *H. lupulus*, *H. scandens*, y *H. yunnanensis*, aunque estas últimas dos no son usados para la elaboración de cerveza al no producir las resinas que proporcionan los α y β ácidos necesarios para esta bebida (Hieronymus, 2012). De acuerdo con Hieronymus (2012), los atributos en los que contribuye el lúpulo en la cerveza son amargor, aroma, sabor, sensación en la boca, espuma, estabilidad del sabor y efectos antimicrobianos. Además, los taninos contenidos en la flor ayudan en la clarificación de la cerveza en la fase de cocción del mosto al coagular las proteínas (Pilla y Vinci, 2011).

3.1.2 Antecedentes sobre sustitución de lúpulo

La incorporación del lúpulo en la elaboración de cerveza es una práctica relativamente reciente, anteriormente se empleaba el “Gruit”, esta es una antigua combinación de hierbas, algunos granos, maltas e incluso ceras (Ruis, 2016) que se empleaban para dar amargor y sabor a la cerveza en los Países Bajos antes de generalizarse y extenderse el uso del lúpulo (Mulder, 2017).

Si bien, la gran mayoría de las cervezas que en la actualidad se comercializan son hechas a base de una o múltiples variedades de lúpulo, no se descarta el hecho de que haya investigaciones sobre potenciales sustitutos de este insumo, como la investigación realizada por Ogu y Agu (1995) en la que encontraron la potencial sustitución de 4 especies de semillas tropicales. En cambio, Okafor et al. (2016), emplearon cuatro plantas tropicales como potenciales sustitutos de lúpulo en la elaboración de cerveza: *Azadirachta indica* (neem), *Garciana Kola* (bitter kola), *Gongronema latifolium* (heckel) y *Verniona amigdalina* (bitter leaf).

3.1.3 Árbol de caobilla

El árbol de caobilla (*Swietenia humilis* Zucc.) también conocido como venadillo, zopilote, gateado o caoba del pacífico, es un árbol perteneciente al género *Swietenia* que se compone por tres especies: *Swietenia mahagoni* Jacq., *Swietenia macrophylla* King y *Swietenia humilis* Zucc (Ruiz-Terán et al. 2008), la información taxonómica del árbol se describe en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Información taxonómica del árbol de caobilla

Reino	Plantae
Phylum	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Meliaceae
Género	Swietenia
Especie	Swietenia humilis
Nombre científico	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.

Información obtenida de: Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), 2018.

S. humilis es originario de las zonas tropicales de América y de amplia distribución en las zonas secas y húmedas de las costas del pacífico, en México está presente desde Sinaloa hasta Chiapas, su altura varía entre los 15 a 25 metros y hasta un metro de diámetro (Figura 3), el árbol comienza a florecer entre los 15 y 25 años, siendo marzo y abril los meses de floración (CONAFOR, 2010).



Figura 3. Árbol de Caobilla.

Flor y fruto

Las flores son blancas, pequeñas y agrupadas en racimos de 5 pétalos obovados, las flores femeninas y masculinas son muy similares, el fruto es una cápsula erecta u oval de 8 a 20 centímetros de largo y hasta 12 centímetros de ancho, de color grisáceo opaco (Figura 4). Las semillas (Figura 5) son pardas, amarillentas y tienen una longitud de 6 a 9 centímetros incluyendo el ala, que puede ser de 5 a 8 centímetros de largo y hasta 2 centímetros de ancho (Biodiversidad de costa rica, 2011).



Figura 4. Fruto en estado inmaduro.

Usos

El uso comercial es principalmente sobre su madera, con la cual se hacen muebles finos, gabinetes, instrumentos musicales, mangos de herramientas, entre otros, en cambio, la semilla (Figura 5) de este árbol es utilizada en la elaboración de jabón (CONAFOR, 2010) y como uso medicinal, de acuerdo con

Frei et al. (1998), para el tratamiento de enfermedades dermatológicas, fiebre y malaria, por los habitantes zapotecas de la sierra del istmo de Oaxaca, México. De igual forma, Segura-Correa et al. (1993) registró que la semilla se ha usado para tratar enfermedades como el empacho, diabetes, dolor de estómago, disentería amebiana, diarrea, e incluso para eliminar parásitos como helmintos y amebas.



Figura 5. Fruto de *Swietenia humilis* en estado maduro y liberando sus semillas.

Angulo-Escalante et al. (2009) realizaron una investigación evaluando extractos de la semilla de este árbol para probar actividad antifúngica en *Rhizopus stolonifer*, encontrando una inhibición en el crecimiento micelial, esporulación y alteración en la formación de estructuras reproductivas, lo cual puede deberse a la presencia de terpenoides dentro de esta semilla, en cambio, López-Pantoja (2007) encontró que con extractos etanólicos de semilla se logra reducir la actividad bacteriana de *E. coli*, *S. aureus* y el bacteriófago P22. Flores-López et al. (2017; 2019), encontraron que los extractos acuosos de *Swietenia humilis* son buenos reductores del ion FE^{+3} y el suministro en ensayos sobre ratas no afectó su proceso metabólico y digestivo, logrando también un efecto hipoglucemiante. Otra investigación realizada sobre ratones hipoglucémicos fue la elaborada por Ovalle-Magallanes et al. (2017), donde observaron que el mexicanólido 1 mostró una actividad antihiperalgésica con potencial para manejar el dolor en el tratamiento de la diabetes, este compuesto es un limonoide, uno de varios encontrados en la semilla de este árbol. Entre otros limonoides encontrados están Humilinelidos A-D, Humilina B, Swietenina C, Metil-2-hidroxi-3-β-

isobutiroxi-1-oxomeliac-8(30)-enato, Metil-2-hidroxi-3- β -tigloiloxi-1-oxomeliac-8(30)-enato y Swietemahonina C, siendo la Swietenina y la Swietemahonina C las primeras en reportarse de esta especie (Jiménez et al. 1998). Sin embargo, no existen estudios de que estos compuestos sean responsables del amargor de la semilla, solo se conoce que otros limonoides son responsables del amargor del jugo de naranja (Glabasnia et al. 2018) y de las semillas de diversos cítricos (Herman et al. 1992), e incluso se ha encontrado que en pomelos la fluctuación del contenido de limonoides modifica su amargor (Huang et al. 2021).

Composición de la semilla

Ruiz-Terán et al. (2008) muestran que la semilla de caobilla cuenta con un porcentaje de ácidos grasos de 45.38%, lo cual varía proporcionalmente con el tamaño desarrollado, además observaron que el aceite se encuentra compuesto por ocho ácidos grasos, estos son: Palmítico (C16:0), Esteárico (C18:0), Oleico (C18:1 cis-9), Linoleico (C18:2 cis-9,12), y Linolénico (C18:3 cis-9,12,15) este último como el más predominante.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de la semilla de caobilla como sustituto de lúpulo para otorgar amargor en la cerveza, así como evaluar la producción de sólidos solubles totales y alcohol al sustituir la malta de cebada por malta de maíz azul.

3.2. Metodología

3.2.1 Planeación experimental

La fase experimental se desarrolló en dos etapas:

- 1) Fase preliminar: consistió en determinar el punto de igualdad subjetiva entre el amargor proporcionado por la semilla de caobilla y el lúpulo, así como establecer la metodología del proceso de elaboración del proceso de cerveza.

2) Optimización de la formulación: mediante un diseño experimental de superficie de respuesta se realizaron ensayos para elaborar y optimizar la elaboración de cervezas de malta de maíz azul, malta de cebada, caobilla y lúpulo.

3.2.2 Materiales

- Malta de maíz azul (*Zea mays*) procedente de la empresa La nacional S.A. de C.V ubicada en Iztapalapa, Ciudad de México.
- Malta de cebada 2H (*Hordeum vulgare*) de la marca Briess Malt & Ingredients Co. Ubicada en EE. UU.
- Semilla de caobilla procedente de forma local en Tehuiztingo, Puebla.
- Lúpulo en pellets, de la variedad *Cascade* con 5.6% de α ácidos en materia seca.
- Levadura liofilizada marca Fermentis, cepa US – 05.

3.2.3 Métodos

Estandarización de proceso de elaboración de cerveza con sustitutos de malta de cebada y lúpulo.

Punto de igualdad subjetiva para atributo amargor

Se evaluó las concentraciones de semilla de caobilla a emplearse como sustituto de lúpulo mediante la técnica del punto de igualdad subjetiva (PIS), esta técnica es utilizada para determinar el punto en el cual un estímulo variable es percibido como igual a un estímulo estándar (Hernández, 2007), para fines de esta investigación se buscó determinar cuándo una solución de extracto de semilla de caobilla (estímulo de comparación) es considerada equivalente a una solución del extracto del lúpulo el cual es el estímulo estándar (Hernández, 2007). Para esto se empleó una solución de $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de extracto acuoso de lúpulo variedad *Cascade* en pellets, esta solución se comparó con extractos acuosos de semilla de caobilla al 9, 10, 11, 12 y $13 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Las soluciones se elaboraron hirviendo la muestra de lúpulo y caobilla en agua por 1 hora, simulando el proceso de hervido de la elaboración de cerveza. Terminado el proceso de ebullición se separaron

los materiales sólidos y se ajustó el volumen de agua perdido con agua esterilizada y se enfriaron las soluciones.

Los pares de muestras se sirvieron a un volumen de 15 mL a temperatura ambiente en vasos del número cero a 100 personas de la comunidad de la Universidad Autónoma Chapingo, a cada individuo se le sirvieron los 5 pares de estímulos de comparación codificadas con 3 dígitos, aleatorizadas y balanceadas. Posteriormente se les solicitó beber las muestras y señalar si estas eran “más amargas” o “menos amargas” que el estímulo estándar, marcando en el espacio proporcionado la opción “sí” o “no”. Además, tuvieron disponible galletas y agua para enjuagarse la boca entre muestras.

Diseño estadístico experimental

En la segunda etapa del experimento se implementó una superficie de respuesta en donde las variables respuestas a medir fueron los atributos amargor, aroma, sabor, aceptabilidad global, porcentaje de alcohol y sólidos solubles totales equivalentes a azúcares. Para determinar las variables respuesta se ensayaron una serie de combinaciones de tratamientos con variables (x, y), las cuales influyen directamente en las variables respuestas, donde “x” es el porcentaje de malta de cebada y “y” es el porcentaje de lúpulo. La superficie de respuesta elegida corresponde a un diseño central compuesto (DDC) de segundo orden, generado a partir de un arreglo factorial 2^2 con dos bloques, de los cuales se derivan un punto central con seis repeticiones, cuatro puntos factoriales y cuatro puntos axiales, ensayándose en total 14 tratamientos como se aprecia en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Diseño Compuesto Central de la superficie de respuesta, con los porcentajes de formulación de malta de cebada y lúpulo.

Corridas	Tratamientos	Factores		Variable codificada		Puntos
		Malta de Cebada (%)	Lúpulo (%)	C	L	
4	13	70.71	70.71	1	1	Puntos factoriales
3	12	29.28	70.71	-1	1	
1	11	29.28	29.28	-1	-1	
2	10	70.71	29.28	1	-1	
5	14	50	50	0	0	Puntos centrales
6	9	50	50	0	0	
7	8	50	50	0	0	
14	6	50	50	0	0	
12	2	50	50	0	0	
13	4	50	50	0	0	
10	7	50	0	0	-1.41421356	Puntos axiales
11	1	50	100	0	1.41421356	
9	3	100	50	1.41421356	0	
8	5	0	50	-1.41421356	0	

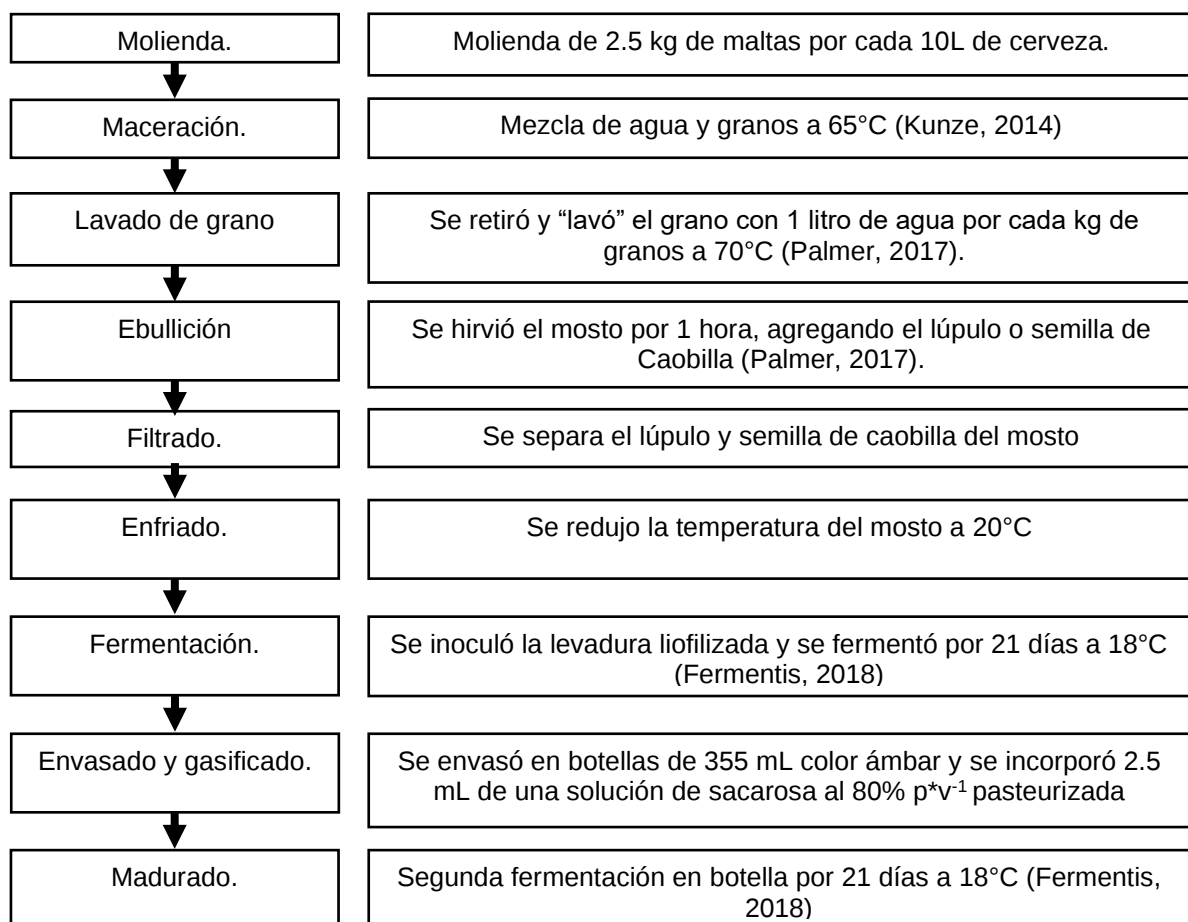
El análisis estadístico de la superficie de respuesta se realizó mediante el uso del paquete estadístico Minitab®18.1.20.0. (Pennsylvania, EE. UU.). Los datos experimentales fueron ajustados por un modelo polinomial de segundo orden:

$$Y_{12} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 \quad \text{Ec (1)}$$

Donde Y_i son los valores de las variables respuesta, X_1 y X_2 son las variables independientes correspondientes al porcentaje de maíz azul y porcentaje de lúpulo, β_0 es una constante, β_1 y β_2 son coeficientes lineales, β_{12} es el coeficiente del producto cruzado y β_{11} y β_{22} son los coeficientes de los términos cuadráticos. Se obtuvo un modelo simplificado usando $p \leq 0.05$ para discriminar aquellos términos que resulten no significativos. Finalizado lo anterior, se procedió a la optimización de las variables respuestas significativas, buscándose maximizar sus valores. Con el modelo simplificado que se obtuvo de cada variable significativa se realizó predicciones que permitieran la elección de los tratamientos óptimo.

Elaboración de cervezas

El proceso de elaboración de cerveza suele ser variable dependiendo el tipo de cerveza a elaborar, sin embargo, de forma general el proceso se ilustra en la Figura 6.



Fuente: Elaboración propia con información de Kunze (2014), Fermentis (2018), Hough (1990), Palmer (2017) y Pilla y Vinci (2011).

Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza.

Determinación de pH, acidez, azúcares, color, alcohol y costo por botella

Para medir el pH se empleó un potenciómetro digital BLE-C600 (Yinmik, China) calibrado en tres puntos con soluciones buffer de 4.00, 6.86 y 9.18 de pH. Las mediciones se realizaron por triplicado. La acidez se determinó mediante

titulación ácido-base usando una solución NaOH a una concentración de 0.1N y fenolftaleína como indicador, el porcentaje de acidez se reportó como g de ácido láctico en 1000 mL de solución de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017. Para determinar los °Brix se usó un refractómetro digital BM-09 (Nohawk, China) calibrado con agua destilada, los resultados se expresaron como °Brix y su valor se utilizó para estimar la cantidad de sólidos solubles totales en gramos equivalentes a azúcares obtenidos en cada tratamiento, esto mediante la ecuación:

$$\text{Sólidos solubles totales (g)} = ^\circ\text{Brix} * L_{\text{mosto}} * 10 \quad \text{Ec (2)}$$

Para determinar el porcentaje de alcohol se empleó un densímetro análogo calibrado a 15.5°C (Home Brew Stuff, Francia), se midió la densidad inicial (D_i) del mosto antes de iniciar la fermentación y la densidad final (D_f) de la cerveza terminada, ambas corrigiendo sus valores de acuerdo con la temperatura de medición. Para estimar el porcentaje de alcohol se empleó la ecuación 3 (Thesseling et al. 2019):

$$\% \text{ Alc. Vol.} = 131.25 * (D_i - D_f) \quad \text{Ec (3)}$$

El costo por botella se calculó contemplando el precio y cantidades de las maltas, lúpulo, semilla de caobilla, envase, corcholatas, agua, cervezas obtenidas y la sacarosa empleada para la carbonatación.

Prueba de aceptabilidad

Se realizó una prueba de aceptabilidad dividida en dos partes, una por atributos, evaluándose los atributos amargor, aroma y sabor, y otra para aceptabilidad global, basada en la metodología propuesta por Hernández (2007), utilizando una escala hedónica de 9 puntos, donde:

- (1) me disgusta extremadamente,
- (2) me disgusta mucho,
- (3) me disgusta moderadamente,

- (4) me disgusta poco,
- (5) ni me disgusta ni me gusta,
- (6) me gusta poco,
- (7) me gusta moderadamente,
- (8) me gusta mucho y
- (9) me gusta extremadamente.

Debido al número de tratamientos y para evitar la fatiga en los panelistas, se empleó un diseño en bloques incompletos balanceados donde cada panelista evaluó solo una parte del total de muestras. El plan para los Bloques Incompletos Balanceados consistió en 14 tratamientos ($t=14$), cuatro muestras por panelista ($k=4$), cada muestra fue evaluada 30 veces ($r=30$), y los panelistas se consideraron como bloques ($b=105$), el número de veces que cada comparación de pares ocurre fue $\lambda=6$, solo se empleó una repetición del plan. Los promedios de la evaluación de aceptabilidad para el sabor, el amargor, el aroma y la aceptabilidad global de cada uno de los 14 tratamientos fueron obtenidos y utilizados en el diseño de superficie de respuesta

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Punto de igualdad subjetiva para atributo amargor

Los resultados para la prueba de igualdad subjetiva se presentan en el Cuadro 6, en el cual se observa que la muestra con concentración de $12 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de caobilla es considerada más amarga que el estímulo de comparación por más del 50% de los panelistas.

Cuadro 6. Cantidad de respuestas “más amargo” y sus valores Z.

Caobilla ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Personas que respondieron “más amarga” (%)	Valor de Z
9	18	-0.915
10	40	-0.253
11	38	-0.305
12	66	0.412
13	64	0.358

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se muestra la ecuación de regresión de los valores Z de la proporción de respuestas “más amarga”, en contra de la concentración de caobilla. Se observa que el valor de R^2 es 0.8641 lo cual indica que el modelo de ecuación lineal se ajusta adecuadamente bien a los datos obtenidos.

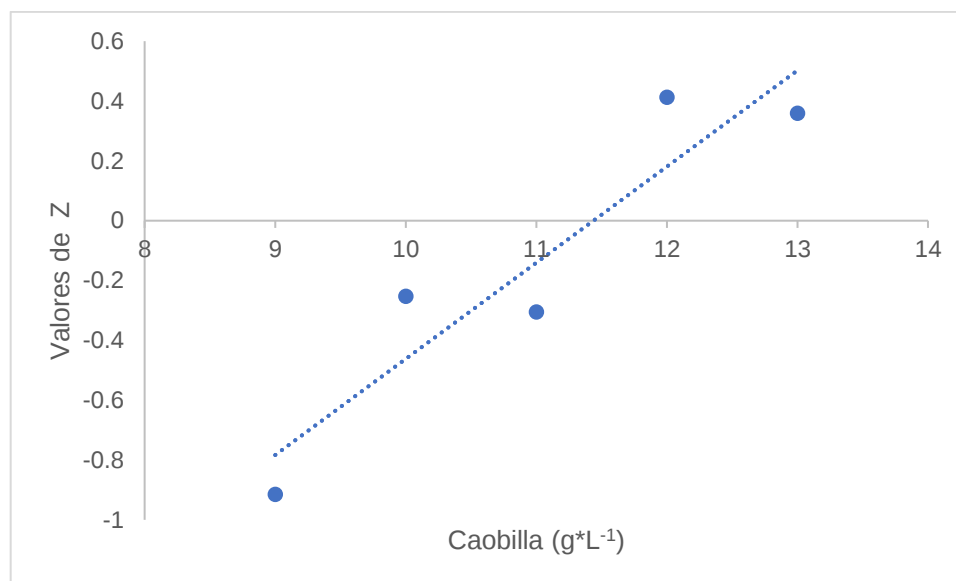


Figura 7. Gráfica de valores Z del porcentaje de respuestas “más amarga” (●), contra la intensidad de la concentración de semilla de caobilla.

Al despejar la variable independiente “x” de la ecuación lineal, cuando $Z = 0$ (el cual se consideró valor de “y” en la ecuación) se obtiene una concentración de caobilla de 11.44 g*L^{-1} equivalente a 3 g*L^{-1} de lúpulo *Cascade* con 5.6% de α ácidos, el cual se considera el Punto de Igualdad Subjetiva (PIS). Cuando la proporción de respuestas “más amarga” es del 75%, el valor Z es 0.6745 y al sustituirse en la ecuación se obtuvo un valor de concentración de caobilla de 13.54 g*L^{-1} , siendo la diferencia apenas detectable (dad) de 1.8 g*L^{-1} ($13.54 \text{ g*L}^{-1} - 11.44 \text{ g*L}^{-1}$) y para la proporción de respuestas “más amarga” del 25% su valor Z es -0.6745 y al realizar el mismo proceso se obtuvo un valor de concentración de semilla de caobilla de 9.34 g*L^{-1} y dad de 2.1 g*L^{-1} ($11.44 \text{ g*L}^{-1} - 9.34 \text{ g*L}^{-1}$), por lo tanto, la “dad” promedio para la semilla de caobilla es 1.95 g*L^{-1} , lo que quiere decir que los panelistas podrán percibir diferencias en

concentraciones de pares de estímulos cuando la diferencia sea igual o mayor a $1.95 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ hacia arriba o hacia abajo del PIS.

3.3.2 Resultados de la superficie de respuesta

Los valores obtenidos para las características fisicoquímicas del mosto de cada tratamiento se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Características fisicoquímicas del mosto de los tratamientos

Tratamientos	Brix (%)	pH	Ácido láctico ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	Sólidos solubles obtenidos (g) equivalentes a azúcares
1	$7.57 \pm 0.06a$	$6.08 \pm 0.02ab$	$1.70 \pm 0.06a$	$762.53 \pm 5.82a$
2	$9.93 \pm 0.12a$	$6.12 \pm 0.02ab$	$1.60 \pm 0.04a$	$995.34 \pm 11.57a$
3	$11.07 \pm 0.06a$	$6.09 \pm 0.06ab$	$1.56 \pm 0.04a$	$1091.95 \pm 5.70a$
4	$9.67 \pm 0.06a$	$6.03 \pm 0.01ab$	$1.35 \pm 0.04a$	$969.64 \pm 5.79a$
5	$4.23 \pm 0.06b$	$6.39 \pm 0.02a$	$0.95 \pm 0.05a$	$424.64 \pm 5.79b$
6	$9.17 \pm 0.06a$	$6.07 \pm 0.04ab$	$1.31 \pm 0.04a$	$912.53 \pm 5.75a$
7	$8.53 \pm 0.12a$	$6.17 \pm 0.02ab$	$1.17 \pm 0.06a$	$857.36 \pm 11.60a$
8	$11.23 \pm 0.06a$	$5.92 \pm 0.03ab$	$1.78 \pm 0.05a$	$1125.57 \pm 5.78a$
9	$9.37 \pm 0.06a$	$5.86 \pm 0.02ab$	$1.46 \pm 0.02a$	$956.40 \pm 5.90a$
10	$10.10 \pm 0.10a$	$5.63 \pm 0.03b$	$1.88 \pm 0.06a$	$1031.58 \pm 10.21a$
11	$6.63 \pm 0.12b$	$6.08 \pm 0.06ab$	$1.42 \pm 0.02a$	$676.75 \pm 11.78b$
12	$5.80 \pm 0.17b$	$5.83 \pm 0.03ab$	$1.39 \pm 0.04a$	$583.06 \pm 17.41b$
13	$9.10 \pm 0.10a$	$5.75 \pm 0.05b$	$1.61 \pm 0.02a$	$914.32 \pm 10.05a$
14	$9.07 \pm 0.06a$	$5.74 \pm 0.02ab$	$1.59 \pm 0.02a$	$918.87 \pm 5.85a$

Los valores medios con diferentes letras dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los valores de Brix varían entre un rango de 4.23 y 11.23, estos valores son mayores a medida que incrementa el porcentaje de malta de cebada en los tratamientos. En cambio, los valores de pH oscilan entre 5.63 y 6.39, lo cual es cercano a un pH de una solución neutra. Durante la fermentación la acidez y el pH cambiarán debido al incremento de distintos ácidos, siendo los más comunes el ácido acético, cítrico, láctico, málico, pirúvico y succínico (Rodrigues et al. 2010; Černá et al. 2023); sin embargo, de acuerdo con la normatividad nacional, los valores obtenidos se reportan como ácido láctico.

Los valores obtenidos para las características fisicoquímicas de la cerveza terminada de cada tratamiento se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Características fisicoquímicas y costo por botella de cervezas.

Tratamientos	Brix (%)	pH	Ácido láctico (g*L ⁻¹)	Alcohol (%)	Costo por botella
1	3.70 ± 0.35a	4.34 ± 0.04a	4.58 ± 0.02a	3.83 ± 0.07a	\$ 12.15
2	4.83 ± 0.06a	4.12 ± 0.01a	5.41 ± 0.04a	4.83 ± 0.29a	\$ 16.23
3	3.33 ± 0.06a	4.14 ± 0.01a	5.42 ± 0.02a	5.81 ± 0.05a	\$ 18.87
4	3.73 ± 0.15a	4.09 ± 0.01a	5.04 ± 0.07a	4.74 ± 0.06a	\$ 16.23
5	3.27 ± 0.06a	4.23 ± 0.01a	5.04 ± 0.04a	1.69 ± 0.05a	\$ 13.59
6	4.53 ± 0.06a	4.26 ± 0.01a	5.34 ± 0.02a	4.38 ± 0.06a	\$ 16.23
7	5.53 ± 0.06 a	4.18 ± 0.01a	5.27 ± 0.05a	3.83 ± 0.15a	\$ 20.31
8	2.63 ± 0.06a	4.83 ± 0.01a	4.08 ± 0.05a	4.93 ± 0.05a	\$ 16.23
9	5.40 ± 0.10a	4.20 ± 0.02a	5.50 ± 0.04a	4.14 ± 0.06ab	\$ 19.02
10	3.93 ± 0.15a	3.43 ± 0.01a	7.15 ± 0.02a	4.61 ± 0.12ab	\$ 16.83
11	4.23 ± 0.12a	4.19 ± 0.02a	4.66 ± 0.04a	2.82 ± 0.11bc	\$ 17.24
12	4.83 ± 0.21a	4.19 ± 0.01a	4.38 ± 0.05a	2.39 ± 0.16 bc	\$ 13.45
13	4.20 ± 0.17 a	4.50 ± 0.35a	4.80 ± 0.08a	3.57 ± 0.11ab	\$ 15.64
14	4.03 ± 0.15 a	4.15 ± 0.01a	4.44 ± 0.05a	3.56 ± 0.07a	\$ 16.23

Los valores medios con diferentes letras dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Para las cervezas terminadas, los valores de pH varían de 3.43 a 4.83 los cuales están dentro del rango aceptado por la NOM-199-SCFI-2017 que permite un pH de 2.5 a 5. En el caso de la acidez, los valores de los tratamientos van desde los 4.08 g*L⁻¹ a 7.15 g*L⁻¹ de ácido láctico, cumpliendo lo estipulado por la NOM-199-SCFI-2017, que señala que las cervezas deben tener como máximo 10 g*L⁻¹ de ácido láctico, pero esta normativa no indica una cantidad mínima. El alcohol obtenido en cada tratamiento oscila entre 1.69% hasta los 5.81%, el valor más bajo de alcohol fue para la cerveza elaborada con 100% de maíz, la cual no cumple con lo indicado en la NOM-199-SCFI-2017 cuyos límites establecidos son de 2% a 20%.

Los valores de p y el ajuste de los modelos ajustados para los atributos se presentan en el Cuadro 9, del análisis de superficie de respuesta se aprecia que en la variable sólidos solubles en el modelo cuadrático es significativo ($p \leq 0.05$) y en cambio, para el modelo lineal las variables sólidos solubles, alcohol y costos

son significativas, sin embargo, las variables amargor, sabor, aroma y aceptabilidad no son significativos ($p > 0.05$) en los modelos lineales ni cuadráticos, por lo que estas variables no fueron tomadas en cuenta para predecir y encontrar un tratamiento óptimo.

Cuadro 9. Significancia de las variables dependientes de diseño compuesto central analizadas con superficie de respuesta.

Fuente	Sólidos solubles	Alcohol	Amargor	Sabor	Aroma	Aceptabilidad	Costo por botella
Modelo	0.007*	0.007*	0.951	0.829	0.746	0.504	0.014*
Bloques	0.376	0.036*	0.859	0.563	0.413	0.848	0.988
Lineal	0.001*	0.001*	0.814	0.541	0.458	0.803	0.002*
Cebada (%)	0.001*	0.000*	0.582	0.289	0.331	0.941	0.018*
Lúpulo (%)	0.283	0.508	0.773	0.875	0.444	0.526	0.001*
Cuadrado	0.043*	0.084	0.998	0.914	0.696	0.898	0.889
Cebada (%)*Cebada (%)	0.023*	0.056	0.973	0.721	0.505	0.906	0.699
Lúpulo (%)*Lúpulo (%)	0.056	0.072	0.960	0.751	0.817	0.656	0.699
Interacción de dos factores	0.905	0.586	0.367	0.369	0.669	0.268	0.311
Cebada (%)*Lúpulo (%)	0.905	0.586	0.367	0.369	0.669	0.268	0.311
Error							
Falta de ajuste	0.299	0.424	0.254	0.310	0.414	0.369	0.413
R ²	0.8746	0.8725	0.1679	0.2757	0.3274	0.2625	0.8461
* Valores significativos ($p \leq 0.05$)							

3.3.3 Efecto de los niveles de maltas de cebada, malta de maíz azul, lúpulo y caobilla en el rendimiento de alcohol, sólidos solubles y costo por botella de cerveza.

Sólidos solubles obtenidos:

La mayor obtención de sólidos solubles equivalentes a azúcares totales se obtuvo con el tratamiento tres, el cual está elaborado con 100% de malta de cebada, en cambio, el tratamiento con el menor porcentaje de sólidos solubles fue el tratamiento cinco, el cual es la cerveza elaborada con 100% de malta de maíz azul (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentaje de alcohol para cada uno de los tratamientos del diseño compuesto central para la elaboración de cerveza.

Tratamiento	Malta de cebada (g)	Malta de maíz azul (g)	Lúpulo (g)	Caobilla (g)	Sólidos solubles equivalentes a azúcares totales (g)
T1	1,250	1,250	30	0	762.53 ± 5.82
T2	1,250	1,250	15	57	995.34 ± 11.57
T3	2,500	0	15	57	1,091.95 ± 5.70
T4	1,250	1,250	15	57	969.64 ± 5.79
T5	0	2500	15	57	424.64 ± 5.79
T6	1,250	1,250	15	57	912.53 ± 5.75
T7	1,250	1,250	0	114	857.36 ± 11.60
T8	1,250	1,250	15	57	1,125.57 ± 5.78
T9	1250	1,250	15	57	956.40 ± 5.90
T10	1,767.7	732.2	8.78	80.62	1,031.58 ± 10.21
T11	732.2	1,767.7	8.78	80.62	676.75 ± 11.78
T12	732.2	1,767.7	21.21	80.62	583.06 ± 17.41
T13	1,767.7	732.2	21.21	80.62	914.32 ± 10.05
T14	1,250	1,250	15	57	918.87 ± 5.85

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8 se observa que los sólidos solubles equivalentes a azúcares totales incrementan proporcionalmente al porcentaje de malta de cebada empleado, y disminuye a medida que se usa malta de maíz azul.

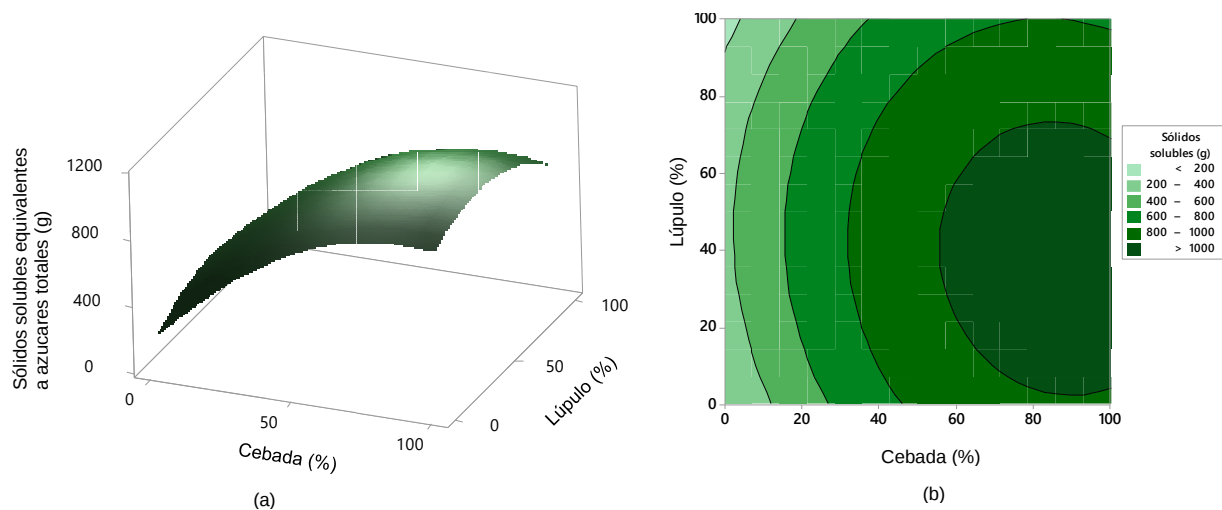


Figura 8. Superficie de respuesta (a) y gráfica de contornos (b) para la variable sólidos solubles equivalentes a azúcares totales obtenidos relacionada con los niveles de porcentaje de malta de cebada y lúpulo.

Dabija et al. (2021) señalan que una de las desventajas de usar maíz y otros granos distintos a la cebada en la elaboración de cervezas es su baja cantidad de enzimas amilolíticas, además de que el flujo de estas enzimas en el mosto está reducido debido a la capa de aleurona. Una alternativa para solucionar este problema es lo realizado por Diakabana et al. (2013) donde observaron que el empleo de enzima amilolítica exógena ayudó a extraer una mayor cantidad de azúcares del maíz.

La fórmula que predice la cantidad de sólidos solubles totales se representa en la ecuación 4. Donde A corresponde al porcentaje de cebada empleado, mientras que B es el porcentaje de lúpulo.

$$\text{Sólidos solubles} = 200 + 17.51A + 7.0B - 0.097A * A - 0.076B * A - 0.014 A * B \quad \text{Ec. (4)}$$

Alcohol

La mayor obtención de alcohol se obtuvo con el tratamiento tres, el cual está elaborado con 100% de malta de cebada, en cambio, el tratamiento con el menor porcentaje de alcohol fue el tratamiento cinco con 100% de malta de maíz azul, (Cuadro 11). La baja cantidad de alcohol producida por la malta de maíz se debe principalmente al bajo poder enzimático que posee este grano, es decir, al no tener suficientes enzimas amilolíticas que transformen el almidón a azúcares más simples dificulta la producción de alcohol (Diakabana et al. 2013; Dabija et al. 2021), en cambio, Poreda et al. (2014) encontraron que es posible emplear grits de maíz hasta en 20% en conjunto con malta de cebada, lo que resulta en cervezas sin cambios significativos en la producción de alcohol.

Cuadro 11. Valores de porcentaje de alcohol para cada uno de los tratamientos del diseño compuesto central para la elaboración de cerveza.

Tratamiento	Malta de cebada (g)	Malta de maíz azul (g)	Lúpulo (g)	Caobilla (g)	Alcohol (%)
T1	1,250	1,250	30	0	3.83 ± 0.07
T2	1,250	1,250	15	57	4.83 ± 0.29
T3	2,500	0	15	57	5.81 ± 0.05
T4	1,250	1,250	15	57	4.74 ± 0.06
T5	0	2500	15	57	1.69 ± 0.05
T6	1,250	1,250	15	57	4.38 ± 0.06
T7	1,250	1,250	0	114	3.83 ± 0.15
T8	1,250	1,250	15	57	4.93 ± 0.05
T9	1250	1,250	15	57	4.14 ± 0.06
T10	1,767.7	732.2	8.78	80.62	4.61 ± 0.12
T11	732.2	1,767.7	8.78	80.62	2.82 ± 0.11
T12	732.2	1,767.7	21.21	80.62	2.39 ± 0.16
T13	1,767.7	732.2	21.21	80.62	3.57 ± 0.11
T14	1,250	1,250	15	57	3.56 ± 0.07

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9 se observa que el alcohol obtenido incrementa cuando aumenta el porcentaje de malta de cebada, y disminuye a medida que se usa malta de maíz azul.

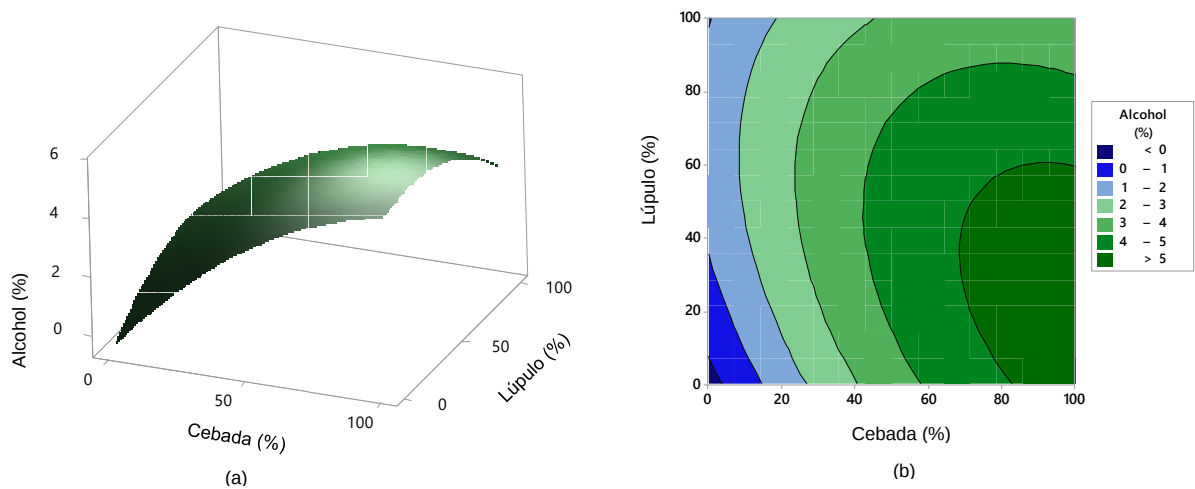


Figura 9. Superficie de respuesta (a) y gráfica de contornos (b) para la variable alcohol relacionada con los niveles de porcentaje de malta de cebada y lúpulo.

La ecuación cuatro predice el porcentaje de alcohol, donde A corresponde al porcentaje de cebada empleado, mientras que B es el porcentaje de lúpulo.

$$\begin{aligned} \text{Alcohol}(\%) = & -0.39 + 0.1006A + 0.0530B - 0.00043A * A - 0.000398B * B \\ & - 0.000355A * B \end{aligned} \quad \text{Ec. (5)}$$

Costos

El menor costo por botella de 355 mL se obtuvo con el tratamiento uno, el cual está elaborado con 50% de malta de cebada, 50% malta de maíz azul y 100% lúpulo, en cambio, el tratamiento con el mayor costo por botella fue el tratamiento 7 con 50% de malta de cebada, 50% malta de maíz azul y 100% caobilla (Cuadro 12).

Cuadro 12. Valores de costo por botella de 355 mL para cada uno de los tratamientos del diseño compuesto central para la elaboración de cerveza.

Tratamientos	Malta de cebada (g)	Malta de maiz azul (g)	Lúpulo (g)	Caobilla (g)	Costo por botella	
T1	1,250	1,250	30	0	\$	12.15
T2	1,250	1,250	15	57	\$	16.23
T3	2,500	0	15	57	\$	18.87
T4	1,250	1,250	15	57	\$	16.23
T5	0	2500	15	57	\$	13.59
T6	1,250	1,250	15	57	\$	16.23
T7	1,250	1,250	0	114	\$	20.31
T8	1,250	1,250	15	57	\$	16.23
T9	1250	1,250	15	57	\$	19.02
T10	1,767.7	732.2	8.78	80.62	\$	16.83
T11	732.2	1,767.7	8.78	80.62	\$	17.24
T12	732.2	1,767.7	21.21	80.62	\$	13.45
T13	1,767.7	732.2	21.21	80.62	\$	15.64
T14	1,250	1,250	15	57	\$	16.23

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se observa que el precio incrementa cuando aumenta el porcentaje de malta de cebada y caobilla; y disminuye a medida que se usa malta de maíz azul y lúpulo.

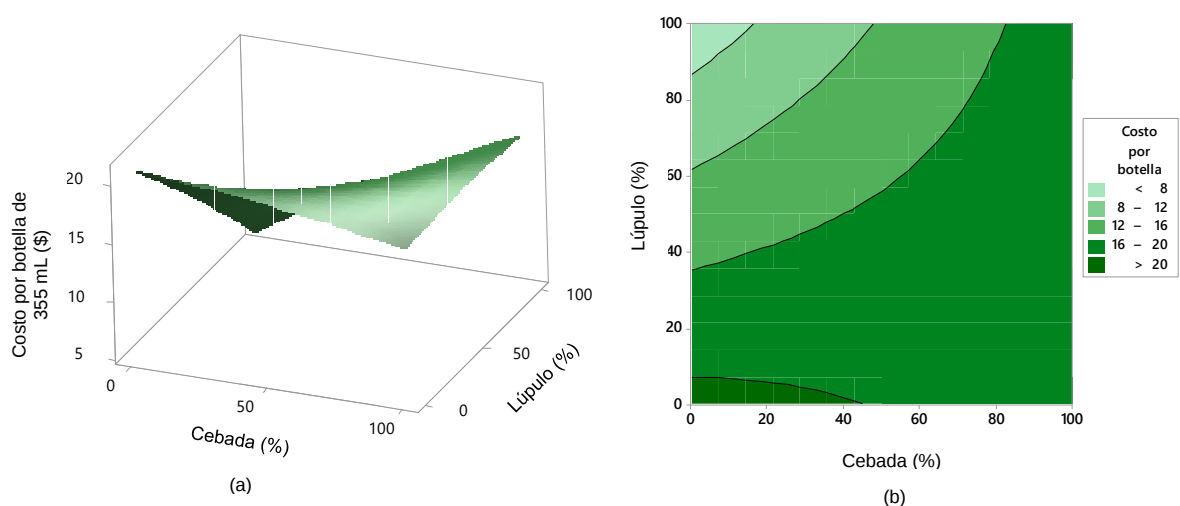


Figura 10. Superficie de respuesta (a) y gráfica de contornos (b) para la variable costo por botella relacionada con los niveles de porcentaje de malta de cebada y lúpulo.

Los costos elevados se ven principalmente influenciados por el uso de la semilla de caobilla. Este insumo, al adquirirse localmente y en pequeñas cantidades, no tiene un precio regulado, ya que sus principales aplicaciones son en la medicina tradicional (Frei et al. 1998; Segura-Correa et al. 1993), mientras que su mayor aprovechamiento se da en la explotación de la madera (CONAFOR, 2010).

La ecuación seis predice el costo por botella, donde A corresponde al porcentaje de cebada empleado, mientras que B es el porcentaje de lúpulo.

$$\begin{aligned} \text{Costo} = 20.98 - 0.0141A - 0.1350B - 0.000168A * A - 0.000168B * B \\ + 0.00151 A * B \end{aligned} \quad \text{Ec. (6)}$$

3.3.4 Optimización de las variables respuesta y predicción del tratamiento óptimo

Para la búsqueda de la optimización de variables se utilizó como modelo la superficie de respuesta de la variable sólidos solubles equivalentes a azúcares, ya que, al ser significativo en los términos tanto lineales y cuadráticos, fue posible emplearlo para buscar un tratamiento que brinde una cantidad máxima de sólidos solubles. Con este modelo de superficie de respuesta se fijó una obtención de 1,000 g de sólidos solubles equivalentes a azúcares y se buscó que se maximicen, de forma independiente, las variables porcentaje de malta de cebada y malta de maíz azul con las variables porcentaje de lúpulo y semilla de caobilla. Los resultados de las optimizaciones se muestran en el Cuadro 13. Para estimar el porcentaje de alcohol y el costo de botella se emplearon las ecuaciones 5 y 6.

Cuadro 13. Optimización de las variables respuesta de cerveza.

Tratamientos	Malta de cebada (%)	Malta de maíz azul (%)	Lúpulo (%)	Caobilla (%)	Sólidos solubles equivalentes a azúcares totales (g)	Alcohol (%)	Costo por botella
Máxima cantidad de azúcares en mosto	86.86	13.14	37.37	62.63	1,096.50	5.38	\$ 18.11
Máximo porcentaje de cebada y caobilla	95	5	2.75	97.25	1,000.0*	5.34 ^z	\$ 18.15 ^z
Máximo porcentaje de cebada y lúpulo	100	0	69.24	30.76	999.41*	4.67 ^z	\$ 18.19 ^z
Máximo porcentaje de maíz y caobilla	80	20	3.78	96.22	999.16*	4.99 ^z	\$ 18.72 ^z
Máximo porcentaje de maíz y lúpulo	75	25	71.62	28.38	1,000.0*	4.58 ^z	\$ 16.56 ^z

^z Valor obtenido utilizando los óptimos de sólidos solubles totales.

* Sólidos solubles totales objetivo (fijada por el investigador)

De los tratamientos obtenidos, el menor costo se obtuvo maximizando el porcentaje de maíz azul y lúpulo, mientras que el mayor costo se obtuvo cuando se maximiza el maíz azul y la semilla de caobilla. En cambio, el porcentaje de alcohol mayor se obtiene cuando se maximiza la cantidad de azúcares en el mosto, mientras que la menor cantidad se obtiene cuando se busca maximizar el porcentaje de maíz azul y lúpulo.

Por lo tanto, se observa que al maximizar el maíz azul se pueden obtener un menor costo en la elaboración de cerveza, sin embargo, para esto se tendría que usar un 25% de maíz azul, y el restante de cebada, esto debido a la dependencia de la malta de maíz a las enzimas de la malta de cebada. En cambio, si se desea obtener un incremento de alcohol de 0.41% se tendría que disminuir el maíz azul en 5%.

3.4 Conclusión

La investigación realizada permitió establecer el punto de igualdad subjetiva (PIS) entre el amargor de la semilla de caobilla y el lúpulo, contribuyendo al entendimiento de su potencial en la elaboración de cervezas artesanales. Se

determinó que $11.44 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de caobilla es equivalente a $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de lúpulo Cascade, proporcionando un marco para su uso como sustituto parcial o complementario en la industria cervecera. Sin embargo, esta metodología no contempla que el amargor otorgado por el lúpulo disminuye proporcionalmente al tiempo en que la cerveza este almacenada, por lo que un estudio enfocado en investigar los cambios sensoriales a través del tiempo de almacenamiento de la cerveza complementarían estos resultados.

Además, el análisis de superficie de respuesta permitió optimizar la formulación de una cerveza a base de malta de maíz azul, cebada, caobilla y lúpulo, cumpliendo con los estándares de acidez establecidos por la NOM-199-SCFI-2017. Sin embargo, se observó que el bajo contenido enzimático del maíz azul limita la producción de alcohol, afectando el cumplimiento de los requisitos normativos para algunas formulaciones. El tratamiento óptimo, que maximiza la eficiencia en costos, consistió en una combinación de 75% de malta de cebada, 25% de maíz azul, 71.62% de lúpulo y 28.38% de caobilla, logrando una cerveza económicamente viable con un costo de \$16.56 por botella.

3.5 Literatura citada

- Angulo-Escalante M.A., Armenta-Reyes E.A., García-Estrada R.S., Carrillo-Fasio J.A., Salazar-Villa E., Valdéz-Torres J.B., (2009). Extactos de Semilla de *Swietenia humilis* Zucc. Con Actividad Antifúngica en *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.:Fr.) Vuill. *Revista Mexicana de fitopatología*, 27(2), 84-92.
- Biodiversidad de Costa Rica. (2011). *Swietenia humilis*. Recuperado de <http://www.crbio.cr:8080/neoportal-web/species/Swietenia%20humilis> (11/04/2024)
- Černá, S., Benešová, K., y Martiník, J. (2023). Stanovení organických kyselin ve speciálních pivech a nápojích na bázi piva pomocí kapilární izotachoforézy. *Chemické Listy*. 117(8), 516–521. <https://doi.org/10.54779/chl20230516>
- CONAFOR (2010). Ficha técnica de para la reforestación de *Swietenia humilis*. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?articulo=1005&grupo=13> (11/04/2022)
- Dabija, A., Ciocan, M., Chetrariu, A., y Codină, G. (2021). Maize and Sorghum as Raw Materials for Brewing, a Review. *Applied Sciences*, 11, 3139. <https://doi.org/10.3390/APP11073139>.
- Departamento de Botánica, Instituto de Biología (IBUNAM), *Swietenia humilis* Zucc., ejemplar de: Herbario Nacional de México (MEXU), Frutos y Semillas. En Portal de Datos Abiertos UNAM (en línea), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:FS9104> (11/04/2022).
- Diakabana, P., Mvoulatsieri, M., Dhellot, J., Kobawila, S., y Louembé, D. (2013). Physico-Chemical Characterization of Brew during the Brewing Corn Malt in the Production of Maize Beer in Congo. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 5, 671-677. <https://doi.org/10.19026/AJFST.5.3147>
- Flores-López, Z., Campos-Díaz, A.P., Gutierrez-Gaitén, Y.G., Salas-Olivet, E., Cuellar-Cuellar, A., Delgado-Roche L. (2017). Potencial antioxidante de la semilla de *Swietenia humilis* Zuccarini. *Revista Cubana de Farmacia*. 51 (1). Recuperado de <http://www.revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/130> (11/04/2022)
- Flores-López, Z. Y., Quiroga-Santos, E.H., Gutiérrez-Gaitén, Y., Salas-Olivet, E., García-Simón, G., Cuellar-Cuellar, A. (2019) Características fitoquímicas y toxicológicas de la semilla *Swietenia humilis* Zuccarini y su efecto

- hipoglucemiante. *Revista Cubana de Farmacia*. 52 (1) Recuperado de <http://www.revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/129> (11/04/2022)
- Frei, B., Baltisberger, M., Sticher, O., y Heinrich M. (1998). Medical ethnobotany of Zapotecs of the Isthmus-Sierra (Oaxaca, Mexico): Documentation and assessment of indigenous uses. *Journal of Ethnopharmacology*, 62, 149-165. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(98\)00051-8](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(98)00051-8)
- Glabasnia, A., Dunkel, A., Frank, O., y Hofmann, T. (2018). Decoding the Nonvolatile Sensometabolome of Orange Juice (*Citrus sinensis*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(10), 2354-2369 . <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b06142>.
- Hailee E. A., Santos I. C., Hildenbrand Z. L. y Schug K.A. (2019). Review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control. *Analytica Chimica Acta*, 1085, 1-20, <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.061>.
- Herman, Z., Fong, C., y Hasegawa, S. (1992). Analysis of Limonoids in Citrus Seeds. , 361-375. https://doi.org/10.1007/978-3-662-01639-8_19.
- Hernández, M. A. (2007). Evaluación sensorial de productos agroalimentarios. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- Hieronymus, S. (2012). For the love of hops: The practical guide to aroma, Bitterness and the culture of Hops. Boulder, Colorado, Estados Unidos de Norteamérica: Brewers Association.
- Huang, S., Dong, T., Xiong, B., Qiu, X., Sun, G., Liao, L., Fan, N., Wang, X., Deng, H., He, S., Hu, Y., y Wang, Z. (2021). Variation in the content and composition of limonoids in fruits of four pomelo varieties during fruit development: The natural debittering process in pomelo fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*. 100, 103928. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2021.103928>.
- Jiménez, A., Villarreal, C., Toscano, R., Cook, M., Arnason, J., Bye, R., y Mata, R. (1998). Limonoids from *Swietenia humilis* and *Guarea grandiflora* (Meliaceae) Taken in part from the PhD and MS theses of C. Villarreal and M. A. Jiménez, respectively. *Phytochemistry*, 49, 1981-1988. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(98\)00364-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00364-1).
- Lawless, H.T. y Heymann H. (2010). Sensory Evaluation of Food. Principles and Practice. New York, EE.UU: Springer .
- López-Pantoja, Y., Angulo-Escalante, M., Martínez-Rodríguez, C., Soto-Beltrán, J., Chaidez-Quiroz, C. (2007). Efecto antimicrobiano de extractos crudos de

- neem (*Azadirachta indica* A. Juss) y venadillo (*Swietenia humilis* Zucc) contra *E. coli*, *S. aureus* y el bacteriófago P22. *Bioquímica*. 32(4), 117-125.
- Mulder, R. (2017). Further Notes on the essence of gruit: an alternative view. *Brewery History*. 169, 73-76.
- Natsume, S., Takagi, H., Shiraishi, A., Murata, J., Toyonaga, H., Patzak, J., Takagi, M., Yaegashi, H., Uemura, A., Mitsuoka, C., Yoshida, K., Krofta, K., Satake, H., Terauchi, R. y Ono, Eiichiro. (2014). The Draft Genome of Hop (*Humulus lupulus*), an essence for brewing. *Plant Cell Physiology*. 56(3), 428-441. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu169>
- Ogu, E. O., Agu, R. C. (1995). A Comparison of some chemical properties of *Giarcina Kola* and Hops for assessment of *Garcinia* Brewing Value. *Bioresourse Technology*. 54(1),3-4.
- Okafor, V. N., Eboatu, A. N., Anyalebechi, R. I., Okafor U. W. (2016). Comparative Studies of the Pshycochemical Properties of Beers Brewed With Hop Extracts and Extracts from Four Selected Tropical Plants. *Journal of Advanced Chemical Sciences*. 2(4), 383-386.
- Ovalle-Magallanes, B., Déciga-Campos, M., y Mata, R. (2017). Antihyperalgesic activity of a mexicanolide isolated from *Swietenia humilis* extract in nicotinamide-streptozotocin hyperglycemic mice. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 92, 324-330 . <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.05.073>.
- Pilla, S., y Vinci, G. (2011). *Cervezas de todo el mundo: Enciclopedia práctica*. Barcelona, España: De Vecchi Ediciones.
- Poreda, A., Czarnik, A., Zdaniewicz, M., Jakubowski, M., y Antkiewicz, P. (2014). Corn grist adjunct – application and influence on the brewing process and beer quality. *Journal of The Institute of Brewing*, 120, 77-81. <https://doi.org/10.1002/JIB.115>.
- Rodrigues, J., Erny, G., Barros, A., Esteves, V., Brandão, T., Ferreira, A., Cabrita, E., y Gil, A. (2010). Quantification of organic acids in beer by nuclear magnetic resonance (NMR)-based methods. *Analytica chimica acta*. 674(2), 166-75 . <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.029>.
- Ruis, F. (2016). A note on the essence of gruit. *Brewery History*. 166, 50-53. Recuperado de <http://breweryhistory.com/journal/archive/166/Gruit.pdf> (11/04/2022).
- Ruiz-Terán, F., Medrano-Martínez, A., y Navarro-Ocaña, A. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activities of plant extracts used in traditional

medicine in Mexico. *African Journal of Biotechnology*. 7(12), 1886-1893.
<https://doi.org/10.5897/AJB2008.000-5034>

Segura-Correa, R., Mata, R., Anaya, A. L., Hernandez-Bautista, B., Villena, R., Soriano-Garcia, M., ... Linares, E. (1993). New Tetranortriterpenoids from *Swietenia humilis*. *Journal of Natural Products*, 56(9), 1567–1574. <https://doi.org/10.1021/np50099a016>.

Thesseling, F. A., Bircham, P. W., Mertens, S., Voordeckers, K., y Verstrepen, K. J. (2019). A Hands-On Guide to Brewing and Analyzing Beer in the Laboratory. *Current Protocols in Microbiology*, 54(1). <https://doi.org/10.1002/cpmc.91>

4. CARACTERIZACIÓN SENSORIAL DE CERVEZAS ELABORADAS CON MALTA DE MAÍZ AZUL Y SEMILLA DE CAOBILLA

Resumen

El análisis sensorial realizado a 14 muestras de cerveza se dividió en dos fases. En la primera, se evaluaron atributos específicos como amargor, aroma, sabor y aceptabilidad general, utilizando una escala hedónica de 9 puntos bajo un diseño experimental de Bloques Incompletos Balanceados (BIB). La segunda fase consistió en un Perfil Flash a seis cervezas seleccionadas para identificar las interacciones entre los ingredientes y su influencia en la percepción sensorial. Siete panelistas seleccionados discriminaron seis atributos clave (color dorado, aroma a cebada, sabor amargo, sabor a cebada, sabor a maíz y sabor ácido), lo que permitió diferenciar las muestras. En el Análisis de Procrustes Generalizado (APG) se distinguieron dos componentes que explicaron el 79.68% de la variabilidad total de los datos, se obtuvo un índice de consenso (R_c) de 0.93 y un cuantil del 100.0 %, que demostró un buen consenso por parte de los panelistas. El Análisis Procrustes Generalizado (APG) mostró que la cerveza elaborada con 100% de semilla de caobilla destacó por su amargor, mientras que las cervezas con 100% de lúpulo y maíz azul se distinguieron por su sabor a maíz. La cerveza con 100% de malta de cebada fue valorada por su color dorado y aroma a cebada. El APG también reveló que la muestra de cerveza más aceptada sensorialmente tenía atributos similares a la cerveza óptima. Estos análisis permitieron identificar cómo la combinación de ingredientes afecta la complejidad y aceptabilidad global de las cervezas.

Palabras clave: Cerveza, Maíz azul, Caobilla, Perfil Flash

SENSORY CHARACTERIZATION OF BEERS MADE WITH BLUE CORN MALT AND CAOBILLA SEED

Abstract

The sensory analysis of 14 beer samples was divided into two phases. In the first phase, specific attributes such as bitterness, aroma, flavor, and overall acceptability were evaluated using a 9-point hedonic scale under a Balanced Incomplete Block (BIB) experimental design. The second phase consisted of a Flash Profile on six selected beers to identify the interactions between ingredients and their influence on sensory perception. Seven selected panelists discriminated six key attributes (golden color, barley aroma, bitter taste, barley taste, corn taste, and acidic taste), allowing differentiation of the samples. In the Generalized Procrustes Analysis (GPA), two components were identified, explaining 79.68% of the total variability in the data, a consensus index (R_c) of 0.93 and a 100.0% quantile were obtained, demonstrating a strong consensus among panelists. The GPA showed that the beer made with 100% caobilla seed stood out for its bitterness, while beers made with 100% hops and blue corn were distinguished by their corn flavor. The beer made with 100% barley malt was valued for its golden color and barley aroma. The GPA also revealed that the most sensory-accepted beer had attributes like the optimal beer. This analysis helped identify how the combination of ingredients affects the complexity and overall acceptability of the beers.

Keywords: Beer, Blue corn, Caobilla, Flash Profile

4.1 Introducción

Desde hace siglos la cerveza ha sido una parte integral de la dieta y la cultura humana y su evolución ha estado marcada por cambios tecnológicos, económicos y sociales que han transformado tanto su producción como su consumo. En sus orígenes, civilizaciones antiguas como los egipcios, sumerios y babilonios desarrollaron técnicas para fermentar cereales como la cebada, lo cual condujo a consolidar la producción de cerveza como una actividad central en sus sociedades (Hornsey, 2016). En el Antiguo Egipto, la producción cervecera ya estaba bien establecida hacia el 5000 a.C. y se encontraba estrechamente ligada a la panificación (Cabras et al., 2023). Durante la Edad Media, la cerveza se convirtió en una alternativa segura al agua, la cual a menudo estaba contaminada, y fue consumida ampliamente en Europa sin distinción de clases sociales (Unger, 2004). Un logro crucial en la historia de la cerveza fue la introducción del lúpulo en Baviera en el siglo VIII, que mejoró tanto su estabilidad como su conservación, permitiendo la exportación y comercialización a gran escala (Albala, 2009). Además de actuar como conservante, el lúpulo añadió una mayor complejidad sensorial, lo cual fue aprovechado por los monasterios, que jugaron un papel fundamental en la producción y perfeccionamiento de la cerveza, esto consolidó el poder de la Iglesia en regiones como las Islas Británicas, Alemania y los Países Bajos (Cabras et al., 2023).

Con el paso del tiempo, la calidad sensorial de la cerveza fue mejorando, y en el siglo XIX los avances en enzimología y microbiología, como el uso de cultivos puros de levadura, junto con técnicas como la refrigeración y la pasteurización, permitió su producción masiva y estandarizada, transformando la cerveza en un producto global (Sills et al. 1987; Walther et al. 2015). A finales del siglo XX surgió el movimiento de la "cerveza artesanal", caracterizado por una producción a pequeña escala, la innovación en sabores y técnicas (Cabras et al. 2023). Hoy en día, tanto la cerveza industrial como la artesanal se comercializan ampliamente a nivel mundial, lo que resalta la importancia del análisis sensorial para asegurar la calidad y consistencia del producto. Este tipo de análisis es

rutinariamente utilizado en cervecerías para evaluar tanto el producto terminado como las materias primas (Parker, 2012).

El análisis sensorial de la cerveza ha evolucionado desde métodos tradicionales, como el diferencial y el descriptivo, hasta enfoques más modernos, como los métodos descriptivos sensoriales rápidos (Gómez-López, 2020). Estos métodos deben ser lo suficientemente flexibles para detectar diferencias y cambios entre cervezas, lo que ayuda a garantizar una calidad constante y minimizar la variabilidad en el proceso de producción (Habschied et al. 2022). En muchas ocasiones, los análisis sensoriales pueden incluso ser más relevantes que los análisis fisicoquímicos, aunque lo ideal es que se complementen con estos últimos y con análisis estadísticos, de forma que se puedan correlacionar los resultados (Ocvirk et al. 2017; Dong et al. 2014).

El Perfil Flash (PF) es una metodología rápida de análisis sensorial que ha surgido como una alternativa eficiente a los métodos descriptivos tradicionales, como el Análisis Descriptivo Cuantitativo. A diferencia de estos métodos más estructurados, el PF permite a los evaluadores utilizar libremente sus propios términos para describir y diferenciar los productos en una evaluación comparativa del conjunto completo de muestras (Kim et al. 2023). Esto significa que no se requiere un entrenamiento exhaustivo de los panelistas, ya que pueden elegir los atributos sensoriales que consideren más relevantes según su percepción individual (Delarue, 2015; Lassoued et al. 2008).

Uno de los principales beneficios del PF es su velocidad y flexibilidad, lo que lo convierte en una opción ideal en contextos donde el tiempo y los recursos son limitados. Al no depender de un conjunto predefinido de descriptores ni de largos periodos de entrenamiento, permite obtener resultados de manera rápida sin sacrificar la calidad de la información obtenida (Delarue y Sieffermann, 2004; Petit y Vanzeveren, 2015) siendo esto especialmente valioso para la evaluación de productos alimentarios y bebidas, como la cerveza, donde los cambios en los

ingredientes o los procesos de producción pueden afectar sutilmente el perfil sensorial y se vuelva crucial realizar ajustes de forma ágil.

Además, el PF es una herramienta versátil que se ha aplicado con éxito en diversas categorías de productos, no solo para identificar diferencias sensoriales entre muestras, sino también para explorar nuevas formulaciones o variaciones de productos en desarrollo (Delarue, 2004). Debido a su simplicidad y rapidez, el PF se ha convertido en una metodología popular para realizar análisis comparativos a gran escala en la industria de alimentos y bebidas fermentadas, permitiendo a los productores tomar decisiones basadas en la percepción sensorial sin comprometer la eficiencia del proceso (Delarue, 2015; Lassoued et al. 2008).

El objetivo de esta investigación fue evaluar las características sensoriales de las cervezas elaboradas con malta de cebada, malta de maíz azul, semilla de caobilla y lúpulo. Así como identificar y evaluar los descriptores sensoriales que ayuden a diferenciar una muestra de seis cervezas, de las 14 descritas en el capítulo 3.

4.2 Metodología

4.2.1 Aceptabilidad de cervezas

Se llevó a cabo una prueba de aceptabilidad a las 14 muestras de cerveza realizadas, esta se dividió en dos fases. La primera consistió en una evaluación específica de atributos, en la que se analizaron los aspectos sensoriales de amargor, aroma y sabor. La segunda parte fue una evaluación global de la aceptabilidad, ambas se realizaron con base en la metodología descrita por Hernández (2007), utilizando una escala hedónica de 9 puntos:

- (1) me disgusta extremadamente,
- (2) me disgusta mucho,
- (3) me disgusta moderadamente,
- (4) me disgusta poco,

- (5) ni me disgusta ni me gusta,
- (6) me gusta poco,
- (7) me gusta moderadamente,
- (8) me gusta mucho y
- (9) me gusta extremadamente.

Dado el número elevado de tratamientos involucrados (Cuadro 14) y para evitar la fatiga sensorial de los panelistas, se implementó un diseño experimental de Bloques Incompletos Balanceados (BIB). Este enfoque permitió que cada panelista evaluara solo una fracción del total de muestras, manteniendo la eficacia de la prueba sin comprometer la calidad de las evaluaciones. De esta manera, se minimizó la sobrecarga sensorial y se optimizó el tiempo de la evaluación, asegurando que las percepciones de los panelistas no se vieran afectadas por la cantidad excesiva de muestras evaluadas.

El plan para los Bloques Incompletos Balanceados consto de 14 tratamientos ($t=14$), cuatro muestras por panelista ($k=4$), cada muestra fue evaluada 30 veces ($r=30$), y los panelistas se consideraron como bloques ($b=105$), el número de veces que cada comparación de pares ocurre fue $\lambda=6$, solo se empleó una repetición del plan y a los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza empleando RStudio versión 2024.09.0

Cuadro 14. Características de las cervezas evaluadas en el diseño de Bloques incompletos balanceados.

Tratamientos	Factores			
	Malta de Cebada (%)	Malta de maíz azul (%)	Semilla de caobilla (%)	Lúpulo (%)
13	70.71	29.28	29.28	70.71
12	29.28	70.71	29.28	70.71
11	29.28	70.71	70.71	29.28
10	70.71	29.28	70.71	29.28
14	50	50	50	50
9	50	50	50	50
8	50	50	50	50
6	50	50	50	50
2	50	50	50	50
4	50	50	50	50
7	50	50	100	0
1	50	50	0	100
3	100	0	50	50
5	0	100	50	50

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Perfil Flash

Se analizaron seis cervezas de los catorce tratamientos realizados para esta investigación (Cuadro 15), las primeras cuatro cervezas constan de un ingrediente principal (cebada, maíz azul, caobilla y lúpulo) en una proporción completa, es decir al 100%, mientras que la quinta cerveza es la considerada más próxima al tratamiento optimo del capítulo 3 y la sexta cerveza es la que obtuvo la mejor aceptación general de la prueba de aceptación sensorial realizada con Bloques Incompletos Balanceados.

Cuadro 15. Características de las cervezas evaluadas en el Perfil Flash.

Cerveza	Ingredientes			
	Malta de Cebada (%)	Malta de maíz azul (%)	Semilla de caobilla (%)	Lúpulo (%)
1	50	50	100	0
2	50	50	0	100
3	100	0	50	50
4	0	100	50	50
5	70.71	29.28	29.28	70.71
6	Cerveza con mejor aceptación del Diseño de Bloques Incompletos Balanceados.			

Fuente: Elaboración propia

La decisión de las muestras a analizar fue no estadística, estas bebidas fueron almacenadas previamente en botellas de vidrio color ámbar y almacenadas en un lugar oscuro a 4°C para posteriormente ser analizadas.

De estas 6 muestras se realizó un grupo focal, el cual estuvo integrado por 17 personas quienes fueron seleccionados por ser consumidores de cerveza, su aptitud y capacidad general para adaptarse al análisis realizado, a estos panelistas se les presentaron las seis muestras de cerveza y se les pidió que escribieran en una hoja que se les proveyó, los descriptores o atributos presentes en cada una de las muestras y que mejor ayudaran a diferenciarlas. Posteriormente se realizó un consenso entre todos los miembros del panel para obtener los atributos requeridos y en las tres sesiones posteriores se les dió a cada uno de los panelistas las seis muestras de cerveza de forma aleatoria y balanceada en vasos de plástico de 20 mL previamente codificados con tres dígitos, y se les solicitó jerarquizar las muestras de acuerdo a la intensidad para cada atributo, haciendo uso de una escala ordinal de seis puntos donde uno equivale a “menos intenso” y seis a “más intenso”. Cada miembro del panel evaluó el conjunto de muestras por triplicado, durante tres días para evitar fatiga de los panelistas, durante estas evaluaciones tuvieron disponible galletas y agua para enjuagarse la boca entre muestras. Esta técnica se realizó en condiciones adecuadas de iluminación y temperatura ambiente (22°C).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza usando un diseño completamente al azar con tres repeticiones, con la finalidad de evaluar la capacidad discriminativa ($p \leq 0.05$) de cada panelista para cada uno de los atributos de las cervezas. El análisis se realizó empleando el programa Minitab®18.1.20.0. (Pennsylvania, EE. UU.). Posteriormente, con datos de los panelistas y atributos significativos se aplicó el Análisis Procrustes Generalizado (APG) (Gower, 1975), y de este se obtuvo el mapa de perfil descriptivo (Xiong et al., 2008). Se empleó el programa XLSTAT versión 2019 (Addinsoft, EE. UU.).

4.3 Resultados

4.3.1 Evaluación sensorial de cervezas

Los valores obtenidos para la evaluación sensorial de los atributos aroma, sabor, amargor y aceptabilidad general los tratamientos de las cervezas terminadas se muestran en el cuadro 15.

Cuadro 16. Resultados de la aceptabilidad de tratamientos de cervezas.

Tratamiento	Aceptabilidad de amargor	Aceptabilidad de sabor	Aceptabilidad de aroma	Aceptabilidad general
T1	4.87 ± 2.01 cde	5.27 ± 1.87 cd	6.73 ± 2.07 ab	5.83 ± 1.80 bcd
T2	3.73 ± 2.16 de	4.50 ± 1.70 cd	6.33 ± 1.56 ab	5.10 ± 1.71 bcd
T3	5.57 ± 2.39 abc	5.30 ± 1.82 abc	6.17 ± 1.49 ab	5.90 ± 1.81 abc
T4	5.43 ± 1.59 bcde	5.77 ± 1.57 abc	7.00 ± 1.68 ab	6.27 ± 1.46 abc
T5	4.73 ± 2.30 cde	5.37 ± 1.87 bcd	6.40 ± 1.40 ab	5.53 ± 1.76 bcd
T6	6.17 ± 2.20 ab	6.40 ± 1.90 a	6.70 ± 1.62 ab	6.60 ± 2.02 a
T7	5.47 ± 1.72 abcd	5.47 ± 1.74 abc	6.70 ± 1.34 ab	6.07 ± 1.26 ab
T8	4.57 ± 1.98 cde	4.73 ± 1.74 cd	5.57 ± 1.77 b	5.03 ± 1.83 cd
T9	5.17 ± 1.58 abcd	5.63 ± 1.50 abc	6.80 ± 1.35 ab	6.13 ± 1.46 abc
T10	3.30 ± 2.20 e	3.40 ± 1.77 d	5.50 ± 1.70 ab	4.20 ± 1.54 d
T11	6.63 ± 1.67 a	6.23 ± 1.77 a	6.53 ± 1.57 ab	6.67 ± 1.52 a
T12	5.63 ± 1.81 abc	5.90 ± 1.47 abc	7.10 ± 1.12 a	6.07 ± 1.55 abc
T13	4.43 ± 2.31 cde	4.80 ± 2.04 cd	6.53 ± 1.68 ab	5.53 ± 1.74 abcd
T14	5.27 ± 2.20 abc	5.80 ± 1.94 ab	6.37 ± 1.43 ab	6.03 ± 2.08 abc

Los valores medios con diferentes superíndices dentro de una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

La evaluación de la aceptabilidad del atributo amargor mostró que el tratamiento once obtuvo la mayor puntuación. Este tratamiento fue elaborado con una composición del 29.28% de cebada, 70.71% de malta de maíz azul, 29.28% de lúpulo y 70.71% de semilla de caobilla. En contraste, el tratamiento con la menor calificación promedio fue el tratamiento diez, que contiene 70.71% de cebada, 29.28% de malta de maíz azul, 29.28% de lúpulo y 70.71% de caobilla. Se observó una tendencia en la que la aceptabilidad del amargor aumenta a medida que incrementa la proporción de cebada y lúpulo. Sin embargo, una aceptación igualmente favorable se logró cuando la proporción de malta de maíz azul combinada con caobilla también se incrementó, lo que sugiere que ambos ingredientes juegan un papel importante en la percepción del amargor.

En cuanto a la evaluación del atributo sabor, el tratamiento seis obtuvo la mejor calificación, siendo elaborado con una composición balanceada de 50% de malta de cebada y 50% de lúpulo. El tratamiento diez, por otro lado, fue el menos aceptado, manteniendo la misma formulación descrita previamente. Al igual que en el caso del amargor, la aceptabilidad del sabor mostró un incremento proporcional con el aumento de la cebada y el lúpulo. Sin embargo, los resultados indican que un mayor nivel de aceptación se alcanzó cuando la proporción de malta de maíz azul y semilla de caobilla fue incrementada, lo que sugiere que estos ingredientes también pueden influir positivamente en el perfil de sabor percibido.

En la evaluación del atributo aroma, el tratamiento doce recibió la puntuación más alta. Este tratamiento se elaboró con 29.28% de cebada, 70.71% de malta de maíz azul, 70.71% de lúpulo y 29.28% de caobilla. Nuevamente, el tratamiento diez fue el que obtuvo la menor calificación promedio. La aceptabilidad del aroma mostró un patrón similar, donde una mayor proporción de cebada y lúpulo se relacionó con una mayor aceptación. Sin embargo, la combinación de malta de maíz azul con caobilla también mejoró la percepción del aroma, lo que sugiere un efecto combinado que realza la complejidad aromática de las cervezas.

Finalmente, en la evaluación de aceptabilidad global, el tratamiento once fue el que obtuvo la mayor puntuación, mientras que el tratamiento diez mantuvo la calificación más baja. La tendencia general indica que la aceptabilidad global aumenta con la proporción de cebada y lúpulo, pero también se ve favorecida por la combinación de malta de maíz azul y caobilla. Esto sugiere que la interacción entre estos ingredientes no solo influye en características individuales como el amargor, el sabor y el aroma, sino que también contribuye a la percepción general y preferencia del producto.

Desde un punto de sensorial, los adjuntos de maíz generalmente agregan aromas específicos a las cervezas, como palomitas de maíz y maíz dulce, esto debido a la presencia de 6-acetiltetrahidropiridina, 2-acetil-1-pirrolina y su análogo 2-propionil-1-pirrolina (Taylor et al. 2013). Otros tipos de adjuntos, como la harina de maíz, en proporciones inferiores al 20%, tienen un efecto positivo en aspectos sensoriales como el olor, dulzor, amargor y aroma, por lo que se valoran mejor las cervezas con adjuntos de maíz que aquellas sin adjuntos (Han et al. 2016). En términos de compuestos, el uso de maíz como adjunto reduce ligeramente el contenido total de polifenoles (Taylor et al. 2013), aportando entre el 10 y 20% de la ingesta diaria total recomendada de fenoles y alrededor del 4 al 8% de la capacidad antioxidante total de una dieta promedio (Fumi et al. 2011).

Lo anterior es lo reportado al emplear maíz blanco, sin embargo, el uso de maltas de variedades de maíz pigmentadas, como el Chalqueño, da cervezas con mayor contenido de antocianina que las elaboradas a partir de variedades de maíz no pigmentadas, especialmente si se utilizan maltas de maíz azul caramelizadas, lo cual puede ser atribuido a su contenido de melanoidina (Flores et al. 2017).

En cambio, Diakabana et al. (2013) señalan que el uso de malta de maíz da como resultado cervezas con menor contenido de alcohol y con un sabor ligeramente amargo. Sin embargo, no es usado comúnmente debido a que el proceso de malteado del maíz suele ser difícil y costoso (Cela et al. 2020), por lo que el maíz sin maltear en forma de cereal, harina, almidón, extruido, jarabe de maíz, etc.

(Cadenas et al. 2021; Dabija et al. 2021) son las formas comúnmente empleadas como complemento para mejorar la calidad del mosto (Stewart, 2016), ya que ayudan a disminuir costos al ser una materia prima económica (Han et al. 2016). Sin embargo, dado a que estos ingredientes contienen una gran cantidad de almidones y poca actividad enzimática (Taylor et al. 2013), deben usarse estrictamente en conjunto con malta de cebada, es decir, en forma de adjunto. Un ejemplo de esto es lo reportado por Poreda et al. (2014) donde encontraron que es posible emplear grits de maíz en hasta 20% en conjunto con malta de cebada sin cambiar significativamente la producción de alcohol ni demás características de la cerveza, en cambio, si se emplea maíz molido en un 10% puede influir en los cambios de color de las cervezas claras. Sin embargo, la elaboración de cerveza con cebada, trigo, arroz y maíz sin maltear en una concentración del 60% puede causar diferencias sensoriales negativas e impactar el perfil volátil de fermentación de las cervezas tipo lager (Yorke et al. 2021).

4.3.2 Perfil Flash de cervezas

Derivado del análisis del Diseño de Bloques Incompletos Balanceados, se seleccionó el tratamiento 11 para ser la sexta cerveza evaluada en el Perfil Flash, esta cerveza fue elaborada con 29.28% de malta de cebada, 70.71% de malta de maíz azul, 29.28% de lúpulo y 70.71% de semilla de caobilla.

Como consecuencia del análisis estadístico de los datos, se seleccionaron siete panelistas reclutados para el análisis, los cuales fueron seleccionados con base al número de atributos sensoriales que resultaron significativos ($p \leq 0.05$) en el análisis de varianza, estos panelistas discriminaron adecuadamente seis atributos (color dorado, aroma a cebada, sabor amargo, sabor a cebada, sabor a maíz y sabor ácido) que permitieron la diferenciación de las muestras.

En el Análisis Procrustes Generalizado (APG) y de acuerdo a la transformación óptima consensuada se obtuvo un índice de consenso (R_c) de 0.93 y un cuantil del 100%, lo que demostró un buen consenso por parte de los panelistas.

También se distinguieron dos componentes que explicaron el 79.68% de la variabilidad total de los datos (Figura 11). El primero explicó un 45.05% de la variabilidad, donde los atributos color dorado, aroma a cebada, sabor amargo, sabor a cebada y sabor a maíz contribuyeron con las mayores cargas. El componente dos explicó un 34.63 % de la variabilidad, y las mayores cargas se asociaron con los atributos sabor amargo y sabor ácido. Otras investigaciones han reportado distintos valores para estos dos componentes, como los de bebidas de naranja (58.0 % y 20.7%); coulis de frambuesa (83.1 % y 10.5 %) y vino blanco (76.4 % y 14.9%) analizados por Ares et al. (2015); bebida de cachaza de Brazil (93% y 5%) estudiada por Rota et al. (2013); Mamede y Benassi (2016) encontraron que para una bebida con sabor a carambola los valores de los componentes fueron de 42% y 30%; y en bebidas alcohólicas están los reportados por Liu et al. (2017) para vinos daneses (72 % y 14 %); Liu et al. (2018) encontraron para vino tinto valores de 28 % y 17 % en los componentes; en vino de albariño Vilanova et al. (2010) señalan que los valores fueron de 37.22% y 15.68%; en vinos canadienses se encontró valores de 32% y 16% (Nurgel et al. 2004); y en vinos rosas australianos se encontró 35.9% y 17.5% (Wang et al. 2016).

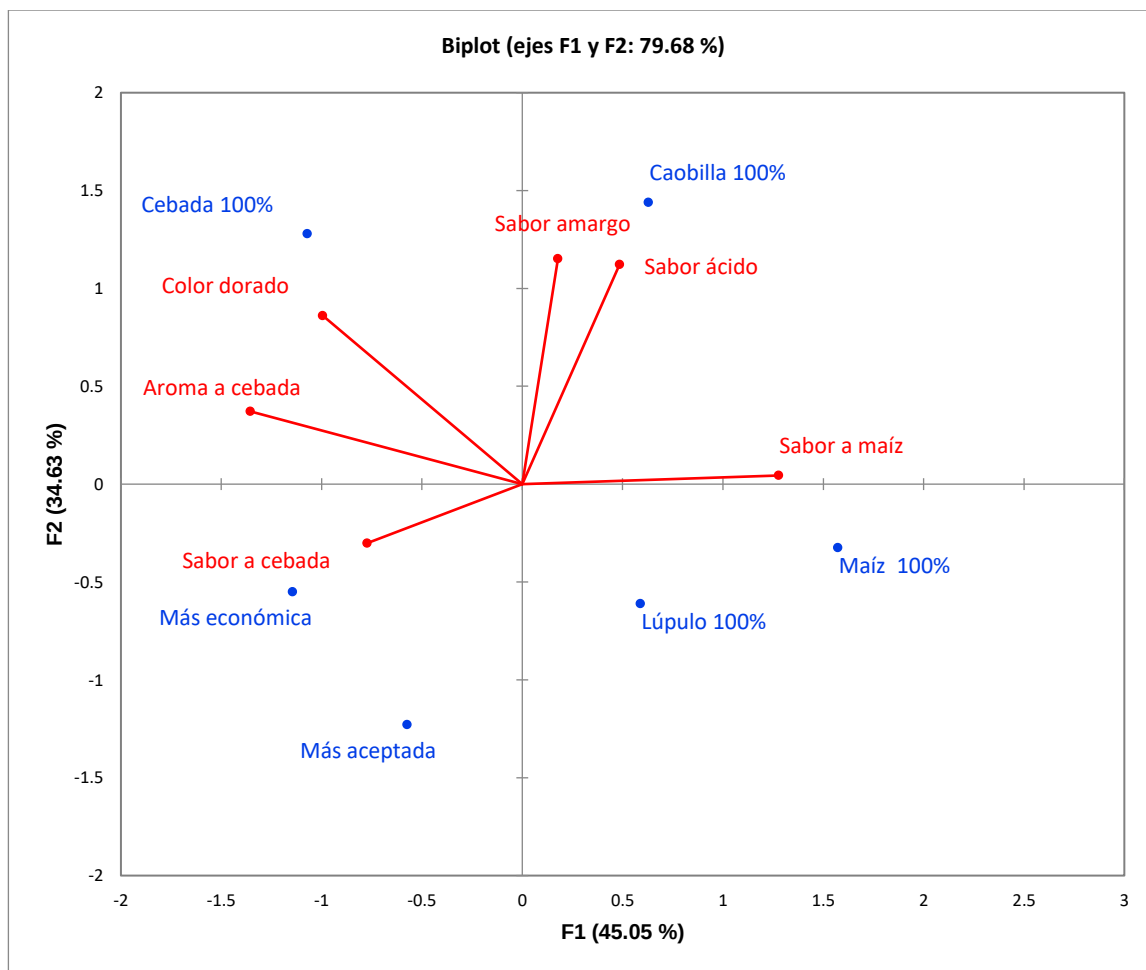


Figura 11. Atributos consensuados por panelistas (●) en el Perfil Flash y ubicación de las seis cervezas (●), obtenidos por el Análisis Procrusteano Generalizado.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 permite visualizar y diferenciar las seis muestras de cerveza analizadas. En ella se observa que la cerveza elaborada con 100% de semilla de caobilla destaca por sus marcados atributos de amargor y sabor ácido. Por otro lado, la cerveza hecha con 100% de lúpulo y la elaborada con 100% de maíz azul se diferencian principalmente por su sabor a maíz, reflejando la influencia de este grano en el perfil sensorial. En cuanto a la cerveza producida con 100% de malta de cebada, esta se asocia de manera predominante con un color dorado y un aroma a cebada.

La cerveza etiquetada como más económica, elaborada con una combinación de 70.71% de malta de cebada, 29.28% de malta de maíz azul, 29.28% de semilla de caobilla y 70.71% de lúpulo, se distingue particularmente por la intensidad del sabor a cebada. Además, se observa que la muestra de cerveza más aceptada sensorialmente está en el mismo cuadrante a la cerveza más económica. Esto se valida a través del análisis de aceptabilidad general, donde ambas cervezas resultaron estadísticamente semejantes según la comparación de medias.

Este hallazgo respalda lo señalado por Han et al. (2016), quienes sugieren que el uso de hasta 20% de maíz sin maltear en la elaboración de cerveza genera un efecto sinérgico con la cebada, mejorando atributos sensoriales clave como el aroma, dulzor, amargor y aroma del grano, en comparación con las cervezas que no contienen maíz. Sin embargo, de acuerdo con Yorke et al. (2021), incrementar el porcentaje de maíz hasta un 60% puede tener un efecto adverso, deteriorando estos aspectos sensoriales y afectando negativamente el perfil global de la cerveza.

En cambio, la cerveza elaborada con 100% de semilla de caobilla se caracterizó por ser más ácida y amarga, esto último se debe a que a diferencia del lúpulo, el amargor proporcionado por la semilla se conserva a través del tiempo, mientras que en las cervezas con lúpulo se observó lo contrario. Esto es debido a la conversión de los trans-iso-alfa-ácidos de sabor amargo en productos de degradación tri- y tetracíclicos (Intelmann et al. 2009).

4.4 Conclusión

La descripción sensorial de las cervezas elaboradas con diferentes proporciones de cebada, lúpulo, maíz azul y caobilla reveló tendencias en cuanto a la aceptabilidad de los atributos evaluados. El amargor, el sabor y el aroma se vieron favorecidos en aquellas muestras que contenían mayores proporciones de cebada y lúpulo, lo que confirma su influencia positiva en la percepción sensorial. Sin embargo, también se observó que la combinación de malta de maíz azul y caobilla contribuyó de manera significativa a la complejidad y aceptación general

de las cervezas siempre que esten en conjunto con la cebada y el lúpulo, tal como fue el caso de la cerveza mas aceptada, que conteníe 29.28% de cebada, 70.71% de malta de maíz azul, 29.28% de lúpulo y 70.71% de semilla de caobilla. Esto sugiere que ambos ingredientes pueden desempeñar un papel complementario en la formulación de cervezas innovadoras, al ofrecer características sensoriales diferenciadas que mejoran la experiencia del consumidor.

La evaluación de la aceptabilidad de las cervezas, apoyada con el análisis de Perfil Flash, permitió identificar la influencia de los diferentes ingredientes en la percepción de atributos sensoriales clave. El uso adecuado de cebada, lúpulo, maíz azul y caobilla puede generar cervezas con perfiles sensoriales complejos, los cuales afectan atributos como el amargor, el sabor y el aroma y la aceptabilidad global del producto.

4.5 Literatura citada

- Albala, K. (2009). Beer in the Middle Ages and the Renaissance. *Food and Foodways*. 17, 50 - 51. <https://doi.org/10.1080/07409710902794128>.
- Ares, G., Antúnez, L., Bruzzzone, F., Vidal, L., Giménez, A., Pineau, B., ... Jaeger, S. R. (2015). Comparison of sensory product profiles generated by trained assessors and consumers using CATA questions: Four case studies with complex and/or similar samples. *Food Quality and Preference*, 45, 75–86. <https://doi.org/j.foodqual.2015.05.00>
- Cabras, I., Kogler, D., Davies, R., y Higgins, D. (2023). Beer, brewing, and regional studies. *Regional Studies*, 57, 1905 - 1908. <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2216066>.
- Cadenas, R., Caballero, I., Nimubona, D., y Blanco, C. (2021). Brewing with Starchy Adjuncts: Its Influence on the Sensory and Nutritional Properties of Beer. *Foods*, 10(8), 1726. <https://doi.org/10.3390/foods10081726>.
- Cela, N., Condelli, N., Caruso, M.C., Perretti, G., Di Cairano, M., Tolve, R. y Galgano, F. (2020). Gluten-Free Brewing: Issues and Perspectives. *Fermentation*. 6(2), 53. <https://doi.org/10.3390/fermentation6020053>
- Dabija, A., Ciocan, M.E., Chetrariu, A. y Codină, G.G. (2021). Maize and Sorghum as Raw Materials for Brewing, a Review. *Applied Sciences*. 11(7), 3139. <https://doi.org/10.3390/app11073139>
- Delarue, J. (2015). Flash Profile, its evolution and uses in sensory and consumer science. *Rapid Sensory Profiling Techniques*, 121–151. <https://doi.org/10.1533/9781782422587.2.121>.
- Delarue, J., y Sieffermann, J. (2004). Sensory mapping using Flash profile. Comparison with a conventional descriptive method for the evaluation of the flavour of fruit dairy products. *Food Quality and Preference*, 15, 383-392. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(03\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(03)00085-5).
- Diakabana, P., Mvoula-Tsieri, M., Dhellot, J., Kobawila, S.C. y Louembe, D. (2013). Physico-Chemical Characterization of Brew during the Brewing Corn Malt in the Production of Maize Beer in Congo. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 6, 671–677. <http://dx.doi.org/10.19026/ajfst.5.3147>
- Dong, J., Li, Q., Yin, H., Zhong, C., Hao, J., Yang, P., Tian, Y., y Jia, S. (2014). Predictive analysis of beer quality by correlating sensory evaluation with higher alcohol and ester production using multivariate statistics

methods. *Food chemistry*. 161, 376-82.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.006>.

Flores, A.M.D., Luna, H., Escalona, H.B. y Verde, J.R. (2017). Chemical Characterization and Antioxidant Capacity in Blue Corn (*Zea Mays* L.) Malt Beers. *Journal of the Institute of Brewing*. 123, 506–518.
<https://doi.org/10.1002/jib.444>

Fumi, M.D., Galli, R., Lambri, M., Donadini, G. y De Faveri, D.M. (2011). Effect of Full-Scale Brewing Process on Polyphenols in Italian All-Malt and Maize Adjunct Lager Beers. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24, 568–573. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.12.006>

Gómez-López, J. (2020). Sensory evaluation of beer. The Craft Brewing Handbook. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102079-1.00007-2>.

Gower, J. C. (1975). Generalized procrustes analysis. *Psychometrika*, 40(1), 33–51. <https://doi.org/10.1007/BF02291478>

Habschied, K., Ćosić, I., Šarić, G., Krstanović, V., y Mastanjević, K. (2023). Sensory Analysis Coupled with Gas Chromatography/Mass spectrometry Analysis in Craft Beer Evaluation. *Fermentation*. 9(8), 747.
<https://doi.org/10.3390/fermentation9080747>.

Habschied, K., Krstanović, V., y Mastanjević, K. (2022). Beer Quality Evaluation—A Sensory Aspect. *Beverages*. 8(1), 15.
<https://doi.org/10.3390/beverages8010015>.

Han, H.; Kim, J.; Choi, E.; Ahn, H. y Kim, W.J. (2016). Characteristics of Beer Produced from Korean Six-Row Barley with the Addition of Adjuncts. *Journal of Institute of Brewing*. 122, 500–507. <https://doi.org/10.1002/jib.350>

Hornsey, I. (2016). Beer: *History and Types*. 345-354.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00057-X>.

Intelmann, D., Demmer, O., Desmer, N., y Hofmann, T. (2009). 18O stable isotope labeling, quantitative model experiments, and molecular dynamics simulation studies on the trans-specific degradation of the bitter tasting iso-alpha-acids of beer. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(22), 11014-11023. <https://doi.org/10.1021/jf903000c>.

Kim, D., Kwak, H., Lim, M., y Lee, Y. (2023). Comparison of Check-All-That-Apply (CATA), Rate-All-That-Apply (RATA), Flash Profile, Free Listing, and Conventional Descriptive Analysis for the Sensory Profiling of Sweet Pumpkin Porridge. *Foods*. 12(19), 3556.
<https://doi.org/10.3390/foods12193556>.

- Lassoued, N., Delarue, J., Launay, B., y Michon, C. (2008). Baked product texture: Correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. *Journal of Cereal Science*, 48, 133-143. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2007.08.014>.
- Liu, J., Bredie, W. L. P., Sherman, E., Harbertson, J. F., y Heymann, H. (2018). Comparison of rapid descriptive sensory methodologies: Free-Choice Profiling, Flash Profile and modified Flash Profile. *Food Research International*, 106, 892-900. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.062>
- Mamede, M. E. d. O., y Benassi, M. d. T. (2016). Efficiency assessment of Flash Profiling and Ranking Descriptive Analysis: a comparative study with star fruit powdered flavored drink. *Food Science and Technology*, 36(2), 195-203. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0003>
- Nurgel, C., Pickering, G. J., y Inglis, D. L. (2004). Sensory and chemical characteristics of Canadian ice wines. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 1675–1684. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1860>
- Ocvirk, M., Mlinarič, N., y Košir, I. (2017). Comparison of sensory and chemical evaluation of lager beer aroma by gas chromatography and gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of the science of food and agriculture*, 98(10), 3627-3635 . <https://doi.org/10.1002/jsfa.8840>.
- Oladokun, O., James, S., Cowley, T., Dehrmann, F., Smart, K., Hort, J., y Cook, D. (2017). Perceived bitterness character of beer in relation to hop variety and the impact of hop aroma. *Food chemistry*, 230, 215-224 . <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.031>.
- Parker, D. (2012). Beer: production, sensory characteristics and sensory analysis. 133-158. <https://doi.org/10.1533/9780857095176.2.133>.
- Petit, C., y Vanzeveren, E. (2015). Adoption and use of Flash Profiling in daily new product development: a testimonial. *Rapid Sensory Profiling Techniques*, 335–344. <https://doi.org/10.1533/9781782422587.3.335>
- Poreda, A., Czarnik, A., Zdaniewicz, M., Jakubowski, M., y Antkiewicz, P. (2014). Corn grist adjunct – application and influence on the brewing process and beer quality. *Journal of The Institute of Brewing*, 120, 77-81. <https://doi.org/10.1002/JIB.115>.
- Rota, M. B., Piggott, J. R., y Faria, J. B. (2013). Sensory profile and acceptability of traditional and double-distilled cachaça aged in oak casks. *Journal of the Institute of Brewing*, 119(4), 251–257. <https://doi.org/10.1002/jib.88>

- Sills, A., Panchal, C., Russell, I., y Stewart, G. (1987). Production of amylolytic enzymes by yeasts and their utilization in brewing. *Critical reviews in biotechnology*, 5(2), 105-15 . <https://doi.org/10.3109/07388558709086971>.
- Stewart, G. (2016). Chapter 2—Adjuncts. En *Brewing Materials and Processes*; Bamforth, C.W., Ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA. 27–46
- Taylor, J.R.N., Dlamini, B.C. y Kruger, J. (2013). 125th Anniversary Review: The Science of the Tropical Cereals Sorghum, Maize and Rice in Relation to Lager Beer Brewing. *Journal of Institute of Brewing*. 119, 1–14. <https://doi.org/10.1002/jib.68>
- Unger, R. (2004). Beer in the Middle Ages and the Renaissance. <https://doi.org/10.5860/choice.42-4002>.
- Vilanova, M., Genisheva, Z., Masa, A., y Oliveira, J. M. (2010). Correlation between volatile composition and sensory properties in Spanish Albariño wines. *Microchemical Journal*. 95(2), 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.12.007>
- Walther, A., Ravasio, D., Qin, F., Wendland, J., y Meier, S. (2015). Development of brewing science in (and since) the late 19th century: molecular profiles of 110-130 year old beers. *Food chemistry*, 183, 227-34 . <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.051>.
- Wang, J., Capone, D. L., Wilkinson, K. L., y Jeffery, D. W. (2016). Chemical and sensory profiles of rosé wines from Australia. *Food Chemistry*, 196, 682–693. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.1>
- Xiong, R., Blot, K., Meullenet, J. F., y Dessirier, J. M. (2008). Permutation tests for Generalized Procrustes Analysis. *Food Quality and Preference*, 19(2), 146 155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.03.003>
- Yorke, J., Cook, D., y Ford, R. (2021). Brewing with Unmalted Cereal Adjuncts: Sensory and Analytical Impacts on Beer Quality. *Beverages*. 7(1), 4. <https://doi.org/10.3390/BEVERAGES7010004>.

5. IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLATILES EN CERVEZA

Resumen

La cerveza es una bebida alcohólica cuya compleja composición incluye una diversidad de compuestos volátiles y semivolátiles que influyen en su perfil organoléptico, afectando tanto el sabor como el aroma. En este estudio, se analizaron cuatro muestras correspondientes a cervezas elaboradas con 100% de maíz, cebada, caobilla y lúpulo, respectivamente. Se emplearon técnicas de microextracción en fase sólida (SPME) y cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (CG-EM). Los resultados indicaron la presencia de ácidos, alcoholes, ésteres e hidrocarburos como principales grupos de compuestos. En particular, los ácidos octanoico y decanoico fueron identificados en las cervezas de cebada, caobilla y lúpulo, sugiriendo una contribución a la percepción sensorial de grasa o cera. Por otro lado, los alcoholes isoamílico e isobutanol, presentes en la cerveza de maíz azul, se asociaron con la composición del mosto. Los ésteres octanoato, hexanoato y decanoato de etilo se identificaron en todas las muestras, siendo conocidos por su contribución a los aromas frutales y dulces, mientras que el acetato de 3-metilbutilo en las cervezas de cebada, caobilla y lúpulo sugiere la posibilidad de mejorar la calidad percibida con aromas a plátano. No se identificaron hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), sin embargo, se detectó estireno en las cervezas de caobilla y maíz azul, lo cual es indeseado. Además, el mirceno, identificado en la cerveza de maíz azul pero no en la de lúpulo, sugiere un incremento en las notas herbales.

Palabras clave: Volátiles, microextracción en fase sólida, cerveza.

IDENTIFICATION OF VOLATILE COMPOUNDS IN BEER

Abstract

Beer is an alcoholic beverage with a complex composition that includes a variety of volatile and semi-volatile compounds influencing its organoleptic profile, affecting both flavor and aroma. In this study, four samples corresponding to beers made with 100% corn, barley, caobilla, and hops, respectively, were analyzed. Solid-phase microextraction (SPME) and gas chromatography coupled with mass selective detection (GC-MS) techniques were employed. Results indicated the presence of acids, alcohols, esters, and hydrocarbons as the main groups of compounds. Specifically, octanoic and decanoic acids were identified in barley, caobilla, and hops beers, suggesting a contribution to sensory perception of fat or wax. On the other hand, isoamyl alcohol and isobutanol, present in the blue corn beer, were associated with the wort composition. Ethyl octanoate, hexanoate, and decanoate esters were identified in all samples and are known for their contribution to fruity and sweet aromas, while 3-methylbutyl acetate in barley, caobilla, and hops beers suggests a potential to enhance perceived quality with banana-like aromas. No polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were identified; however, styrene was detected in caobilla and blue corn beers, which is undesirable. Additionally, myrcene, identified in blue corn beer but not in hops beer, suggests an increase in herbal notes.

Keywords: Volatiles, solid-phase microextraction, beer.

5.1 Introducción

La cerveza es una bebida alcohólica que contiene una gran diversidad de compuestos que influyen en la percepción de su sabor y aroma por parte de los consumidores. Estos compuestos se originan a partir de los ingredientes utilizados en su elaboración, siendo los principales contribuyentes al perfil sensorial la malta (Svoboda et al., 2022), la levadura (Parker, 2012) y el lúpulo (Inui et al., 2013; Silva et al., 2019). Este último ingrediente se considera el mayor responsable de aportar compuestos aromáticos en la cerveza final. Incluso, en las cervezas artesanales, existen estilos donde el uso del lúpulo es notablemente superior a lo habitual, como es el caso de las cervezas IPA (Indian Pale Ale), cuyo distintivo principal es su mayor amargor y una mayor intensidad aromática en comparación con otros estilos (Guan et al., 2019).

Estos compuestos volátiles responsables de la percepción de aromas por consumidores se pueden unir en diferentes grupos de acuerdo con su naturaleza, siendo los grupos predominantes los alcoholes superiores, ésteres, cetonas, aldehídos y ácidos orgánicos (Smogrovicova y Domeny, 1999). Sin embargo, hay pocos estudios que indiquen los compuestos volátiles y semivolátiles puede aportar el uso de granos de maíz pigmentado, ya sea como malta o como adjunto, entre las investigaciones existentes, destacan las realizadas por Romero-Medina et al. (2020) donde señalan que las cervezas de maíz pigmentadas tienen un perfil más aromático, siendo los fenoles y los terpenos los grupos de volátiles que mejor las caracterizan. Flores-Calderón et al. (2017) señalan que las cervezas con 85% de malta base de maíz azul y 15% de malta caramelo brindan mayores concentraciones de antocianinas y mayor capacidad antioxidante.

El análisis de estos compuestos se puede realizar mediante diversas técnicas, una de ellas es la cromatografía, la cual es una técnica analítica que se ha empleado para identificar, separar y cuantificar compuestos presentes en una mezcla. En el estudio de los alimentos, entre ellos las bebidas alcohólicas, se emplea principalmente para detectar compuestos volátiles que influyen en el

aroma y sabor, lo cual ayuda a analizar la calidad e inocuidad del producto, sin embargo, no existe una técnica única para realizar la evaluación de estos compuestos y entre algunas de estas técnicas se encuentra la cromatografía de gases (GC) con etanol como estándar que permite la determinación directa de compuestos volátiles en bebidas espirituosas (Charapitsa et al. 2019). Otra técnica es la microextracción en fase sólida en espacio de cabeza (HS-SPME) que al combinarse con cromatografía de gases y detección por emisión atómica es efectiva para detectar compuestos orgánicos volátiles en vinos y licores (Campillo, 2009), esta técnica también se ha utilizado para analizar componentes volátiles polares en bebidas alternativas a la leche de nueces (Manousi y Zachariadis, 2019) y en cerveza se ha empleado para analizar compuestos volátiles de azufre (Xiao et al. 2006), fenoles volátiles (Pizarro et al. 2010), compuestos volátiles relacionados con la estabilidad del sabor (Saison et al. 2008), alcoholes y ésteres (Jeleń et al. 1998), compuestos carbonílicos (Moreira et al. 2013) y ácidos orgánicos (Li et al. 2015), por lo anterior, esta técnica ha demostrado ser precisa, sensible y adecuada para estudios de estabilidad del sabor y análisis de compuestos volátiles en diferentes bebidas, incluida la cerveza.

El objetivo de esta investigación fue identificar y describir los compuestos volátiles y semivolátiles presentes en una muestra de cuatro cervezas realizadas en el capítulo 3.

5.2 Metodología

5.2.1 Objeto de estudio

Se analizaron cuatro muestras de los catorce tratamientos realizados para esta investigación, las características de cada uno de los tratamientos se describen en el cuadro 16.

Cuadro 17. Cantidad de insumos de las muestras de cerveza analizadas.

Muestra	Maíz (%)	Cebada (%)	Caobilla (%)	Lúpulo (%)
1	100	0	50	50
2	0	100	50	50
3	50	50	100	0
4	50	50	0	100

La decisión de las muestras a analizar fue no estadística, estas bebidas fueron almacenadas previamente en botellas de vidrio color ámbar y almacenadas en un lugar oscuro a 4°C para posteriormente ser analizadas.

5.2.2 Identificación de compuestos volátiles en cervezas

Se realizó la identificación de compuestos volátiles y semivolátiles de cerveza por microextracción en fase sólida (SPME) y cromatografía de gases acoplada a detector selectivo de masas (CG-EM), empleando un cromatógrafo de gases (CG) Agilent 7890B acoplado a un detector selectivo de masas (MSD) Agilent 5977A (CRO-E003) con una columna DB-WAX Ultra Inert 60m x 250 μ m x 0.25 μ m. Se aplicó un programa de temperatura de 40 °C por 1 min, 9 °C/min hasta 240 °C por 10 min. Se utilizó como gas acarreador Helio a un flujo de 1 mL/min y una temperatura del puerto de inyección de 220 °C. El detector selectivo de masas se configuró a una energía de ionización electrónica de 70 eV en un rango de escaneo de 30-550 uma y una velocidad de lectura de 13.8 espectros*s⁻¹. La temperatura de la cámara de ionización fue de 200 °C y la temperatura de la línea de transferencia de 250 °C. La fibra utilizada está compuesta de DVB/CWR/PDMS (Divinilbenceno / Carbono de amplio espectro / Polidimetilsiloxano) con longitud de 10 mm y grosor de 80 μ m (50/30 μ m) marca Agilent Technologies. La adquisición y procesamiento de datos se realizó con el software MassHunter Workstation (Agilent Technologies, Inc. 2012). Los compuestos se identificaron con base en los patrones de fragmentación de los espectros de masas, los cuales se compararon con la información de los compuestos químicos en la base de datos del NIST (National Institute of

Standards and Technology) y la base de datos de fragancias Flavor de Agilent Technologies.

Para la preparación de la muestra por microextracción en fase sólida (SPME) en la fase de vapor (HS) se midieron 5 mL de muestra en un vial de vidrio de 22 mL con tapa rosca con septa de PTFE (politetrafluoroetileno). El vial de la muestra se calentó y equilibró a 40 °C por 60 min. Enseguida, se introdujo la fibra en la fase de vapor por 30 min. Después de la extracción, la fibra se insertó en el puerto de inyección del CG a 220 °C y la desorción de los compuestos fue realizada por 15 minutos en modo splitless. La fibra se acondicionó por 15 min a 220 °C antes de cada inyección. Asimismo, se realizó un blanco con una vial sin muestra a las mismas condiciones.

5.3 Resultados y discusión

Los principales compuestos encontrados en las cervezas analizadas se pueden reducir a ácidos, alcoholes, ésteres e hidrocarburos. Cada uno de los compuestos influye en las características organolépticas de la cerveza, sin embargo, estos compuestos varían de acuerdo con la materia prima utilizada en la cerveza como la malta (Svoboda et al., 2022), la levadura (Parker, 2012) y el lúpulo (Inui et al., 2013; Silva et al., 2019), entre otros.

5.3.1 Identificación de compuesto volátiles en cervezas

En la figura 12 se muestra el cromatograma de la cerveza elaborada con 100% de malta de maíz azul, en estas destacan la presencia de alcoholes como el alcohol isoamílico, etanol, isobutanol y oct-1-en-3-ol; los ésteres acetato de isoamilo, decanoato de etilo, hexanoato de etilo y octanoato de etilo; y los hidrocarburos 2-metil-3-etil-2penteno y estireno.

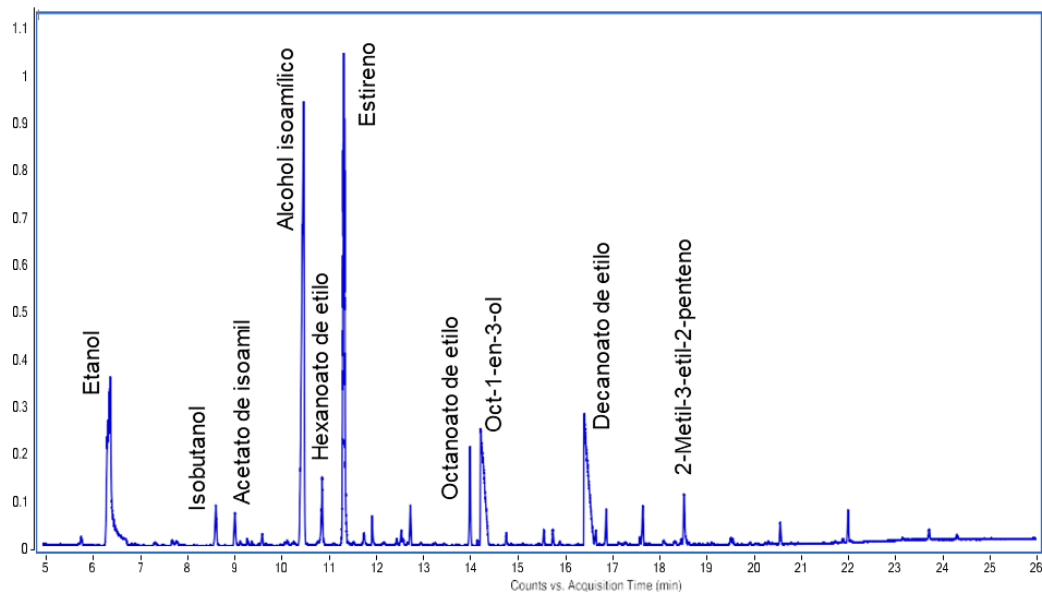


Figura 12. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% de malta de maíz azul.

Para la cerveza elaborada con 100% malta de cebada se incrementa la cantidad de compuestos con mayor altura de picos, siendo estos correspondientes a los ácidos octanoico y ácido-3-metilbutanoico; alcoholes como 2-feniletanol, 2-metilpropan-1-ol, 2-propilpentan-1-ol, 3-metilbutan-1-ol, y etanol; los ésteres acetato de 3-metilbutilo, acetato de etilo, dec-9-enoato de etilo, decanoato de etilo, dodecanoato de etilo, hexanoato de etilo, octanoato de etilo; y el hidrocarburo biciclo[4,2,0]octa-1,3,5-trieno.

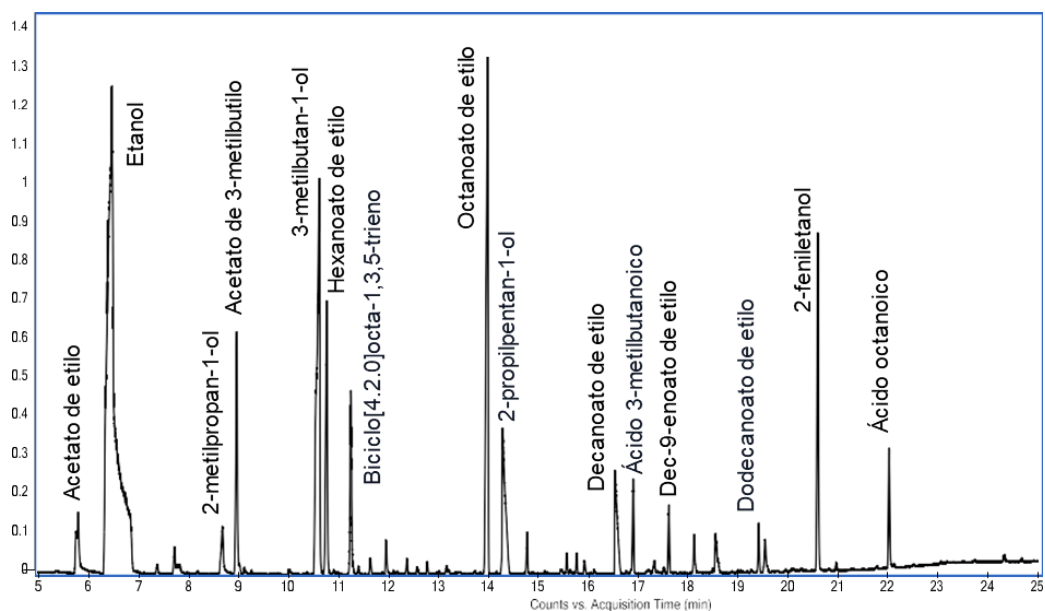


Figura 13. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% malta de cebada.

Para la cerveza elaborada con 100% de semilla de caobilla destacan 15 compuestos correspondientes a los ácidos decanoico y octanoico; alcoholes (2*mi*)-3,7-dimetilocta-2,6-dien-1-ol, (3*R*)-3,7-dimetiloct-6-en-1-ol, 2-feniletanol, 3,7-dimetilocta-1,6-dien-3-ol, 3-metilbutan-1-ol y etanol; ésteres acetato de 2-feniletilo, acetato de 3-metilbutilo, dec-9-enoato de etilo, decanoato de etilo, hexanoato de etilo y octanoato de etilo; y el hidrocarburo estireno (Figura 14).

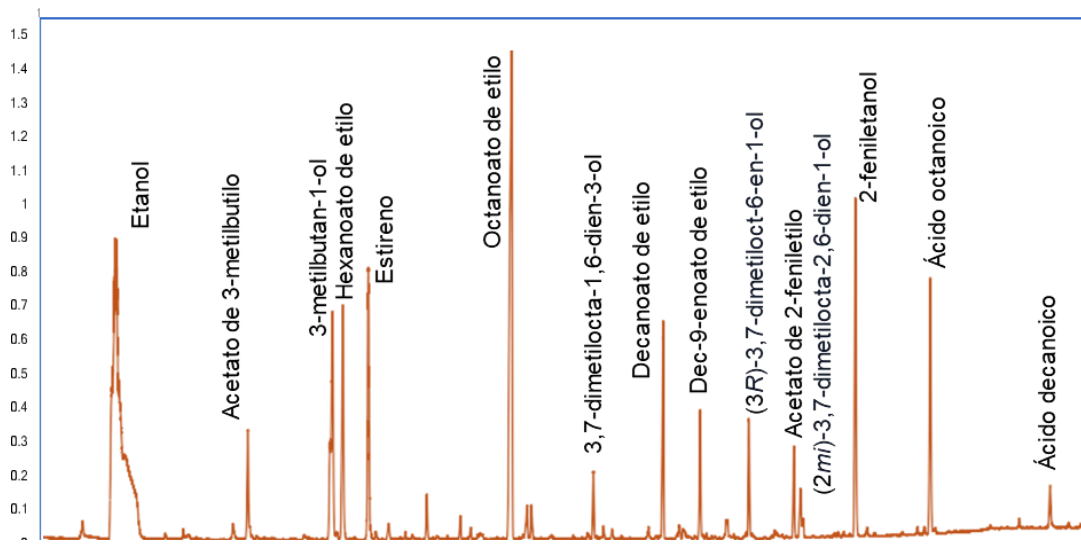


Figura 14. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% semilla de caobilla.

En cambio, en la cerveza elaborada con 100% de lúpulo se observa que fue la muestra con menor número de compuestos (figura 15). Entre los ácidos podemos mencionar al ácido octanoico, los alcoholes 2-feniletanol, 3-metilbutan-1-ol y etanol; y los ésteres acetato de 3-metilbutilo, decanoato de etilo, hexanoato de etilo y octanoato de etilo.

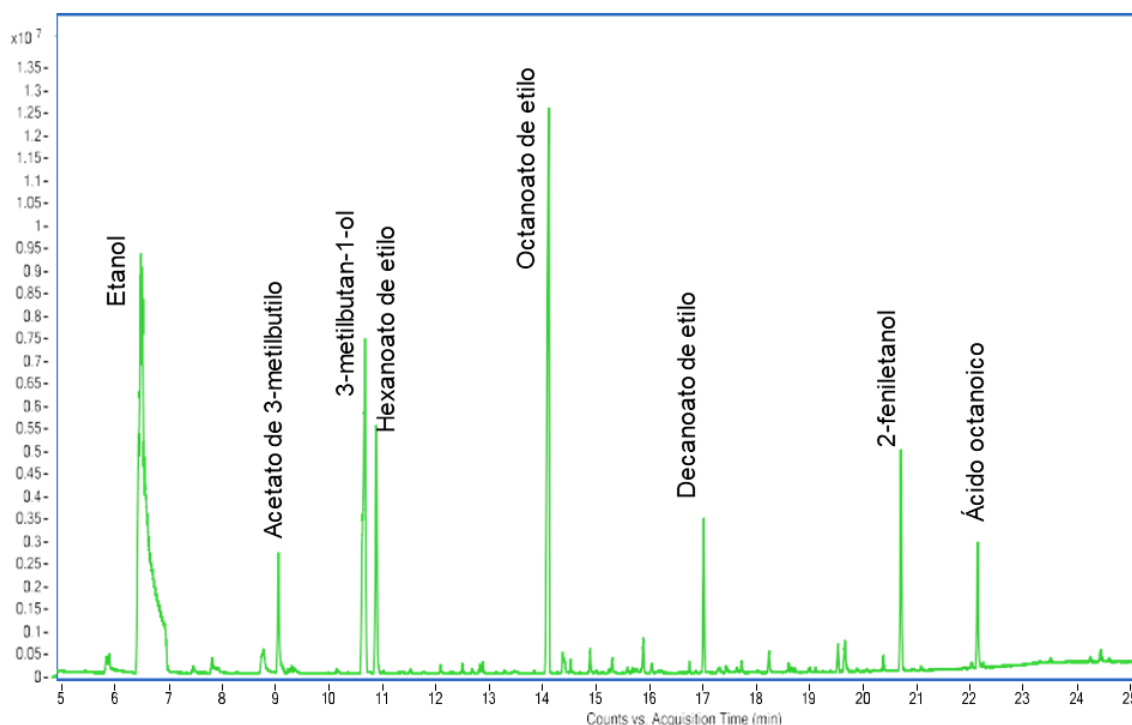


Figura 15. Cromatograma de cerveza elaborada con 100% de lúpulo.

5.3.2 Análisis de volátiles en cervezas

Ácidos orgánicos

El ácido orgánico presente en las cervezas de cebada, caobilla y lúpulo fue el ácido octanoico y en la cerveza con caobilla está presente el ácido decanoico, estos dos ácidos pueden contribuir significativamente en la percepción del sabor caprílico (grasiento, ceroso) en la cerveza (Clapperton, 1978) y además inhiben la fermentación y el crecimiento de las levaduras, ya que aumentan la tasa de entrada pasiva de protones a través de la membrana plasmática de

Saccharomyces cerevisiae (Stevens y Hofmeyr, 1993). En cambio, para la cerveza elaborada con 100% malta de cebada destaca el ácido-3-metilbutanoico (o ácido isovalérico), este ha sido identificado como uno de los ácidos volátiles comunes en la cerveza (Clarke et al. 1962), y en altas concentraciones pueden generar un aroma similar al queso (Olšovská et al. 2018).

Alcoholes

La presencia de alcohol isoamílico se incrementa en relación con la fuente de nitrógeno en el mosto y la conversión de ciertos aminoácidos (Eden et al. 2001), Sin embargo, también su producción esta influenciada por las diferentes cepas de levadura y condiciones de fermentación (Roberts et al. 2023), este alcohol fue encontrado únicamente en la cerveza elaborada con 100% malta de maíz azul al igual que el isobutanol, este último es uno de los principales compuestos volátiles que afectan el aroma y sabor de la cerveza, ya sea en cervezas regulares o sin alcohol (Sánchez-Estébanez et al. 2017) y al igual que el alcohol isoamílico, la presencia de este está influenciada por la composición del mosto y las cepas de levaduras (Eden et al. 2001; Matukas et al. 2022). Un alcohol encontrado en todas las muestras a excepción de la cerveza de maíz azul es el alcohol fenetílico (2-feniletanol), este compuesto incrementa la aceptación sensorial de las cervezas al contribuir positivamente en el aroma final. Li et al. (2020) concluyeron que la cerveza elaborada con yuca mostró un alto contenido de alcohol fenetílico otorgándole un aroma a rosas.

Un alcohol superior encontrado en las cervezas analizadas a excepción de la elaborada con maíz azul es el 3-metilbutan-1-ol, este contribuye al perfil aromático de la cerveza al proporcionar notas frutales, destacando aromas semejantes al plátano (Lin et al. 2023).

Ésteres

Los ésteres juegan un papel clave en la formación de sabores, especialmente sabores frutales, y su ausencia da como resultado una cerveza insípida e incluso

desagradable (Yin et al. 2019). La producción de estos compuestos en la elaboración de cerveza está condicionada a diversos factores, como la composición del mosto, la aireación y el diseño del fermentador (Peng, 2011).

En las 4 muestras analizadas estuvo presente el octanoato de etilo, hexanoato de etilo y el decanoato de etilo. El octanoato de etilo se considera responsable de brindar aroma a Brandy y notas dulces (Xu et al. 2017). El decanoato de etilo es uno de los ésteres menos estables durante el almacenamiento, lo cual puede usarse como indicador de envejecimiento de la cerveza (Hiralal et al. 2013); y el hexanoato de etilo brinda un aroma a manzana en la cerveza terminada (Roberts et al. 2023).

El acetato de 3-metilbutilo se encontró en las cervezas con 100% malta de cebada, 100% semilla de caobilla y 100% de lúpulo, este compuesto es conocido por su aroma a plátano al igual que el alcohol 3-metilbutan-1-ol (Lin et al. 2023). En cambio, el acetato de isoamilo, presente únicamente en la cerveza de maíz azul, es causante de sabores a plátano (Xu et al. 2017). El dodecanoato de etilo, presente en la cerveza de cebada, se encuentra en bajas concentraciones en el gas emitido durante la fermentación, por lo que su presencia en la cerveza puede ser limitada y, por lo tanto, su impacto sensorial es menor en comparación con otros compuestos volátiles (Prusova et al. 2023).

Hidrocarburos

La presencia de hidrocarburos en la cerveza es relativamente menor en comparación a otros compuestos volátiles, sin embargo, es un tema estudiado a causa de los posibles riesgos para la salud, siendo los hidrocarburos aromáticos policíclicos (polycyclic aromatic hydrocarbons o PAHs) los más estudiados debido a su potencial carcinogénico, estos compuestos se pueden obtener al someter alimentos a altas temperaturas y su presencia en la cerveza puede ocurrir durante el proceso de secado de las maltas a altas temperaturas (Mastanjević et al. 2021). Sin embargo, no se encontraron hidrocarburos aromáticos policíclicos en las muestras analizadas, ya que las maltas empleadas

en estas cervezas no llevaron procesos de secado o tostado a altas temperaturas, aun así, se evidenció la presencia de estireno en las cervezas con 100% caobilla y 100% de maíz azul, este compuesto es indeseable por su potencial carcinogénico y es común encontrarlo en cervezas elaboradas con malta de trigo (Langos et al. 2017; Kalb et al. 2020a; Kalb et al. 2020b; Schwarz et al. 2012). En cambio, el mirceno solo se encontró en la cerveza con 100% de malta de maíz azul, siendo este compuesto característico del lúpulo, habitualmente se busca en la producción de cerveza artesanal incrementar la cantidad de aromas que proporciona este compuesto mediante la técnica de Dry Hopping (Salamon et al. 2022).

5.4 Conclusiones.

Los análisis de compuestos volátiles y semivolátiles en las cuatro cervezas estudiadas revelaron importantes diferencias en los compuestos que influyen en los perfiles organolépticos, por lo que cada cerveza posee un perfil único de compuestos volátiles que no solo afectan su sabor y aroma, sino también su potencial en aceptación sensorial por los consumidores y estabilidad durante el almacenamiento.

De los cuatro grupos de compuestos identificados se observó que la presencia de ácidos orgánicos como el octanoico y el decanoico en las cervezas con cebada, caobilla y lúpulo sugiere que pueden incrementarse las percepciones sensoriales de grasa o cera, y de acuerdo con la literatura, estos compuestos también pueden afectar el proceso de fermentación al inhibir el crecimiento de levaduras, influyendo en el control de la calidad del producto final. En cambio, la producción de los alcoholes isoamílico e isobutanol presentes en la cerveza de maíz azul, están fuertemente condicionados por la composición del mosto, lo que sugiere que la malta de maíz azul tiene características propias que pueden influir en la producción de estos compuestos, sin embargo, el maíz azul no contó con la presencia de alcohol fenetílico, el cual aporta aroma a rosas y el 3-metilbutan-

1-ol, proporciona notas frutales y de plátano, lo que indica un mayor potencial de aceptación sensorial a las demás cervezas.

Los ésteres identificados en todas las muestras fueron el octanoato de etilo, hexanoato de etilo y decanoato de etilo, los cuales son conocidos por su importancia en la formación de aromas frutales y dulces en todas las muestras, lo que puede influir en la calidad percibida de la cerveza. Esta calidad percibida puede mejorar con la presencia de acetato de 3-metilbutilo, presente en las cervezas de cebada, caobilla y lúpulo, conocido por su aroma a plátano, mientras que el acetato de isoamilo presente en la cerveza de maíz azul puede contribuir en los aromas frutales, sin embargo, puede proporcionar aromas parecidos a solventes, lo que podría afectar negativamente la percepción del consumidor.

Por último, no se identificaron hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) en ninguna de las muestras, sin embargo, se evidenció la presencia de estireno en las cervezas de caobilla y maíz azul, siendo este un compuesto indeseado por su potencial carcinogénico. Otro hidrocarburo, el mirceno, identificado únicamente en la cerveza de maíz azul, es un compuesto que añade aromas herbales y es característico del lúpulo, sin embargo, no se evidencio su presencia en la cerveza elaborada con 100% de lúpulo.

5.6 Literatura citada

- Campillo, N., Peñalver, R., López-García, I., y Hernández-Córdoba, M. (2009). Headspace solid-phase microextraction for the determination of volatile organic sulphur and selenium compounds in beers, wines and spirits using gas chromatography and atomic emission detection. *Journal of chromatography*. A, 1216(39), 6735-6740 .
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.08.019>.
- Charapitsa, S., Sytova, S., Korban, A., y Sobolenko, L. (2019). Single-Laboratory Validation of a Gas Chromatographic Method of Direct Determination of Volatile Compounds in Spirit Drinks: Need for an Improved Interlaboratory Study. *Journal of AOAC International*, 102(2), 669-672 .
<https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0258>
- Clapperton, J. (1978). Fatty acids contributing to caprylic flavour in beer. The use of profile and threshold data in flavour research. *Journal of The Institute of Brewing*. 84, 107-112. <https://doi.org/10.1002/J.2050-0416.1978.TB03849.X>.
- Clarke, B., Harold, F., Hildebrand, R., y Morieson, A. (1962). Trace volatile constituents of Beer IV. Volatile acids. *Journal of The Institute of Brewing*. 68, 179-187. <https://doi.org/10.1002/J.2050-0416.1962.TB06339.X>.
- Eden, A., Nedervelde, L., Drukker, M., Benvenisty, N., y Debourg, A. (2001). Involvement of branched-chain amino acid aminotransferases in the production of fusel alcohols during fermentation in yeast. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 55, 296-300.
<https://doi.org/10.1007/s002530000506>.
- Flores-Calderón, A., Luna, H., Escalona-Buendía, H., y Verde-Calvo, J. (2017). Chemical characterization and antioxidant capacity in blue corn (*Zea mays* L.) malt beers. *Journal of The Institute of Brewing*. 123, 506-518.
<https://doi.org/10.1002/JIB.444>.
- Guan, X., Nie, C., Guo, Y., y Zhang, J. (2019). Changes of Hop-Derived Aroma Compounds in India Pale Ale during Brewing and Storage. *ETP International Journal of Food Engineering*. 1, 50-57.
<https://doi.org/10.18178/ijfe.5.1.50-57> .
- Hiralal, L., Pillay, B., y Olaniran, A. (2013). Stability profile of flavour-active ester compounds in ale and lager beer during storage. *African Journal of Biotechnology*. 12, 491-498. <https://doi.org/10.5897/AJB12.1965>.
- Inui, T., Tsuchiya, F., Ishimaru, M., Oka, K., y Komura, H. (2013). Different Beers with Different Hops. Relevant Compounds for Their Aroma Characteristics.

Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61(20), 4758–4764. <https://doi.org/10.1021/jf3053737>.

Jeleń, H., Wlazły, K., Wąsowicz, E., y Kamiński, E. (1998). Solid-Phase Microextraction for the Analysis of Some Alcohols and Esters in Beer: Comparison with Static Headspace Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46, 1469-1473. <https://doi.org/10.1021/JF9707290>.

Kalb, V., Seewald, T., Hofmann, T., y Granvogl, M. (2020). Studies on the Impact of Malting and Mashing on the Free, Soluble Ester-Bound, and Insoluble Ester-Bound Forms of Desired and Undesired Phenolic Acids Aiming at Styrene Mitigation during Wheat Beer Brewing. *Journal of agricultural and food chemistry*. 68(44), 12421 – 12432. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04835>.

Kalb, V., Seewald, T., Hofmann, T., y Granvogl, M. (2020). The Role of Endogenous Enzymes during Malting of Barley and Wheat Varieties in the Mitigation of Styrene in Wheat Beer. *Journal of agricultural and food chemistry*. 68(47), 13888 – 13896. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04837>.

Langos, D., Gastl, M., y Granvogl, M. (2017). Reduction of toxicologically relevant styrene in wheat beer using specially produced wheat and barley malts. *European Food Research and Technology*. 243, 1711-1718. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2875-5>.

Li, C., Dong, G., Bian, M., Liu, X., Gong, J., Hao, J., Wang, W., Li, K., Ou, W., y Xia, T. (2020). Brewing Rich 2-Phenylethanol Beer from Cassava and its Producing Metabolisms in Yeast. *Journal of the science of food and agriculture*. 101(10), 4050 – 4058. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11040>.

Li, G., Liu, F., Kun-Farkas, G., y Kiss, Z. (2015). Quantitative Analysis of Flavor Volatiles in Beer Using Headspace Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography–Flame Ionization Detection (HS-SPME-GC-FID). *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 73, 261 - 265. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2015-0618-01>.

Lin, C., Petersen, M., y Gottlieb, A. (2023). Increasing Higher Alcohols and Acetates in Low-Alcohol Beer by Proteases. *Molecules*. 28(11), 4419. <https://doi.org/10.3390/molecules28114419>.

Manousi, N., y Zachariadis, G. (2019). Determination of Volatile Compounds in Nut-Based Milk Alternative Beverages by HS-SPME Prior to GC-MS Analysis. *Molecules*. 24(17), 3091. <https://doi.org/10.3390/molecules24173091>.

- Mastanjević, K., Krstanović, V., Kovačević, D., Kartalović, B., y Habschied, K. (2021). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Malt. *Beverages*. 7(3), 58. <https://doi.org/10.3390/beverages7030058>.
- Matukas, M., Starkute, V., Zokaityte, E., Zokaityte, G., Klupšaitė, D., Mockus, E., Rocha, J., Ruibys, R., y Bartkienė, E. (2022). Effect of Different Yeast Strains on Biogenic Amines, Volatile Compounds and Sensory Profile of Beer. *Foods*. 11(15), 2317. <https://doi.org/10.3390/foods11152317>.
- Moreira, N., Meireles, S., Brandão, T., y Pinho, P. (2013). Optimization of the HS-SPME-GC-IT/MS method using a central composite design for volatile carbonyl compounds determination in beers. *Talanta*. 117, 523-31. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.09.027>.
- Olšovská, J., Vrzal, T., Štěrbá, K., Slabý, M., Kubizniaková, P., y Čejka, P. (2018). The chemical profiling of fatty acids during the brewing process. *Journal of the science of food and agriculture*, 99(4), 1772-1779 . <https://doi.org/10.1002/jsfa.9369>.
- Parker, D. K. (2012). Beer: production, sensory characteristics and sensory analysis. *Alcoholic Beverages*, 133–158. <https://doi.org/10.1533/9780857095176.2.133>.
- Peng, Y. (2011). Overseas Cognition of the Formation y the Control of Beer Flavoring Active Esters. *Liquor-making Science y Technology*. 9, 76-80.
- Pizarro, C., Pérez-del-Notario, N., y González-Sáiz, J. (2010). Optimisation of a simple and reliable method based on headspace solid-phase microextraction for the determination of volatile phenols in beer. *Journal of chromatography*. A, 1217(39), 6013-6021. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.07.021>.
- Prusova, B., Humaj, J., Kulhankova, M., Kumsta, M., Sochor, J., y Baroň, M. (2023). Capture of Fermentation Gas from Fermentation of Grape Must. *Foods*. 12(3), 574. <https://doi.org/10.3390/foods12030574>
- Roberts, R., Khomenko, I., Eyres, G., Bremer, P., Silcock, P., Betta, E., y Biasioli, F. (2023). Online monitoring of higher alcohols and esters throughout beer fermentation by commercial *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces pastorianus* yeast. *Journal of mass spectrometry*. JMS, e4959 . <https://doi.org/10.1002/jms.4959>.
- Romero-Medina, A., Estarrón-Espinosa, M., Verde-Calvo, J., Lelièvre-Desmas, M., y Escalona-Buendía, H. (2020). Renewing Traditions: A Sensory and Chemical Characterisation of Mexican Pigmented Corn Beers. *Foods*. 9(7), 886. <https://doi.org/10.3390/foods9070886>.

- Saison, D., Schutter, D., Delvaux, F., y Delvaux, F. (2008). Optimisation of a complete method for the analysis of volatiles involved in the flavour stability of beer by solid-phase microextraction in combination with gas chromatography and mass spectrometry. *Journal of chromatography. A*, 1190(1-2), 342-349 . <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.03.015>.
- Salamon, R., Dabija, A., Ferencz, Á., Tankó, G., Ciocan, M., y Codină, G. (2022). The Effect of Dry Hopping Efficiency on β -Myrcene Dissolution into Beer. *Plants*, 11(8), 1043. <https://doi.org/10.3390/plants11081043>.
- Sánchez-Estébanez, C., Ferrero, S., Álvarez, C., Villafañe, F., Caballero, I., y Blanco, C. (2017). Nuclear Magnetic Resonance Methodology for the Analysis of Regular and Non-Alcoholic Lager Beers. *Food Analytical Methods*. 11, 11-22. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0953-8>.
- Schwarz, K., Boitz, L., y Methner, F. (2012). Enzymatic formation of styrene during wheat beer fermentation is dependent on pitching rate and cinnamic acid content. *Journal of The Institute of Brewing*. 118, 280-284. <https://doi.org/10.1002/JIB.41>.
- Silva, A. P., Voss, H. P., van Zyl, H., Hogg, T., de Graaf, C., Pintado, M., y Jager, G. (2019). Effect of adding Hop aroma in beer analysed by temporal dominance of sensations and emotions coupled with temporal liking. *Food Quality and Preference*. 75, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.02.001>
- Šmogrovičová, D., y Dömény, Z. (1999). Beer volatile by-product formation at different fermentation temperature using immobilised yeasts. *Process Biochemistry*, 34(8), 785–794. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(98\)00154-x](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(98)00154-x).
- Stevens, S., y Hofmeyr, J. (1993). Effects of ethanol, octanoic and decanoic acids on fermentation and the passive influx of protons through the plasma membrane of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 38, 656-663. <https://doi.org/10.1007/BF00182806>.
- Svoboda, Z., Hartman, I., Běláková, S., Pernica, M., Boško, R., y Benešová, K. (2022). Sensory analysis of malt. *KVASNY PRUMYSL*. 68(3+4), 628-636. <https://doi.org/10.18832/kp2022.68.628>.
- Xiao, Q., Yu, C., Xing, J., y Hu, B. (2006). Comparison of headspace and direct single-drop microextraction and headspace solid-phase microextraction for the measurement of volatile sulfur compounds in beer and beverage by gas chromatography with flame photometric detection. *Journal of chromatography. A*, 1125(1), 133-137. <https://doi.org/10.1016/J.CHROMA.2006.06.096>.

- Xu, Y., Wang, D., Li, G., Hao, J., Jiang, W., Liu, Z., y Qin, Q. (2017). Flavor Contribution of Esters in Lager Beers and an Analysis of Their Flavor Thresholds. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 75, 201 - 206. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3007-01>.
- Yin, H., Liu, L., Yang, M., Ding, X., Jia, S., Dong, J., y Zhong, C. (2019). Enhancing Medium-Chain Fatty Acid Ethyl Ester Production During Beer Fermentation Through EEB1 and ETR1 Overexpression in *Saccharomyces pastorianus*. *Journal of agricultural and food chemistry*. 67(19), 5607-5613 . <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00128>.

6. DISPOSICIÓN A PAGAR POR CERVEZAS ELABORADAS CON MALTA DE MAÍZ AZUL Y SEMILLA DE CAOBILLA

Resumen

Para desarrollar con éxito un nuevo bien o servicio, es crucial evaluar la disposición a pagar (DAP) de los consumidores. Esta investigación analizó la valoración económica de cervezas elaboradas con malta de maíz azul y semilla de caobilla, utilizando experimentos de elección discreta y simulaciones de compra. Se realizaron dos análisis de regresión logística: el primero sin interacciones y el segundo con interacciones entre los atributos. La estimación de los Modelos Logit Multinomial se llevó a cabo mediante una regresión logística con el programa estadístico XLSTAT® versión 2019.2.2. Los resultados mostraron que los consumidores estarían dispuestos a pagar más por cervezas con malta de maíz azul (\$50.57) y caobilla (\$50.56), mientras que el uso de lúpulo disminuyó la DAP a \$49.47. En el segundo modelo, la DAP alcanzó \$50.14 por cervezas con caobilla. Además, la inclusión de etiquetas como “cerveza nacional” tuvo un efecto negativo en el precio dispuesto a pagar en el primer modelo, aunque no generó cambios significativos en el segundo. Solo el precio de \$50.00 fue significativo, lo que refleja una baja disposición a pagar un sobreprecio, destacando la competencia con cervezas industriales más baratas. Sin embargo, las cervezas con insumos nacionales podrían tener un potencial en el mercado artesanal, dada la preferencia por la malta de maíz azul y la semilla de caobilla.

Palabras clave: Cerveza, Disposición a pagar, Experimento de elección discreta, maíz azul, caobilla.

WILLINGNESS TO PAY FOR BEERS MADE WITH BLUE CORN MALTING AND CAOBILLA SEED

Abstract

To successfully develop a new good or service, it is crucial to evaluate consumers' willingness to pay (WTP). This research analyzed the economic valuation of beers made with blue corn malt and caobilla seed, using discrete choice experiments and purchase simulations. Two logistic regression analyses were conducted: the first without interactions and the second with interactions among the attributes. The estimation of the Multinomial Logit Models was performed using the statistical software XLSTAT® version 2019.2.2. The results showed that consumers were willing to pay more for beers with blue corn malt (\$50.57) and caobilla (\$50.56), while the use of hops reduced the WTP to \$49.47. In the second model, the WTP reached \$50.14 for beers with caobilla. Additionally, the inclusion of labels such as "national beer" had a negative effect on the price consumers were willing to pay in the first model, although it did not generate significant changes in the second. Only the price of \$50.00 was significant, reflecting a low willingness to pay a premium, highlighting competition with cheaper industrial beers. However, beers made with domestic ingredients may have potential in the craft market, given the preference for blue corn malt and caobilla seed.

Keywords: Beer, Willingness to pay, Discrete choice experiment, blue corn, caobilla.

6.1 Introducción

Para el adecuado desarrollo de un nuevo bien o servicio es indispensable evaluarlo bajo ciertos criterios, uno de ellos es estimar si se tendrá aceptación y disposición a pagar por parte de los consumidores ya que de ello depende el éxito o fracaso del bien en el mercado. Por ello, las decisiones de cualquier agente público o privado que contemple la oferta o retiro de un bien o servicio requieren evidencia cuantitativa para sustentar las decisiones a implementar (Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017a). Para facilitar esto, se han desarrollado diversos métodos de valoración económica de bienes y servicios, los cuales se pueden dividir en dos grupos, los de “preferencias declaradas” y “preferencias reveladas” (Cuadro 17).

Cuadro 18. Métodos de valoración económica de bienes y servicios.

Grupo	Metodologías	Características
Preferencias reveladas	Método de la función de producción de hogares (MFPH).	Se considera que los individuos pueden invertir en ciertas actividades con el fin de evadir los efectos negativos de la contaminación.
	Método del costo de viaje (MCV).	Averigua el valor económico de recursos naturales y ambientales que brindan servicios de recreación.
	Método de la función de producción de salud (MFPS).	Estima el valor económico de cambios en la calidad ambiental a través de los cambios en la salud.
	Método de los precios hedónicos (MPH).	Permite valorar características no mercadeables (como el silencio, paisaje, oferta hídrica, etc.) cuando éstas se asocian a bienes transables (como un hogar).
Preferencias declaradas	Método de valoración contingente (MVC).	Plantea la simulación del mercado del bien o servicio a valorar mediante la aplicación de preguntas directas a potenciales consumidores. Esto busca la disponibilidad a pagar por lograr una mejora o aceptar un empeoramiento de la calidad o cantidad del bien o servicio
	Métodos de valoración multi atributo (MVMA)	Permite estimar valores para múltiples atributos de un bien o servicio, mientras que el MVC sólo puede analizar una combinación de atributos a la vez. Dentro de este grupo destacan los métodos basados en preferencias (análisis conjoint) y métodos basados en elección (modelos de elección).
Fuente: Elaboración propia con datos de Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017a, b.		

6.1.1 Métodos de valoración multiatributo

La valoración multiatributo se puede dividir en dos categorías, los cuales son *los enfoques basados en preferencias* y *los enfoques basados en elección*. En *los enfoques basados en preferencias* los entrevistados califican los escenarios empleando una escala cardinal, es decir, emplea números continuos; en cambio, en *los enfoques basados en elección* los encuestados eligen usando una escala ordinal, la cual al ser categórica simula una decisión cercana a la realidad (Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b), dentro de este último se encuentra la valoración económica de bienes o servicios llamada *experimentos de elección discreta* (EED), la cual es una técnica empleada para obtener las preferencias individuales sobre diferentes escenarios hipotéticos; esta técnica se apoya de encuestas diseñadas para que los entrevistados seleccionen entre dos o más alternativas de bienes o servicios que son distintas al tener atributos alterados mediante algún diseño experimental. Las elecciones realizadas por los encuestados ayudan a obtener información importante acerca de los diferentes atributos y niveles de los bienes o servicios en la toma de decisiones, así como de las compensaciones entre ellos (Cantillo et al., 2020).

Debido a su utilidad, esta metodología se ha empleado de forma extensiva en los últimos años, siendo aplicada para investigación, creación de nuevas políticas y desarrollo de nuevos productos. Además, la metodología de EED permite incluir productos o servicios que no existen en el mercado y para lo cual no hay información disponible sobre la preferencia de consumo (Cantillo et al., 2020; Alamri et al., 2023). Entre las investigaciones realizadas se encuentran las relacionadas con la economía agrícola (Rigby y Burton, 2005); eficiencia energética (Banfi et al., 2008); medicina (Clark et al., 2014; de Bekker-Grob et al., 2012); medio ambiente (Hoyos, 2010), transporte (Ben-Elia y Shiftan, 2010; González et al., 2016; Jensen et al., 2013; Rizzi y Ortúzar, 2003); turismo (Kelly et al., 2007; Martín et al., 2018); y en ciencias de alimentos destacan las realizadas en investigaciones de Ortega et al. (2011); las realizadas sobre vinos (Kallas et al., 2013; Mazzocchi et al., 2019; Gonçalves et al., 2019; Lourenço-

Gomes et al., 2021; Boncinelli et al., 2019), tequila (Zapata-Morán et al., 2024), cerveza (Staples et al., 2021; Lyu y Hwang 2021; Poelmans y Rousseau 2017; Profeta et al. 2008; Thong et al. 2018).

El fundamento de los experimentos de elección discreta se basa en diversas teorías, la teoría de Lancaster (Lancaster, 1966), la teoría de la utilidad aleatoria (McFadden, 1974; Thurstone, 1927), así como las teorías del consumidor, la del diseño experimental y análisis econométrico (Ortega et al., 2011).

La teoría de Lancaster señala que todo producto o servicio se puede describir empleando conjuntos de características o atributos, en cambio, la teoría de utilidad aleatoria (TUA) indica que cada individuo asocia una utilidad a cada alternativa de elección y eligen la alternativa que da mayor utilidad, siendo la utilidad un constructo de los individuos que es latente y no observable por el investigador (Louviere et al., 2010), es por esto que esta teoría consta de una parte medible o sistemática y una parte aleatoria (Ortega, et al., 2011). Al combinar estas dos teorías se puede asumir que la utilidad sistemática es representada por atributos del bien o servicio y las características del individuo; mientras que el termino de error se establece con la variación de la preferencia no observable (Domencich y McFadden, 1975) y puede definirse como la diferencia entre la utilidad real y la utilidad percibida (Train, 2009). Entonces, si se contempla los distintos atributos de las alternativas de elección, la utilidad de elección para cada individuo está representada por la siguiente ecuación (Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b):

$$U_{ij} = V(Z_{ij}, S_i, M_i) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde U es la utilidad de elección, j son las alternativas $j = 1, 2, \dots, J$ de un conjunto de elección C ; i son los individuos entrevistados; V es la utilidad indirecta que depende de los niveles que tomen los atributos Z_{ij} , las características socioeconómicas de los individuos S_i , y del nivel de ingreso de los entrevistados M_i ; y a todo esto se considera el termino de error de la preferencia no observable ε_{ij} (Domencich y McFadden, 1975; Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b).

La probabilidad de elegir una alternativa h de las opciones j en el conjunto de elección C será mayor si esta alternativa h reporte ser superior a la utilidad que le ofrece cada una de las restantes opciones j , por lo cual la expresión matemática de esta condición de utilidad es $U_{ih} > U_{ij} \forall h \neq j; h, j \in C$ y la función de probabilidad será (Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b):

$$Pr(ih) = Pr\{U_{ih} > U_{ij}\} \quad (2)$$

En donde si se remplaza la ecuación (1) en los valores de U de la ecuación (2), se obtiene:

$$Pr(ih) = Pr\{V_{ih}(Z_{ih}, S_i, M_i) + \varepsilon_{ih} > V_{ij}(Z_{ij}, S_i, M_i) + \varepsilon_{ij}\} \quad (3)$$

Sin embargo, el componente observable de la utilidad (V) se puede expresar como una función lineal en donde las variables independientes son las variables explicativas, es decir: de los atributos Z_{ij} , las características socioeconómicas de los individuos S_i , del nivel de ingreso M_i ; y el termino de error de la preferencia no observable ε_{ij} . Por lo que la expresión del componente observable de la utilidad queda de la siguiente manera (Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b):

$$V_{ij} = \alpha_j + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \dots + \beta_k Z_k + \gamma(M_i - COSTO_j) + \delta_1(S_1 * \alpha_j) + \dots + \delta_p(S_p * \alpha_j) + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Los términos α , β y δ son parámetros de la función directa de utilidad del Modelo Logit Multinomial, los cuales se deben estimar con el método de máxima verosimilitud (Greene, 2023). En donde α es una constante específica de cada alternativa j ; β el vector de coeficientes de utilidad asociado a los atributos Z de las variables explicativas; γ es el coeficiente asociado al nivel de ingreso del individuo menos al precio de la alternativa j , $(M_i - COSTO_j)$; y δ es el vector de coeficientes asociados a las variables socioeconómicas en función de la utilidad (Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b).

Por lo que, sustituyendo los valores de la ecuación (4) en la ecuación (3), la función de probabilidad de elegir una alternativa h de las opciones j será:

$$Pr(ih) = Pr \left\{ \begin{array}{l} \alpha_h + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \dots + \beta_k Z_k + \gamma(M_i - COSTO_h) + \delta_1(S_1 * \alpha_h) + \dots + \delta_p(S_p * \alpha_h) + \varepsilon_{ih} > \\ \alpha_j + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \dots + \beta_k Z_k + \gamma(M_i - COSTO_j) + \delta_1(S_1 * \alpha_j) + \dots + \delta_p(S_p * \alpha_j) + \varepsilon_{ij} \end{array} \right\} \quad (5)$$

Sin embargo, no se puede predecir con exactitud la elección a tomar por los individuos ya que la utilidad de elección U es una variable aleatoria, para solventar esto, se supone una determinada distribución de probabilidad para los términos de error en la que deriva distintos modelos de elección discreta, siendo el modelo Logit Multinomial (MNL) uno de los más empleados al tener que los términos de error son independientes e idénticamente distribuidos (IID) con una representación de *Gumbel* o de valor extremo tipo I, por lo que la probabilidad de elegir la alternativa h está representada de la siguiente forma (Cantillo, *et. al.*, 2020; Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b):

$$Pr(ih) = \frac{\exp[\alpha_h + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \dots + \beta_k Z_k + \gamma(M_i - COSTO_h) + \delta_1(S_1 * \alpha_h) + \dots + \delta_p(S_p * \alpha_h) + \varepsilon_{ih}]}{\sum_j \exp[\alpha_j + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \dots + \beta_k Z_k + \gamma(M_i - COSTO_j) + \delta_1(S_1 * \alpha_j) + \dots + \delta_p(S_p * \alpha_j) + \varepsilon_{ij}]} \quad (6)$$

La disposición a pagar usando el modelo de elección discreta puede obtenerse cuando el atributo de costo o precio se incluye en el experimento, es decir, cuando se cuantifica en términos monetarios, los cambios producidos en la utilidad del individuo debido a un cambio en el nivel de un atributo particular (Ortega *et al.*, 2011). La relación de la Disposición a pagar (DAP) se estima como la relación entre la utilidad marginal del atributo y la utilidad marginal del ingreso, donde este último es el negativo de la utilidad marginal del costo (McFadden, 1981). Así, considerando que Z_a es el atributo a de la alternativa i , y V_{ij} es la utilidad estimada de la alternativa i ; la DAP por mejorar el atributo Z_a de la alternativa i se define como (Alpizar *et al.*, 2001; Ortega *et al.*, 2011; Tudela-Mamani y Leos-Rodríguez, 2017b):

$$DAPMg_a = \frac{\partial V_{ij} / \partial Z_a}{\partial V_{ij} / \partial COSTO} = - \frac{\beta_a}{\gamma} \quad (7)$$

Donde β el vector de coeficientes de utilidad asociado a los atributos Z de las variables explicativas a ; y γ es el coeficiente del atributo monetario, es decir, el coeficiente del costo del bien o servicio en el experimento de elección.

Finalmente, el método de EED permite obtener la disposición a pagar por diferentes atributos cuando el atributo de costo está incluido en el experimento, lo cual puede ser útil en un análisis de beneficio-costos (Cantillo et al., 2020).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la Disposición a Pagar por cervezas elaboradas con malta de maíz azul, malta de cebada, lúpulo y semilla de caobilla, así como la influencia de las variables sociodemográficas de una muestra de consumidores de cerveza.

6.2 Metodología

6.2.1 Determinación de atributos y niveles.

El diseño experimental utilizado para el experimento de elección discreta para evaluar las cervezas artesanales para esta investigación contempla la determinación de atributos y sus niveles (Cuadro 18); la definición de estas categorías se realizó por un panel de expertos del grupo de investigación y se eligieron a las más comunes en las cervezas comercializadas en México; si bien existen diversas presentaciones de envases y su respectivo volumen para las cervezas industriales, las cervezas comercializadas en botellas de vidrio de 355 mL color ámbar son las más comunes para las cervezas artesanales en comparación con las botellas verdes, transparentes e incluso latas; el precio de la botella de cerveza artesanal se determinó realizando un análisis sobre los precios de por lo menos 20 marcas de cerveza artesanal y se presenta en pesos mexicanos.

Cuadro 19. Atributos y niveles del diseño experimental.

Atributos	Niveles
Origen	1. Cerveza nacional 2. Cerveza importada
Proceso	1. Artesanal 2. Industrial
Maltas empleadas	1. Cerveza elaborada con 100% de malta de maíz azul 2. Cerveza elaborada con 100% de malta de cebada 3. Cerveza elaborada con malta de cebada y malta de maíz azul
Fuentes de amargor y aromas	1. Cerveza elaborada con 100% de lúpulo 2. Cerveza elaborada con 100% de caobilla 3. Cerveza elaborada con lúpulo y caobilla
Precio por botella de 355 mL	1. \$50.00 MXN 2. \$75.00 MXN
Premios	1. Con premios a mejor cerveza nacional (sin importar la categoría) 2. Sin premios

Se obtuvieron 5 atributos con sus respectivos niveles; mediante un diseño factorial empleando el paquete estadístico Minitab® versión 18.1 se obtuvieron 144 productos alternativos hipotéticos ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3$), de los cuales se descartaron las combinaciones de los atributos *Cerveza importada* y *Cerveza industrial* con *Cerveza elaborada con 100 % de caobilla*; *Cerveza elaborada con lúpulo y caobilla*; *Cerveza elaborada con 100% de malta de maíz azul*; *Cerveza elaborada con malta de cebada y malta de maíz azul*; *Precio \$75.00 MXN*; y *Con premios a mejor cerveza nacional (sin importar la categoría)*. Esto se decidió para simular las condiciones actuales en el comercio de cerveza artesanal, por lo que esos dos atributos solo se combinaron con un nivel de los restantes 4, dando así un total de 38 productos alternativos; de los cuales para cerveza importada fueron 2 productos ($1 \times 2 \times 1 \times 1 \times 1$) y para cerveza nacional 36 productos alternativos ($2 \times 2 \times 3 \times 3$), los cuales se pueden observar en la Cuadro 19.

Cuadro 20. Relación de combinaciones de productos alternativos.

Origen	Niveles
Cerveza importada	Artesanal
	Industrial
	Cerveza elaborada con 100% de malta de cebada
	Cerveza elaborada con 100% de lúpulo
	\$50.00 MXN
Cerveza nacional	Artesanal
	Industrial
	Cerveza elaborada con 100% de malta de maíz azul
	Cerveza elaborada con 100% de malta de cebada
	Cerveza elaborada con malta de cebada y malta de maíz azul
	Cerveza elaborada con 100% de lúpulo
	Cerveza elaborada con 100% de caobilla
	Cerveza elaborada con lúpulo y caobilla
	\$50.00 MXN
	\$75.00 MXN

6.2.2 Diseño del Experimento de elección

Los 38 productos alternativos se reunieron en grupos de dos opciones, con el objetivo de que los consumidores eligieran entre estas alternativas, llamadas A y B. Sin embargo, se incluyó la posibilidad de no elegir entre ninguna de las dos opciones. El experimento incluyó 19 tarjetas de simulación de compra de cerveza, las cuales fueron ordenadas de forma aleatoria y, a manera de ejemplo, se muestra una tarjeta similar a las mostradas en la encuesta (Figura 16). Se llevaron a cabo dos análisis de regresión logística con el objetivo de estimar la Disposición a Pagar (DAP). En el primer modelo, se consideraron los atributos y niveles sin incluir interacciones. En el segundo modelo, se incorporaron interacciones entre los niveles de los atributos relacionados con los tipos de maltas y la fuente de amargor. La estimación de los Modelos Logit Multinomial se llevó a cabo mediante una regresión logística con el programa estadístico XLSTAT® versión 2019.2.2.

10. Seleccione la opción que estaría en disposición a comprar. *



A



B

☐ Opción A
☐ Opción B
☐ No elegiría ninguna opción

Figura 16. Tarjeta de selección de cervezas.

6.2.3 Fuente de datos.

Se diseñó y aplicó una encuesta a 355 consumidores utilizando un formulario virtual de Google®. El muestreo fue no probabilístico de bola de nieve. El cuestionario contenía las siguientes secciones:

- 1) Características sociodemográficas de consumidores.
- 2) Hábitos de consumo y compra de cerveza artesanal.
- 3) Intención de compra y disposición a pagar.

6.3 Resultados Y Discusión

6.3.1 Hábitos de consumo de cerveza artesanal

La información se recopiló entre junio de 2023 y enero de 2024. Un total de 355 consumidores de cerveza artesanal respondieron la encuesta, todos mayores de 18 años. La información sociodemográfica de los consumidores se muestra en el Cuadro 20.

Cuadro 21. Variables sociodemográficas de entrevistados.

Variables sociodemográficas	Campo social (%)						
	Total	Sur	Centro	Occidente	Noreste	Noroeste	Extranjero
Encuestados	100	5.9	53.2	8.7	3.7	5.6	22.8
Edad (rango)							
18 - 25 Años	17.2	0.6	14.4	1.1	0.6	0.0	0.6
26 - 35 Años	33.8	2.8	15.5	3.1	1.1	2.5	8.7
36 - 45 Años	31.0	2.5	14.6	3.9	0.8	1.1	7.9
46 - 55 Años	14.4	0	7.3	0.6	0.6	2.0	3.9
Más de 56 Años	3.7	0	1.4	0	0.6	0	1.7
Género							
Masculino	76.1	4.5	36.3	5.9	3.4	4.2	21.7
Femenino	23.9	1.4	16.9	2.8	0.3	1.4	1.1
Ocupación (%)							
Empleado (No gubernamental)	25.9	3.4	10.4	3.1	0.3	2.0	6.8
Empleado del gobierno	16.6	0.3	8.7	2.0	0.6	1.1	3.9
Estudiante	14.9	0	13.5	1.1	0	0	0.3
Jubilado	1.4	0	0.8	0	0.3	0	0.3
Labores del hogar	2.0	0.6	0.8	0.3	0	0.3	0
No labora	1.4	0.3	0.6	0	0.3	0	0.3
Trabaja por su cuenta	27.0	1.4	16.9	2.3	2.3	2.3	2.0
Otro	10.7	0	1.4	0	0.0	0	9.3
Ingreso mensual (%)							
Menor a \$3,000.00	15.5	0.8	9.0	0.8	0.6	0.6	3.7
\$3,000.00 a \$6,000.00	16.6	0.8	8.7	1.1	0.6	0.6	4.8
\$6,000.00 a \$12,000.00	24.5	1.4	14.6	1.7	0.6	0.8	5.4
\$12,000.00 a \$18,000.00	17.2	0.8	9.3	2.3	0.8	0.3	3.7
Mayor a \$18,000.00	26.2	2.0	11.5	2.8	1.1	3.4	5.4
Escolaridad							
Sin escolaridad	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
Básica	1.4	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6
Media Superior	13.8	0.6	7.0	1.1	0.0	0.8	4.2
Superior	53.8	4.5	33.5	6.2	2.3	1.4	5.9
Posgrado	30.4	0.8	11.8	1.4	1.1	3.1	12.1

Fuente: Elaboración propia con datos de campo, 2023.

La edad de los consumidores oscila de 26 a 45 años (64.8%), predomina el género masculino (76.1%), el 27% trabaja por su cuenta mientras que 25.9% es empleado no gubernamental; 26.2% tiene un ingreso mayor a \$18,000.00 pesos mexicanos y el 53.8% tiene nivel de estudios de licenciatura.

Consumo mensual de cerveza por campo social

Las personas entrevistadas muestran diferencias entre campos sociales (Figura 17), esto es independiente de la diferencia de la cantidad de personas entrevistadas por cada campo social, ya que se observa que las personas del campo social *Centro* 45% consumen menos de 3 botellas de cerveza al mes, mientras que 30% consumen de 3 a 6 botellas por mes; en cambio, predomina el consumo de 3 a 6 botellas de cerveza por mes para los campos sociales *Estado o provincia en el extranjero* (28%), *Noroeste* (35%) y *Occidente* (35%); sin embargo, en los campos sociales *Noreste* predominó el consumo de más de 18 botellas de cerveza al mes (31%) mientras que en el campo *Sur* fue menos de 3 botellas al mes (29%). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Martínez-Sidón et al. (2023) sobre el hecho de que el consumo de cerveza incrementa en aquellas regiones de México cuya temperatura es más elevada.

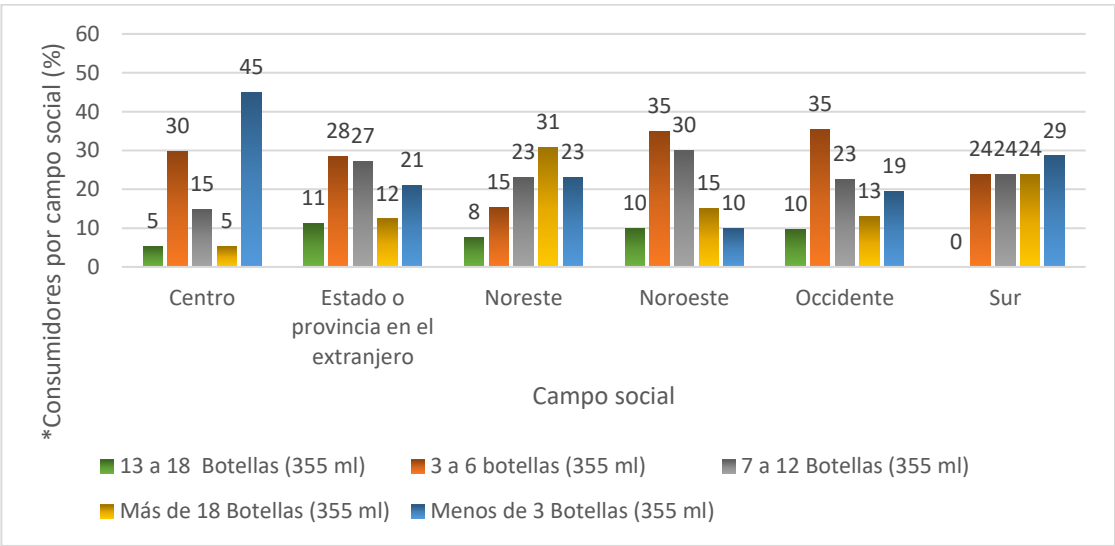


Figura 17. Consumo de cerveza por campos sociales

Consumo mensual de cerveza por edad

En las 4 categorías de edad (Figura 18) se observa que predomina el consumo de menos de 3 botellas al mes para los rangos 18 – 25 años (72%) y 26 – 35

años (35%), lo cual se diferencia con lo reportado por Gómez-Corona et al. (2016) en donde los consumidores entrevistados de 18 a 24 años consumen de 4 a 6 cervezas por semana.

En cambio, destaca el consumo de 3 a 6 botellas al mes para los rangos 36 – 45 años (34%) y 46 – 55 años (29%), mientras que Gómez-Corona et al. (2016) reporta que para estos rangos de edades e incluso para los mayores de 55 años el consumo semanal de cerveza es de 1 a 3 botellas. Por el contrario, los consumidores mayores a 56 años tienen la misma proporción de personas que consumen menos de 3 botellas y de 7 a 12 botellas por mes (ambas con 38%).

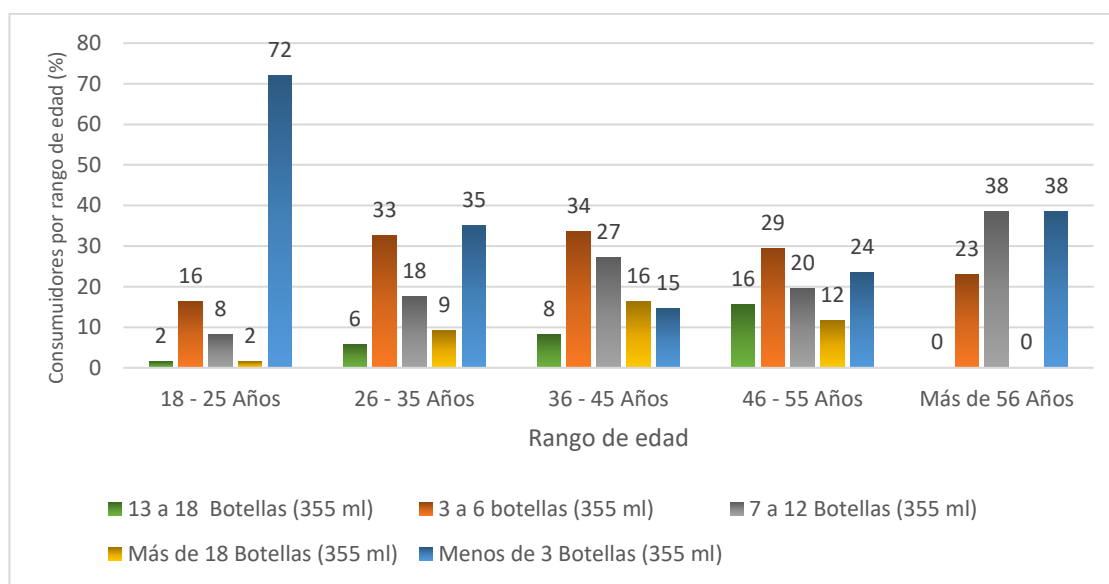


Figura 18. Consumo de cerveza por rango de edad.

Consumo de cerveza por nivel de escolaridad

De acuerdo a los niveles de escolaridad (Figura 19), se distingue que hay un consumo menor a 3 botellas de cerveza por mes para los encuestados de escolaridad básica (60%) y superior (38%); en cambio, los consumidores con escolaridad media superior predomina el consumo de 3 a 6 botellas de cerveza por mes (37%) seguido de menos de 3 botellas de cerveza por mes (29%), misma

tendencia sigue los entrevistados con posgrado (34%) seguido de menos de 3 botellas de cerveza por mes (23%); es importante destacar que la tendencia que a medida que incrementa la escolaridad de los individuos (4% para media superior, 7% para superior y 10% para posgrado) se incrementa el consumo. Gómez-Corona *et al.* (2016) reporta que las personas con estudios básicos consumen de 1 a 3 cervezas por semana, siendo principalmente las cervezas industriales oscuras y claras, mientras que los consumidores con estudios de licenciatura consumen de 4 a 6 cervezas siendo principalmente cervezas industriales, y los consumidores con nivel de estudios de posgrado consumen más de 7 cervezas por semana, siendo cervezas nacionales claras y oscuras.

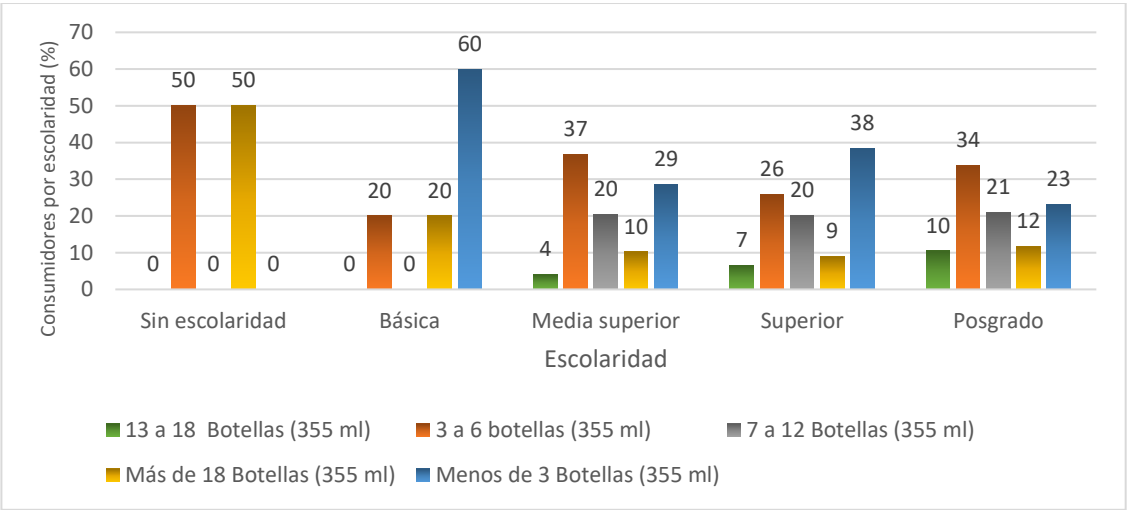


Figura 19. Consumo de cerveza por escolaridad.

Consumo por tipo de ocupación

De acuerdo con la ocupación del personal entrevistado (Figura 20), se observa que predomina el consumo menor a 3 botellas de cerveza por mes en 4 de las 8 clasificaciones, estas son *Estudiantes* (con 75%), *Empleado del gobierno* (con 37%), *Labores del hogar* (60%) y personal que no labora (con 80%).

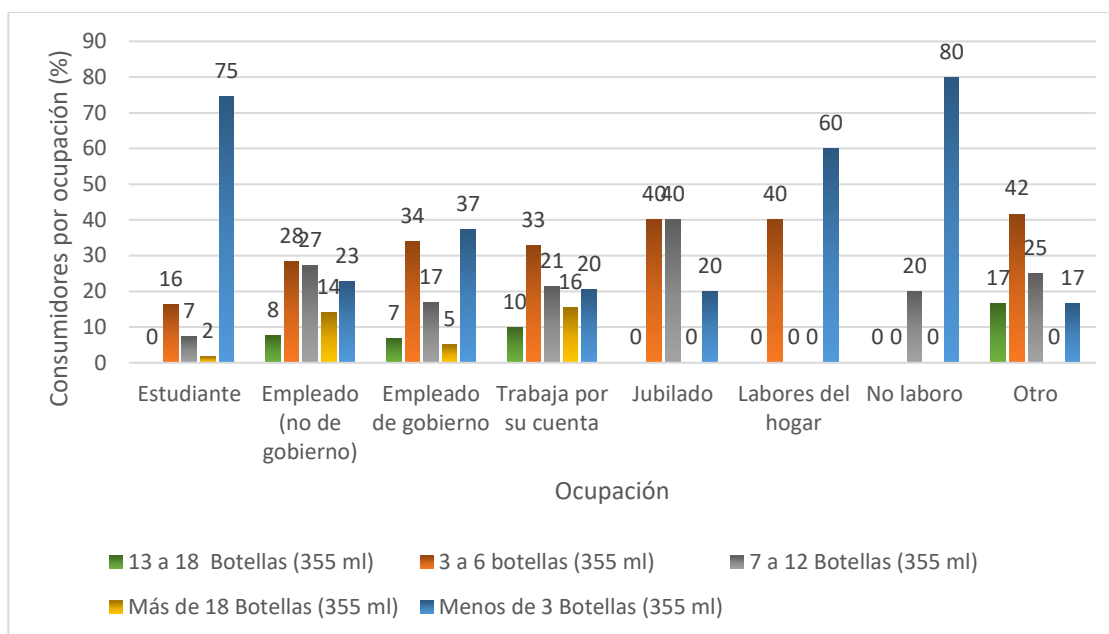


Figura 20. Consumo de cerveza por ocupación.

Consumo de cerveza por nivel de ingreso

A medida que aumenta el ingreso de los consumidores se observa que disminuye la proporción de personas que consumen menos de 3 botellas de cerveza al mes (69% para los de ingreso menor a \$3,000.00 MXN; 42% para los de ingreso de \$3,000.00 a \$6,000.00 MXN; 28% para los de ingreso de \$6,000.00 MXN a \$12,000.00 MXN y 20% para los de ingreso de \$12,000.00 MXN a \$18,000.00 MXN), solamente los de ingreso mayor a \$18,000.00 MXN no siguieron la misma tendencia (Figura 21). El consumo de cerveza no incrementa de forma lineal a medida que aumentan el ingreso de los consumidores, esto se asemeja a lo reportado por Colen y Swinnen (2015) y Gómez-Corona *et al.* (2016), en este último observaron que los consumidores de bajos ingresos y de medio-bajo ingresos consumen de 4 a 6 cervezas por semana, siendo las tiendas de conveniencia y bares los lugares de compra preferidos, en cambio, los de ingreso medio suelen consumir de 1 a 3 cervezas por semana, ya sea en restaurantes o clubs nocturnos; mientras que las personas de ingresos altos más de 7 cervezas

por semana en sus casas o bares. Caso contrario es lo concluido por Martínez-Sidón *et al.* (2023) que señalan que el consumo de cerveza incrementa a medida que incrementa el ingreso de los consumidores mexicanos.

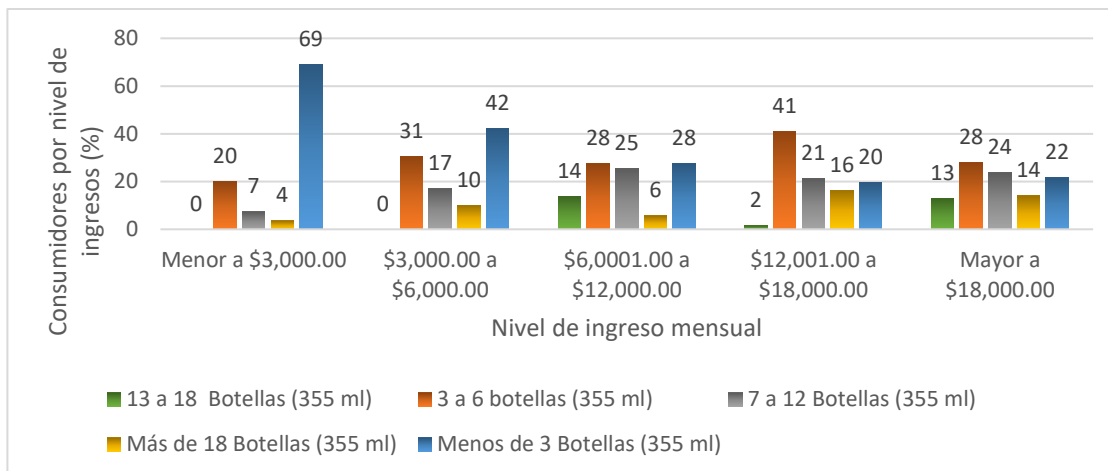


Figura 21. Consumo de cerveza por nivel de ingreso mensual.

6.3.2 Valoración económica (EED)

Para analizar los resultados del Experimento de Elección Discreta (EED) se estimó la probabilidad de elección, la cual esta señalada en la ecuación (5) con base a un modelo Logit Multinomial. En este modelo tanto los coeficientes estandarizados y errores estándar obtenidos se expresan en unidades de utilidad, por lo que para expresarse en unidades monetarias se emplea la ecuación (7). En el modelo 1 se descartaron las variables correspondientes a los atributos *Cerveza industrial*, *Cerveza sin premio*; *Cerveza elaborada con 100% malta de cebada*; *Cerveza elaborada con 100% Lúpulo* y *Precio \$75.00 por botella de 355 mL*, esto debido a que existía multicolinealidad entre las variables

En el Cuadro 21 se muestran los resultados correspondientes a coeficientes estandarizados del Modelo Logit Multinomial, tanto para los atributos de los niveles principales (Modelo 1), así como de las interacciones de las distintas maltas con las fuentes de amargor como Caobilla, Lúpulo y combinación de estas (Modelo 2).

Cuadro 22. Coeficientes estandarizados de los modelos de elección.

Atributo	Modelo 1 - Atributos principales sin interacciones			Modelo 2 - interacciones con maltas y fuentes de amargor		
	Coeficiente	Error estándar	p-Value	Coeficiente	Error estándar	p-Value
Cerveza nacional	0.4299	0.0277	< 0.0001	0.0000	0.0000	
Cerveza importada	0.1547	0.0109	< 0.0001	-0.0028	0.0099	0.776
Cerveza artesanal	0.1543	0.0249	< 0.0001	0.0000	0.0000	
Cerveza industrial	0.0000	0.0000		-0.0525	0.0099	< 0.0001
Cerveza con premios	-0.0105	0.0093	0.257	0.0000	0.0000	
Cerveza sin premios	0.0000	0.0000		0.0097	0.0095	0.306
Cerveza de maíz con cebada	-0.0197	0.0100	0.048	0.0000	0.0000	
Cerveza de Maiz azul	-0.0526	0.0100	< 0.0001	0.0000	0.0000	
Cerveza de cebada	0.0000	0.0000		0.0230	0.0189	0.225
Caobilla y Lúpulo	0.0032	0.0100	0.751	0.0000	0.0000	
Caobilla	-0.0518	0.0100	< 0.0001	-0.0955	0.0170	< 0.0001
Lúpulo	0.0000	0.0000		-0.0568	0.0189	0.003
Cerveza de maíz con cebada						
Caobilla y Lúpulo				-0.0305	0.0155	0.049
Caobilla				0.0169	0.0155	0.276
Lúpulo				0.0201	0.0106	0.059
Cerveza de Maiz azul						
Caobilla y Lúpulo				-0.0422	0.0155	0.006
Caobilla				-0.0133	0.0156	0.394
Lúpulo				0.0000	0.0000	
Cerveza de cebada						
Caobilla y Lúpulo				0.0000	0.0000	
Caobilla				0.0000	0.0000	
Lúpulo				0.0000	0.0000	
Precio \$50.00	0.0928	0.0096	< 0.0001	0.6800	0.0293	< 0.0001
Estadísticos de bondad de ajuste						
R ² de McFadden		0.130			0.130	
-2 Log(Verosimilitud)		22420.917			22405.553	
Hosmer-Lemeshow		26.501			25.659	

El Modelo 1 contempló a las variables cualitativas “Edad”, “Escolaridad”, “Ocupación”, “ingreso” y “Cantidad de cerveza artesanal comprada por mes”, sin embargo, estas variables no fueron significativas ($(Pr > Chi^2) > 0.05$), y no afectaron los valores de los coeficientes de los variables cuantitativas consideradas. En cuanto a la disposición a pagar por cada atributo del modelo 1, se calculó como el cociente entre el coeficiente estandarizado de cada atributo y el coeficiente estandarizado del atributo precio, todo multiplicado por menos 1 (ecuación 3). Sin embargo, para el modelo 2 la disposición a pagar de la

interacción entre las fuentes de malta y su respectiva fuente de amargor se calculó mediante la ecuación 8:

$$DAPMg_a = -\frac{\beta_{malta} + \beta_{amargor}}{\gamma} \quad (8)$$

Donde β_{malta} es el coeficiente estandarizado de la malta de maíz azul, malta de maíz de cebada o la combinación de ambas maltas; $\beta_{amargor}$ es el coeficiente estandarizado de la cerveza con lúpulo, cerveza con caobilla o la combinación de ambos insumos; y γ es el coeficiente del precio del modelo (Cuadro 22).

Cuadro 23. Disposición a pagar marginal de los modelos de elección discreta.

Atributo	Modelo 1 - Atributos principales			Modelo 2 - Interacciones con maltas		
	Coeficiente	DAP marginal	Precio por botella de 355 mL	Coeficiente	DAP marginal	Precio por botella de 355 mL
Cerveza nacional	0.43	-4.63	45.37	0.00		50.00
Cerveza importada	0.15	-1.67	48.33	0.00	0.00	50.00
Cerveza artesanal	0.15	-1.66	48.34	0.00		50.00
Cerveza industrial	0.00		50.00	-0.05	0.08	50.08
Cerveza con premios	-0.01	0.11	50.11	0.00		50.00
Cerveza sin premios	0.00		50.00	0.01	-0.01	49.99
Cerveza de maíz con cebada	-0.02	0.21	50.21	0.00		50.00
Cerveza de maíz azul	-0.05	0.57	50.57	0.00		50.00
Cerveza de cebada	0.00		50.00	0.02	-0.03	49.97
Caobilla y Lúpulo	0.00	-0.03	49.97	0.00		50.00
Caobilla	-0.05	0.56	50.56	-0.10	0.14	50.14
Lúpulo	0.00			-0.06	0.08	50.08
Cerveza de maíz con cebada						
Caobilla y Lúpulo				-0.03	0.04	50.04
Caobilla				0.02	-0.02	49.98
Lúpulo				0.02	-0.03	49.97
Cerveza de maíz azul						
Caobilla y Lúpulo				-0.04	0.06	50.06
Caobilla				-0.01	0.02	50.02
Lúpulo				0.00		50.00
Cerveza de cebada						
Caobilla y Lúpulo				0.00	-0.03	49.97
Caobilla				0.00	-0.03	49.97
Lúpulo				0.00	-0.03	49.97
Precio \$50.00	0.0928			0.6800		

En el modelo 1 del cuadro 5 los atributos por los que los consumidores pagarían un mayor sobreprecio son por aquellas cervezas elaboradas con malta de maíz azul (\$50.57) y cerveza con caobilla (\$50.56), sin embargo, el empleo de lúpulo en el modelo señala un efecto negativo al disminuir el precio a pagar por cerveza a \$49.47 por cerveza con caobilla y lúpulo.

En el modelo 2 se observa una mayor disposición a pagar por las cervezas que contienen caobilla, obteniéndose un precio a pagar por botella de 355 ml de \$50.14 si contiene caobilla; \$50.06 si la cerveza tiene malta de maíz azul, caobilla y lúpulo; y \$50.04 si la cerveza está elaborada con una mezcla de malta de maíz azul, malta de cebada, caobilla y lúpulo.

Los resultados del modelo 1 señalan que si la etiqueta de la cerveza contiene las leyendas “cerveza nacional”, “cerveza importada” y “cerveza nacional”, este producto ocasionará un efecto negativo en el precio a pagar por los consumidores, en cambio en el modelo 2 estos atributos no causan ni un cambio en el precio a pagar por las cervezas, esto difiere con la investigación realizada por Meyerding et al. (2019), donde concluyen que para los consumidores alemanes las cervezas que indiquen “origen” (siendo importante que se indique si la cerveza es extranjera) es un atributo importante, sin embargo, el “tipo” de cerveza es considerado el atributo más importante al momento de elegir esta bebida, siendo las cervezas estilo Pilsen las más preferidas. Ahora, los mismos autores señalan que no existe un mercado interesado en atributos como “sin gluten”, lo cual puede llegar a ser una característica de las cervezas de maíz, sin embargo, este atributo no se consideró para esta investigación. Un caso semejante es lo reportado por Hart (2018), en su investigación encontró que aumenta la disposición a pagar por una cerveza identificada como local, pero se considera más importante la clasificación por estilos, y no encontró una disposición a pagar un sobreprecio o un descuento por cervezas no artesanales.

Los resultados del Modelo Logit Multinomial señalan que del atributo precio solo es significativo el nivel de \$50.00 pesos mexicanos, existiendo poca disposición

a pagar por un sobreprecio por algún atributo de los estudiados, esto destaca el hecho de que es común encontrar cervezas industriales más baratas en comparación con las cervezas artesanales, por lo que los consumidores consideran elevado el precio de esta bebida y su consumo no es tan frecuente a comparación de las cervezas industriales. Algo similar lo estudiaron Meyerding et al. (2019) con consumidores alemanes, donde destacan que los precios bajos son más significativos, por lo que los consumidores prefieren el precio de las cervezas artesanales de forma semejante a las industriales; esto va de la mano con lo investigado por Moreno-Aguilar et al. (2021), donde encontraron que un incremento de 10% en el precio de la cerveza en México provocará una disminución del consumo en 13% durante el primer mes del aumento y 14% transcurrido un año.

6.4 Conclusiones

Los consumidores de cerveza de mayor participación fueron principalmente personas de 18 a 45 años, de género masculino, con estudios de licenciatura y con ingresos que van de los \$6,000.00 a más de \$18,000.00 pesos mexicanos mensuales, sin embargo, el consumo de cerveza artesanal tiene una relación compleja con las características de los consumidores, tal es el caso que, a pesar de la gran diferencia de estas variables cualitativas, no tuvieron un efecto en el modelo econométrico empleado.

En México, el precio de la cerveza artesanal es elevado en comparación con las cervezas industriales, por lo que si bien existe disposición a pagar por las cervezas analizadas, el excedente de precio es bajo, y además existe una disposición a ser compensados monetariamente por las leyendas en las etiquetas relacionadas a los tipos de cerveza, esto diferencia a lo estudiado en otros países, por lo que el comportamiento del consumidor de cerveza en México es diferente al estar bajo un mercado influenciado por el control del duopolio cervecero, así como por la gran diferencia de precios y la cantidad de propaganda de las cervecerías industriales en diversos medios de comunicación.

Sin embargo, las cervezas elaboradas con insumos nacionales pueden tener una gran ventaja al existir una mayor preferencia por los atributos correspondientes a las materias primas malta de maíz azul y semilla de caobilla. Por lo que una investigación enfocada al desarrollo de cervezas sensorialmente aceptables será útil como estrategia de producción y comercialización para obtener ventajas competitivas.

6.5 Literatura citada

- Alamri, A. S., Stelios, G., y Stella, S. (2023). Discrete choice experiments: An overview on constructing *D*-optimal and near-optimal choice sets. *Heliyon*, 9(7), e18256. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18256>
- Alpizar, F., Carlsson, F. y Martinsson, P. (2001). Using choice experiments for non- market valuation. Working Papers in Economics No. 52. Department of Economics. Göteborg University. Suecia.
- Banfi, S., Farsi, M., Filippini, M., y Jakob, M. (2008). Willingness to pay for energy-saving measures in residential buildings. *Energy Economics*, 30(2), 503–516. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.06.001>
- Ben-Elia, E., y Shiftan, Y. (2010). Which road do I take? A learning-based model of route-choice behavior with real-time information. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44, 249–264. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.01.007>
- Boncinelli, F., Dominici, A., Gerini, F. y Marone, E. (2019). Consumers wine preferences according to purchase occasion: Personal consumption and gift-giving. *Food Quality and Preference*. 71, 270 – 278. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.07.013>
- Cantillo, J., Martín, J. C., y Román, C. (2020). Discrete choice experiments in the analysis of consumers' preferences for finfish products: A systematic literature review. *Food Quality and Preference*. 84, 1 – 25. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103952>
- Clark, M. D., Determann, D., Petrou, S., Moro, D., y de Bekker-Grob, E. W. (2014). Discrete Choice Experiments in Health Economics: A Review of the Literature. *PharmacoEconomics*, 32(9), 883–902. <https://doi.org/10.1007/s40273-014-0170-x>
- Colen, L., y Swinnen, J. (2015). Economic Growth, Globalisation and Beer Consumption. *Journal of Agricultural Economics*. 67(1), 186–207. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12128>
- De Bekker-Grob, E. W., Ryan, M., y Gerard, K. (2010). Discrete choice experiments in health economics: a review of the literature. *Health Economics*. 21(2), 145–172. <https://doi.org/10.1002/hec.1697>.

- Domencich, T. A., y McFadden, D. (1975). Urban travel demand – A behavioral analysis. North-Holland Publishing Company.
- Gómez-Corona, C., Escalona-Buendía, H. B., García, M., Chollet, S., y Valentin, D. (2016). Craft vs. industrial: Habits, attitudes and motivations towards beer consumption in Mexico. *Appetite*. 96, 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.002>
- González, R. M., Román, C., Amador, F. J., Rizzi, L. I., Ortúzar, J. de D., Espino, R., y Cherchi, E. (2016). Estimating the value of risk reductions for car drivers when pedestrians are involved: a case study in Spain. *Transportation*. 45(2), 499–521. <https://doi.org/10.1007/s11116-016-9736-0>.
- Gonçalves, T., Costa-Pinto, L. M. y Lourenço-Gomes, L. (2019). Exploring distinct sources of heterogeneity in discrete choice experiment: An application to wine choice across European consumers. *Economics Letters*. 178, 28 – 32. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.02.019>
- Greene, W. (2003). Econometric analysis. (Tercera Edición). Pearson Education. New York, EE.UU.
- Hart, J. (2018). Drink Beer for Science: An Experiment on Consumer Preferences for Local Craft Beer. *Journal of Wine Economics*. 13(4), 429-441. <https://doi.org/10.1017/jwe.2018.38>
- Hoyos, D. (2010). The state of the art of environmental valuation with discrete choice experiments. *Ecological Economics*. 69(8), 1595–1603. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.04.011>.
- Jensen, A. F., Cherchi, E., y Mabit, S. L. (2013). On the stability of preferences and attitudes before and after experiencing an electric vehicle. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 25, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.07.006>.
- Kallas, Z., Escobar, C., y Gil, J. M. (2013). Analysis of consumers' preferences for a special-occasion red wine: A dual response choice experiment approach. *Food Quality and Preference*. 30, 156 – 168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.05.008>
- Kelly, J., Haider, W., Williams, P. W., y Englund, K. (2007). Stated preferences of tourists for eco-efficient destination planning options. *Tourism Management*. 28(2), 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.04.015>

- Lancaster, K. J. (1966). A New Approach to Consumer Theory. *Journal of Political Economy*. 74(2), 132–157. <https://doi.org/10.1086/259131>
- Lourenço-Gomes, L., Gonçalves, T. y Rebelo, J. (2021). The distributors' view on US wine consumer preferences. A discrete choice experiment. *Bio-based and Applied Economics*. 10(4), 325-333. <https://doi.org/10.36253/bae-10801>
- Louviere, J. J; Flynn, T. N; y Carson, R. T. (2010). Discrete Choice Experiments Are Not Conjoint Analysis. *Journal of Choice Modelling*. 3(3), 57–72. [https://doi.org/10.1016/s1755-5345\(13\)70014-9](https://doi.org/10.1016/s1755-5345(13)70014-9)
- Lyu, S. O., y Hwang, J. (2021). A Discrete Choice Experimental Approach to Understand Sports Event Tourists' In-Stadium Beer Consumption Preferences. *Journal of Hospitality & Tourism Research*. 45(7), 1324–1345. <https://doi.org/10.1177/1096348021992099>
- Martínez-Sidón, G., González-Ávila, M. E., Vásquez-Galán, B. I., y Corrales-Corrales, S. (2023). Factores económicos y ambientales que determinan la demanda de cerveza en México. *Región y sociedad*. 35, e1749. <https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1749>
- Martín, J. C., Román, C., y Mendoza, C. (2018). Determinants for sun-and-beach selfcatering accommodation selection: A stated preference approach. *Tourism Economics*. 24(3), 319–336. <https://doi.org/10.1177/1354816618758731>.
- Mazzocchi, C., Ruggeri, G. y Cors, S. (2019). Consumers' preferences for biodiversity in vineyards: A choice experiment on wine. *Wine Economics and Policy*. 8, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2019.09.002>
- McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. En P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in econometrics*. 105–142. New York: Academic Press.
- McFadden, D. (1981) Econometric Models of Probabilistic Choice. En: Manski, C. and McFadden, D., Eds., *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*, MIT Press, Cambridge, 198-272.
- Meyerding, S. G. H., Bauchrowitz, A., y Lehberger, M. (2019). Consumer preferences for beer attributes in Germany: A conjoint and latent class approach. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 47, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2018.12.001>

- Moreno-Aguilar, L. A., Guerrero-López, C.M., Colchero M. A., Quezada-Sánchez A. D. y Bautista-Arredondo, S. (2021). Elasticidad precio y elasticidad ingreso de la demanda de cerveza en México. *Salud Publica Mex.* 63(4), 575-82. <https://doi.org/10.21149/12026>
- Ortega, D. L., Wang, H. H., Wu, L., y Olynk, N. J. (2011). Modeling heterogeneity in consumer preferences for select food safety attributes in China. *Food Policy*, 36(2), 318–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.030>.
- Poelmans, E. y Rousseau, S. (2017). Beer and Organic Labels: Do Belgian Consumers Care? *Sustainability*. 9(9), 1509. <https://doi.org/10.3390/su9091509>
- Profeta, A., Enneking, U., y Balling, R. (2008). Interactions between Brands and CO Labels: The Case of “Bavarian Beer” and “Munich Beer” – Application of a Conditional Logit Model. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*. 20(3), 73–89. <https://doi.org/10.1080/08974430802157655>
- Rigby, D., y Burton, M. (2005). Preference heterogeneity and GM food in the UK. *European Review of Agricultural Economics*. 32(2), 269–288. <https://doi.org/10.1093/eurrag/jbi009>.
- Rizzi, L. I., y Ortúzar, J. de D. (2003). Stated preference in the valuation of interurban road safety. *Accident Analysis & Prevention*. 35(1), 9–22. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00082-3).
- Staples, A. J., Reeling, C. J., Widmar N. J. O. y Lusk J. L.(2020). Consumer willingness to pay for sustainability attributes in beer: A choice experiment using eco-labels. *Agribusiness*. 36, 591–612. <https://doi.org/10.1002/agr.21655>
- Thong, N. T., Thanh, B. Q., Solgaard, H. S., y Yang, Y. (2018). The role of packaging format, alcohol level and brand in consumer’s choice of beer: A best-worst scaling multi-profile approach. *Food Quality and Preference*. 65, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.11.00>
- Thurstone, L. L. (1927). A law of comparative judgment. *Psychological Review*. 34, 273–286. <https://doi.org/10.1037/h0070288>.
- Train, K. (2009). Discrete choice methods with simulation (Segunda Edición). Cambridge University Press.
- Tudela-Mamani, J. W., y Leos-Rodríguez, J. A. (2017a). Herramientas metodológicas para aplicaciones del método de valoración contingente.

Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).

Tudela-Mamani, J. W., y Leos-Rodríguez, J. A. (2017b). Herramientas metodológicas para aplicaciones del Experimento de elección. Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).

Zapata-Morán, I., López-Feldman, A., y Bejarano, H. (2024). Tequila, bats, and agave farmers: towards an understanding of the right incentives to protect genetic diversity. *Environmental Research Communications*. 6(1), 011002. <https://dx.doi.org/10.1088/2515-7620/ad19f4>

7. CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio presenta una evaluación integral de alternativas tecnológicas y económicas para la producción de cervezas enfocándose en el uso de ingredientes locales como la semilla de caobilla y la malta de maíz azul como sustitutos del lúpulo y la malta de cebada, respectivamente. Los resultados muestran que la utilización de estos insumos no solo es viable desde el punto de vista técnico, manteniendo niveles de acidez, alcohol y perfiles sensoriales comparables a las cervezas tradicionales, sino que también puede representar una opción económica atractiva para los productores artesanales al reducir los costos de producción. Además, el análisis de la disposición a pagar sugiere un mercado potencial para las cervezas elaboradas con ingredientes nacionales, destacando la preferencia de los consumidores por productos que incorporan maíz azul y caobilla. Este trabajo contribuye al fortalecimiento de la industria cervecera artesanal en México, ofreciendo una estrategia para mejorar la rentabilidad y competitividad a través de la innovación en insumos y la valorización de ingredientes autóctonos.