



UNIDAD IZTAPALAPA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
POSGRADO EN BIOTECNOLOGÍA

**“Análisis fisicoquímicos y sensoriales de una cerveza Stout de maíz
cacahuazintle con chile ancho”**

TESIS:

Que para obtener el grado de
MAESTRA EN BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA:

Andrea Karen Arellano López

Matrícula: 2233803571

karn.arellano12@gmail.com

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. José Ramón Verde Calvo

JURADO:

Presidente:

Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía

Secretario:

Mtra. Frida Pura Malpica Sánchez

Vocal:

Dr. Héctor Manuel Luna Contla

Vocal:

Dra. Alex María Daniela Flores Calderón

Iztapalapa, Ciudad de México a 14 de noviembre de 2025.

La Maestría en Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana está incluida en el Sistema Nacional de Posgrados de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHT), con número de registro 001465.

Esta tesis se llevó a cabo en el Laboratorio de Enología y Alimentos fermentados y en el de Evaluación Sensorial del Departamento de Biotecnología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, bajo la dirección del Dr. José Ramón Verde Calvo.

Agradecimiento al SECIHT por la beca otorgada a Andrea Karen Arellano López para realizar sus estudios de Maestría.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al Dr. José Ramón Verde Calvo, a la Mtra. Frida Malpica Sánchez y al Dr. Héctor Escalona por abrirme las puertas de sus laboratorios y recibirme como parte de su pequeña familia.

Agradezco al Dr. Ramón por aceptar dirigir este trabajo, por acompañarme incluso en mis crisis y ofrecerme siempre palabras de ánimo, y por confiar plenamente en mí. A la maestra Frida, gracias por su constante disposición para trabajar a mi lado, por su apoyo incondicional, por las incontables risas en el laboratorio, por soportar mis crisis y saber exactamente qué decir para tranquilizarme. Y por supuesto, por todas las veces que me dio aventón, entre pláticas increíbles y mucho chisme. Al Dr. Escalona, le agradezco los viajes compartidos, las bromas, las conversaciones y todos los buenos momentos.

También extendiendo mi gratitud a la Dra. Daniela Flores y al Dr. Héctor Luna por dedicar tiempo a revisar este trabajo y brindarme observaciones tan precisas y valiosas.

Gracias a Ilse y a Pedro por su amistad, por hacer que estos dos años pasaran tan rápido y por convertirse en personas importantes en mi vida. Espero que sigamos compartiendo caminos.

A mis compañeros y amigos del laboratorio —Yare, Miguel, Aurora y Alexis— gracias por su apoyo constante, sus consejos, su actitud siempre positiva, las risas y todos los buenos recuerdos que construimos juntos.

Finalmente, manifiesto mi agradecimiento a la Universidad Autónoma Metropolitana por abrirme nuevamente las puertas de esta gran institución y por los apoyos brindados. Asimismo, agradezco al SECIHT por la beca otorgada durante mi formación en la maestría.

DEDICO

A mi familia, que siempre está ahí para apoyarme incondicionalmente.

A mi mamá, Rocío López, gracias por ser la MEJOR mamá del mundo y enseñarme que siempre se puede. ¡¡Eres mi mayor fuente de inspiración para seguir adelante!!, espero pronto poder devolverte un poquito de todo lo bueno que has hecho por mí. Te amo.

A mi papá, Marco Arellano Martínez, por enseñarme lo que significa perseverar para alcanzar lo que uno sueña. Gracias por siempre procurar mi bien y mi felicidad. Te amo.

A mi hermano, Marco Arellano, porque, a pesar de molestarme todo el tiempo, siempre estás ahí para apoyarme incondicionalmente y hacerme saber que nunca estaré sola.

A TODOS mis amigos, gracias por estar presentes en el momento indicado para hacerme saber lo querida y afortunada que soy, por siempre confiar en mí y darme ánimos en los momentos más oscuros.

INDICE

RESUMEN	1
1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 JUSTIFICACIÓN	4
1.2 HIPÓTESIS.....	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES	5
2.2 FUNDAMENTOS	6
2.2.1 EL MAIZ	6
2.2.2 EL CHILE ANCHO	10
2.2.3 LA CERVEZA.....	11
2.2.4 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	19
2.2.5 EVALUACIÓN SENSORIAL.....	20
3 METODOLOGÍA	21
3.1 MALTEO DE MAIZ CACAHUAZINTLE	22
3.2 ELABORACIÓN DE CERVEZA STOUT DE MAIZ CACAHUAZINTLE	23
3.3 ANALISIS FÍSICOQUÍMICOS	28
3.3.1 ANÁLISIS DE LA MALTA.....	29
3.3.2 ANÁLISIS DE LA CERVEZA	30
3.3.3 ANÁLISIS DEL CHILE ANCHO.....	34
3.4 ANÁLISIS SENSORIAL.....	34
3.4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	36
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 ANÁLISIS DE LA MALTA.....	37
4.1.1 Determinación de color	37
4.1.2 Determinación de humedad	38
4.1.3 Poder diastásico.....	39
4.2 ANÁLISIS DE LA CERVEZA PRODUCIDA.....	40

4.2.1	Determinación de color	40
4.2.2	Determinaciones fisicoquímicas	42
4.2.3	Capacidad antioxidante (ABTS)	44
4.2.4	Compuestos volátiles	45
4.3	ANÁLISIS SENSORIAL DE LA CERVEZA.....	53
4.3.1	PRUEBA CATA.....	53
4.3.2	PRUEBA NIVEL DE AGRADO	58
4.3.3	PRUEBA JAR (just about right)	59
5	CONCLUSIONES	65
6	PERSPECTIVAS	65
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
8.	ANEXOS.....	73
8.1	CURVA DE CALIBRACION- PODER DIASTASICO	73
8.2	CUESTIONARIO APLICADO EN PRUEBA SENSORIAL	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Molécula quercetina (1), luteolina (2), apigenina (3), respectivamente (Biomodel,2025)	2
Figura 2: Composición de la planta de maíz (Pioneer,s.f.)	6
Figura 3: Morfología del grano de maíz (Orchardson E., 2021).	7
Figura 4: Amilosa y Amilopectina (Google,2025)	8
Figura 5: Morfología maíz cacahuazintle (InfoAgro,2020)	9
Figura 6: Producción Nacional de maíz cacahuazintle (SIAP,2020)	9
Figura 7: Molécula β -caroteno (1), β -criptoxantina (2). (Alamy,2025)	10
Figura 8: Molécula de capsaicina (PubChem,2025)	10
Figura 9: Chile ancho (GoodGoogs.com)	11
Figura 10: Moléculas de metil-mercaptano (1), tioacetato de metilo (2). (VectorStock, 2025)	12
Figura 11: Moléculas de ésteres: acetato de etilo (1), acetato de isoamilo (2), acetato de metilo (3).	12
Figura 12: Cerveza Stout comercial	13
Figura 13: Remojo industrial de granos de maíz (Heat and Control,2025)	15
Figura 14: Germinación industrial del grano (WONALIXIA BITTERSWEET,2025)	15
Figura 15: Secador y tostador industrial de granos (Dongy, 2025; Agrofy, 2025)	16
Figura 16: Planta de lúpulo (<i>Humulus lupulus</i> L.) (fitoterapia.net)	17
Figura 17: Reacción de isomerización de alfa-ácidos (Okafor et al., 2020)	18
Figura 18: Mecanismo de reacción del ABTS	20
Figura 19: Grano de maíz germinado	23
Figura 20: Horno de convección HCU	23
Figura 21: Molino de discos de piedra estriadas	25
Figura 22: Fermentador cerveza Stout	27
Figura 23: Reacción ABTS/ antioxidante (Neplane,2025)	32
Figura 24: Técnica Headspace	33
Figura 25: Chile ancho	34
Figura 26: Prueba Sensorial	35
Figura 27: Maltas de maíz cacahuazintle	38
Figura 28: Granos germinados al día 3, 4 y 5 respectivamente	40
Figura 29: Lotes de cerveza Stout de maíz cacahuazintle (L1 y L2)	41
Figura 30: Moléculas de xantohumol (1) y isoxantohumol (2) (CymitQuímica,2025)	44
Figura 31: Cromatograma completo de cerveza Stout con chile	47
Figura 32: Cromatograma completo de cerveza Stout sin chile ancho	48
Figura 33: Cromatograma completo chile ancho	49
Figura 34: Parte 1 de cromatograma cerveza Stout sin chile e identificación de compuestos	50

Figura 35: Parte 2 de cromatograma cerveza Stout sin chile e identificación de compuestos	51
Figura 36: Cromatograma cerveza con chile ancho	52
Figura 37: Cromatograma chile ancho	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química proximal del maíz (Simón M. et al., 2018)	7
Tabla 2: Características de las cervezas Stout (Strong Gordon & England Kristen, 2021) ...	13
Tabla 3: Condiciones de secado y tostado para malta de maíz	23
Tabla 4: Ingredientes cerveza Stout con chile ancho.	24
Tabla 5: Condiciones de maceración Hernández-Carapia, 2019	26
Tabla 6: Método utilizado en el análisis de compuestos volátiles, adaptado de Hernández M.A., 2021	33
Tabla 7: Descriptores para perfil CATA.....	35
Tabla 8: Parámetros de color para maltas de maíz cacahuazintle	37
Tabla 9: Resultados de porcentaje de humedad	38
Tabla 10: Resultado de porcentajes de humedad.....	39
Tabla 11: Resultados de poder diastásico	39
Tabla 12: Parámetros de color en cervezas Stout de maíz cacahuazintle	40
Tabla 13: Parámetros fisicoquímicos de la cerveza producida	42
Tabla 14: Especificaciones de cerveza (NOM 199-SCFI-2017).....	42
Tabla 15: Capacidad antioxidante obtenida	44
Tabla 16: Concentraciones y tiempos de retención de los estándares empleados por Hernández M.A. en 2021	45
Tabla 17: Prueba de Friedman.....	58
Tabla 18: Prueba de penalty para Cerveza Stout de maíz sin chile ancho	62
Tabla 19: Prueba de penalty para Cerveza de maíz con chile ancho	63
Tabla 20: Prueba de penalty para cerveza comercial (Minerva).....	63

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Metodología general del proyecto	22
Diagrama 2: Proceso de elaboración de cerveza Stout de maíz cacahuazintle	25
Diagrama 3: Proceso de elaboración de cerveza artesanal	28
Diagrama 4: Análisis fisicoquímicos realizados	28
Diagrama 5: Trabajo de evaluación sensorial.....	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perfil de apariencia de las muestras de cerveza Stout sin chile, cerveza Stout con chile y cerveza Minerva Stout.	54
Gráfico 2: Perfil de sabor las muestras de cerveza Stout sin chile, cerveza Stout con chile y cerveza Minerva Stout.....	54
Gráfico 3: Perfil de olor de cerveza Stout sin chile, cerveza Stout con chile y cerveza Minerva Stout.	55
Gráfico 4: AFC	57
Gráfico 5: Agrado de 3 muestras evaluadas.....	58
Gráfico 6: Nivel de agrado para las tres muestras de cerveza Stout	59
Gráfico 7: Prueba JAR aplicada en Cerveza Stout de maíz sin chile	60
Gráfico 8: Prueba JAR aplicada en Cerveza Stout con chile ancho	60
Gráfico 9: Prueba JAR aplicada en cerveza Control (Minerva)	61
Gráfico 10: Penalidades Maíz sin chile	62
Gráfico 11: Penalidades Maíz con chile	63
Gráfico 12: Penalidades Minerva	64
Gráfico 13: Poder diastásico	73

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el perfil fisicoquímico y sensorial de una cerveza tipo Stout elaborada 100% con maíz cacahuazintle (*Zea mays L.*) y chile ancho (*Capsicum annuum L.*), con el propósito de desarrollar una bebida artesanal con identidad mexicana. Se malteó el maíz cacahuazintle mediante remojo, germinación y secado, para la obtención de malta base, y tostado para obtener maltas caramelo y negra.

Se elaboraron dos lotes de cerveza: uno sin chile (control) y otro con 1 % de chile ancho adicionado en la etapa de maduración (dry hopping).

Los análisis fisicoquímicos incluyeron color, pH, acidez total, azúcares reductores directos, grado alcohólico, poder diastásico, compuestos volátiles por cromatografía de gases y capacidad antioxidante por el método ABTS. Sensorialmente, se aplicaron pruebas CATA, nivel de agrado y JAR a consumidores.

Los resultados mostraron que el uso del maíz cacahuazintle permitió obtener una cerveza con cuerpo medio, color oscuro, espuma estable y notas dulces y tostadas propias del estilo Stout. La adición de chile ancho incrementó la capacidad antioxidante (debido a flavonoides y ácidos fenólicos) y aportó notas aromáticas ahumadas y ligeramente picantes. En la evaluación sensorial, la cerveza con chile se catalogó como “medianamente agradable”, penalizada por su amargor.

En conclusión, el maíz cacahuazintle puede emplearse exitosamente como materia prima alternativa a la cebada en la elaboración de cervezas Stout, aportando características sensoriales agradables y un valor agregado funcional, mientras que el chile ancho mejora el perfil antioxidante y distintivo del producto final.

Palabras clave: Cerveza artesanal, maíz cacahuazintle, chile ancho, análisis sensorial, ABTS, compuestos volátiles.

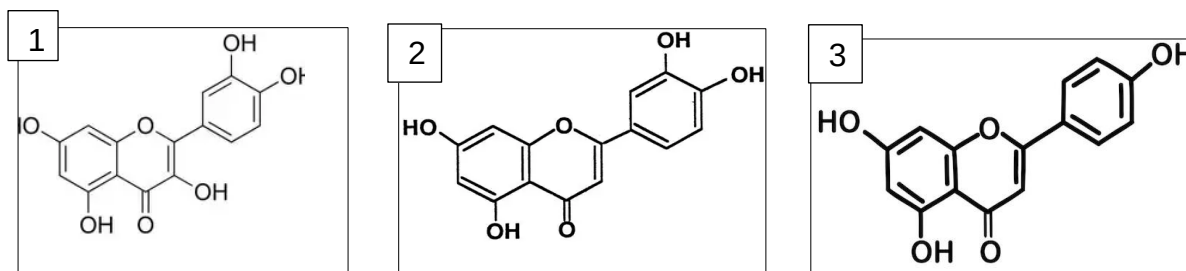
1 INTRODUCCIÓN

El consumo de cerveza artesanal ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, consolidándose como una tendencia cada vez más popular, especialmente entre la población mayor de 35 años (Galaz Yamazaki et al., 2017). De acuerdo con datos del INEGI (2024), México ocupa actualmente el cuarto lugar a nivel mundial en consumo de cerveza, con un promedio anual de 68 litros per cápita, lo que equivale a una ingesta semanal aproximada de 1.3 litros por persona. La noción de cerveza artesanal ha permitido al consumidor adentrarse en el universo cervecero, donde la incorporación de ingredientes como frutas, especias y hierbas ha propiciado su vinculación con el ámbito gastronómico, incentivando su auge mediante experiencias de maridaje.

La producción de cerveza artesanal se fundamenta en cuatro ingredientes esenciales: agua, levadura, lúpulo y malta (Márquez R. et al., 2023). No obstante, la alta demanda de malta de cebada por parte de la industria cervecera ha elevado sus costos, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas más accesibles, como el empleo de otros cereales, entre ellos el maíz. En este contexto, el presente trabajo plantea la elaboración de una cerveza tipo Stout, elaborada en su totalidad con maíz cacahuazintle malteado y adicionada con chile ancho (*Capsicum annuum* L.). Es importante recalcar, que actualmente no se encuentra en el mercado cervezas hechas con el cien por ciento de maíz cacahuazintle, sólo se llega a utilizar como adjunto.

La elección del chile ancho como ingrediente responde tanto a sus propiedades sensoriales como a su perfil funcional, ya que es una fuente rica en compuestos bioactivos, especialmente antioxidantes, que podrían aportar beneficios funcionales a la cerveza final, sin embargo, es importante resaltar que Secretaría de Salud no permite que se ostente este beneficio ya que es una bebida alcohólica. Diversos estudios han reportado que, en su forma deshidratada, esta variedad contiene niveles significativos de compuestos fenólicos totales, entre los que se destacan flavonoides como quercetina, luteolina y apigenina (Figura 1), así como ácidos fenólicos como el ferúlico y el cafeico, además de capsaicina en concentraciones moderadas (Román-Arce Beatriz et al., 2019). Estos compuestos presentan buena estabilidad térmica y han demostrado conservar su actividad durante procesos tecnológicos como la cocción, lo que sugiere su viabilidad en las condiciones de temperatura y pH típicas del proceso cervecero (Naczki et al., 2004).

Figura 1: Molécula quercetina (1), luteolina (2), apigenina (3), respectivamente (Biomodel,2025)



En México, el maíz, por su diversidad en formas y usos, tiene un significado e importancia histórica tan relevantes que se ha calificado a los mexicanos como “gente de maíz” (Kato Yamakake & Takeo Ángel, 2009). El maíz cacahuazintle es una raza nativa del país, ampliamente reconocida por su grano de gran tamaño, textura harinosa y alto contenido de almidón blando. Su uso tradicional en platillos como el pozole ha sido documentado desde la época prehispánica, lo que lo convierte en un ingrediente emblemático del patrimonio agroalimentario mexicano (González-Santos et al., 2023).

Desde un punto de vista tecnológico y sensorial, el maíz cacahuazintle aporta características que pueden enriquecer el perfil de una cerveza Stout. Gracias a su elevado contenido de almidón, fácilmente gelatinizable, favorece la conversión en azúcares durante el macerado (Escalante-Aburto et al., 2020). Además, presenta propiedades sensoriales distintivas: su textura harinosa y sabor delicado pueden contribuir a una sensación en boca más sedosa, así como a notas dulces y cremosas que armonicen con los sabores tostados característicos de este estilo. Incorporar un maíz criollo en la formulación no solo añade identidad mexicana a la cerveza, sino que también fomenta la conservación y valorización de recursos genéticos nativos, alineándose con las tendencias de innovación cervecera que buscan integrar ingredientes locales. Asimismo, se ha reportado que algunas variedades de maíz criollo contienen compuestos fenólicos y antioxidantes, como ácidos fenólicos y antocianinas (dependiendo del color del grano), los cuales pueden contribuir a la capacidad antioxidante de la cerveza (Lopez-Martinez et al., 2009).

La elección de elaborar una cerveza Stout se fundamenta en las características tecnológicas y sensoriales de este estilo, que permiten integrar de manera destacada ingredientes no convencionales como el maíz cacahuazintle. Estas son reconocidas por su cuerpo robusto, color oscuro y notas tostadas, constituyendo un estilo versátil. Aunque en México el consumo de Stout es limitado debido a su fuerte sabor frente a estilos más ligeros, el crecimiento del sector artesanal ha favorecido la aceptación de cervezas de mayor complejidad. A nivel internacional, el mercado de Stout muestra una tendencia ascendente, con un incremento del 11 % en consumo entre 2021 y 2022 (The Guardian, 2024).

Así, usar maíz cacahuazintle en una cerveza Stout se convierte en una propuesta innovadora que une tradición y sabor, dándole además un valor agregado único. Con ello, se logra crear una cerveza con identidad mexicana que conecta lo cultural con lo moderno, y que al mismo tiempo abre una oportunidad de diferenciación dentro del mercado cervecero.

La formulación se basará en una receta tradicional de cerveza Irish Stout que se encuentra en la BJCP (Strong Gordon et al., 2022) , y el chile ancho será incorporado mediante un proceso de infusión en la etapa de maduración (*dry hopping*), con el objetivo de minimizar la degradación térmica y oxidativa de sus compuestos bioactivos, favoreciendo así su integración al perfil funcional y sensorial del producto. Esta elección no solo busca potenciar el valor nutracéutico de la cerveza, sino también enriquecer su perfil sensorial con notas ahumadas, dulces y ligeramente picantes, propias del chile ancho.

Finalmente, será fundamental evaluar tanto las características sensoriales y fisicoquímicas de la cerveza obtenida como la aceptación del consumidor potencial.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la cerveza artesanal representa aproximadamente el 1% del mercado cervecero nacional, lo que equivale a un valor estimado de 125.6 millones de dólares estadounidenses. De acuerdo con el informe de EMR Enterprises en 2024, se proyecta que este sector experimente una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 7.10% en el periodo 2024-2032, alcanzando un valor estimado de 232.86 millones de dólares en 2032.

En este contexto de expansión, surge la oportunidad de incorporar ingredientes tradicionales con alto valor agregado, como el maíz cacahuazintle. Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México produce anualmente más de 29 mil toneladas de esta variedad de maíz, lo que lo posiciona como el séptimo productor a nivel mundial (InfroAgro, 2021).

La elaboración de una cerveza tipo Stout a partir de maíz cacahuazintle representa un desafío tecnológico e innovador, cuyo objetivo es desarrollar una bebida que mantenga la calidad sensorial y cumpla con las características propias del estilo. Además, se busca que esta cerveza, al estar elaborada exclusivamente con maíz, sea naturalmente libre de gluten, lo que la convertiría en una alternativa viable para personas con enfermedad celíaca.

1.2 HIPÓTESIS

El uso de maíz cacahuazintle proporcionará a la cerveza características sensoriales favorables dentro del estilo Stout. Además, el chile ancho brindará mayor capacidad antioxidante y aumentará la cantidad de compuestos volátiles presentes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

El objetivo de este proyecto es analizar el perfil fisicoquímico y sensorial de una cerveza Stout de maíz cacahuazintle con chile ancho.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar una cerveza Stout con el 100% de maíz cacahuazintle.
- Realizar la comparación entre una cerveza Stout de maíz con chile y una sin chile.
- Analizar fisicoquímicamente las maltas y las cervezas elaborada.
- Identificar compuestos volátiles presentes en la cerveza de maíz mediante cromatografía de gases.
- Cuantificar la capacidad antioxidante aportada por el chile ancho.
- Realizar pruebas de aceptación con consumidores para conocer el nivel de agrado de la cerveza producida.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

A lo largo de la historia se han consumido bebidas fermentadas a base de cereales, en especial de maíz. Los más importantes y que actualmente se siguen consumiendo son el sendechó y el tesgüino.

El sendechó es una bebida preservada por comunidades indígenas mazahuas y otomíes en diversos puntos de México, en especial el Estado de México y Michoacán (Pérez W., 2021). Es producto de la fermentación de maíz germinado durante 8 o 10 días, una vez germinado y seco se muele y el polvo se mezcla con agua, se hierbe y se le agrega chile y una vez frío se le añade generalmente aguamiel para dejar fermentar 5 días aproximadamente. El resultado es una bebida espesa, rosa y muy refrescante (Del grano a la copa, 2019). El aroma distintivo del sendechó se compone de notas de maíz fresco, ácido láctico y un ligero toque picante del chile guajillo, generando durante la fermentación ácido acético y ésteres como el etilbutanoato; el sabor es complejo y multifacético, con una acidez predominante proviene de los ácidos láctico y acético, mientras que el toque picante del chile guajillo complementa la dulzura natural del cereal (Thebeertimes., 2024).

El tesgüino es una bebida fermentada que tiene como sustrato el maíz germinado, es elaborada y consumida principalmente por los tarahumaras de Chihuahua. Generalmente se consume en celebraciones religiosas y familiares, como la cerveza. La manera de preparar el tesgüino es la siguiente: los granos de maíz limpios, remojados y germinados en obscuridad son molidos en metate y cocidos en agua, formando un atole amarillento que posteriormente se fermenta de manera espontánea por horas o días, la fermentación es láctica-alcohólica-acética (Taboada J, n.d.;Arrizón Javier, 2020). El resultado es una bebida ácida, con sabor ligeramente alcohólico, de color rojizo y ligeramente viscoso que al ser degustado con azúcar resulta agradable y refrescante (Nava D., 2009) .

En los últimos años, en el Laboratorio de Enología y Alimentos Fermentados en conjunto con el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la UAM Iztapalapa, se ha venido trabajando en la elaboración de cervezas de maíces pigmentados y chile guajillo, incluso el proceso de elaboración de cerveza a base de maíz quedó registrado en la patente N° MX365910 (Verde-Calvo J. R. et al., 2019).

En 2013, Romero M.A. realizó la caracterización de cervezas de malta de maíz y de cebada basadas en su perfil sensorial, compuestos volátiles y capacidad antioxidante. En 2015, Gómez D. elaboró y caracterizó fisicoquímica y sensorialmente cervezas de maíz rojo. En 2018, Flores D. estudió la influencia del proceso de elaboración de cerveza Artesanal de maíz azul en los compuestos que le dan sabor y color. En 2019, Hernández Y. estudió el efecto del tostado en la composición volátil y propiedades sensoriales en cervezas artesanales de maíz rojo y cebada y en 2020, Romero-García elaboró y caracterizó una cerveza de maíz rojo con alta capacidad antioxidante.

(Romero M. A., 2013)(Gómez D., 2015)(Romero N., 2020)(Hernández Y., 2019)(Flores Calderón M., 2018)

2.2 FUNDAMENTOS

2.2.1 EL MAÍZ

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Evidencias arqueológicas y genéticas indican que su domesticación se remonta a aproximadamente 9 000 años atrás, en la región del Valle del Balsas, al sur de lo que hoy es México. En esta zona se han encontrado fitolitos y granos de almidón que muestran transiciones morfológicas desde el teocintle silvestre, considerado el ancestro directo del maíz, hacia formas domesticadas, lo que sugiere un proceso temprano e intencionado de selección humana (Piperno et al., 2009). Hoy en día el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar (Paliwal R.L et al., 2001).

En México, el maíz forma parte de nuestra alimentación diaria, es el cultivo de mayor presencia en el país, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales, por lo que, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social, es el cultivo agrícola más importante (CONBIO, 2020).



Figura 2: Composición de la planta de maíz (Pioneer,s.f.)

Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual dotada de un amplio sistema radicular fibroso (Fig. 2). Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta. El maíz suele ser blanco o amarillo, aunque también hay variedades negras, rojas y jaspeadas. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él (FAO, 1993).

El grano está formado por diferentes estructuras, como son el pericarpio, el endospermo, el germen, el embrión y la piloriza o pedicelo (Fig. 3).

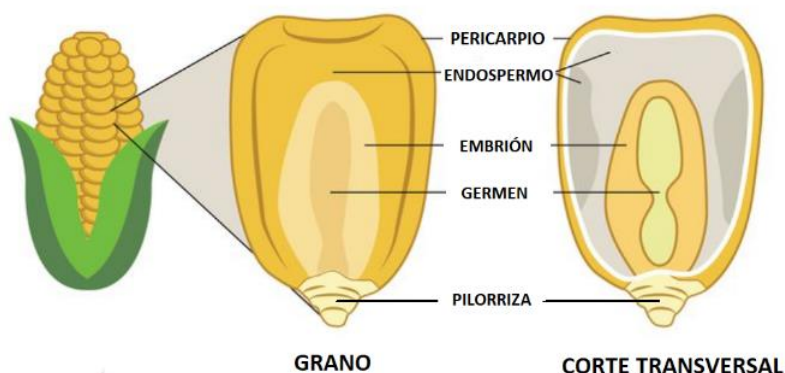


Figura 3: Morfología del grano de maíz (Orchardson E., 2021).

Los principales componentes del grano son almidón, proteínas y lípidos, también están presentes pequeñas cantidades de fibras, azúcares minerales y vitaminas. El análisis aproximado sobre sustancia seca se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición química proximal del maíz (Simón M. et al., 2018)

COMPUESTO	% PROMEDIO
ALMIDÓN	72
PROTEÍNA	10
LÍPIDOS	4.8
FIBRA BRUTA	8.5
AZÚCARES	3
CENIZAS	1.7

El pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda formada por hemicelulosa, celulosa y lignina. El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (FAO, 1993). El almidón es el principal polisacárido de reserva en cereales y se encuentra en los amiloplastos en forma de gránulos semi cristalinos. Está constituido por dos fracciones (Fig. 4): amilosa, una cadena lineal de glucosa con enlaces α -1,4, y

amilopectina, una molécula altamente ramificada con enlaces α -1,4 y α -1,6, cuya proporción determina sus propiedades funcionales (Tester et al., 2004).

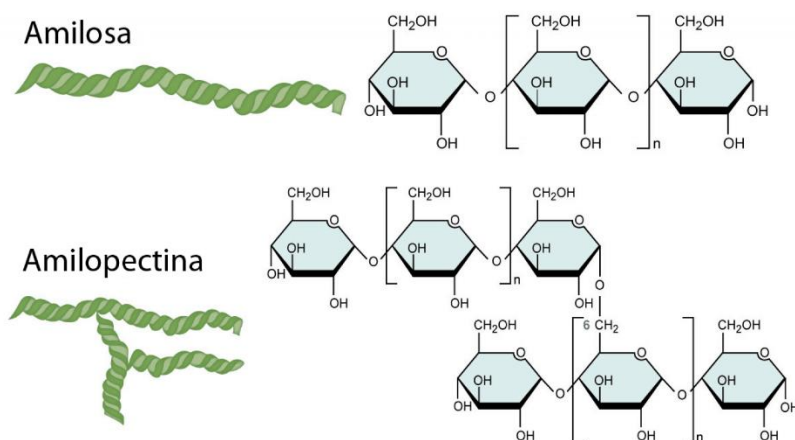


Figura 4: Amilosa y Amilopectina (Google, 2025)

Durante el malteo y la maceración, el almidón se degrada gracias a enzimas hidrolíticas activadas en la germinación: la α -amilasa, que rompe enlaces internos generando dextrinas y maltosa, y la β -amilasa, que actúa desde los extremos liberando maltosa (Gupta et al., 2010). Estas enzimas se producen principalmente en el embrión del grano y se secretan hacia el endospermo durante la germinación, facilitando la movilización del almidón y asegurando su conversión en azúcares fermentables durante el proceso de malteo (Andriotis et al., 2016).

MAÍZ CACAHUAZINTLE

El maíz cacahuazintle se caracteriza por ser una raza de grano grande y harinoso, normalmente de color blanco mate, aunque también puede presentar coloraciones rosas o azules. Invariablemente el endospermo es de consistencia muy suave, harinosa y amilácea, tiene alto vigor de germinación (Ramos, 2022). El uso de maíz con un endospermo predominantemente harinoso y amiláceo, caracterizado por su baja dureza y alto contenido de almidón suelto, tiene un impacto significativo sobre las propiedades tecnológicas durante la elaboración de cerveza. Este tipo de endospermo facilita una mayor friabilidad del grano, lo que reduce la energía necesaria en la molienda y produce partículas más finas, que a su vez incrementan la superficie disponible para la hidrólisis enzimática durante la maceración (Dombrink-Kurtzman & Knutson, 1997; Krstanović et al., 2024). Además, el almidón presente en los granos harinosos posee una temperatura de gelatinización más baja (entre 62 y 68 °C), lo cual permite una conversión eficiente del almidón en azúcares fermentables bajo condiciones estándar de macerado (Dabija et al., 2021). Esto contribuye a un mayor rendimiento de extracto y, por lo tanto, a una mayor densidad inicial del mosto, elemento crucial para la obtención de cervezas con contenido alcohólico adecuado. No obstante, el uso de este tipo de grano también implica desafíos, como el aumento de la

turbidez del mosto y la disminución de la velocidad de filtración, debido al alto contenido de partículas finas y compuestos coloidales presentes en la harina (Krstanović et al., 2024).

Esta variedad forma parte del grupo “cónico” cuya característica principal es la forma cónica o piramidal de sus mazorcas (Fig. 5).



Figura 5: Morfología maíz cacahuazintle (InfoAgro,2020)

Esta raza es cultivada en gran parte de los estados de México, principalmente en el valle de Toluca, Ciudad de México, Tlaxcala, algunas zonas templadas de Puebla, ocasionalmente en otras localidades de valles altos del centro del país y en partes altas y con temperaturas bajas. Se da en suelos de origen volcánico (CONABIO, 2020).

De acuerdo a la Figura 6, la producción de maíz cacahuazintle ha mostrado una tendencia creciente en los últimos diez años (SIAP, 2020), estas tendencias permiten contextualizar la elección del maíz cacahuazintle como materia prima en procesos industriales, ya que su disponibilidad asegura una oferta estable para el desarrollo de nuevos productos.

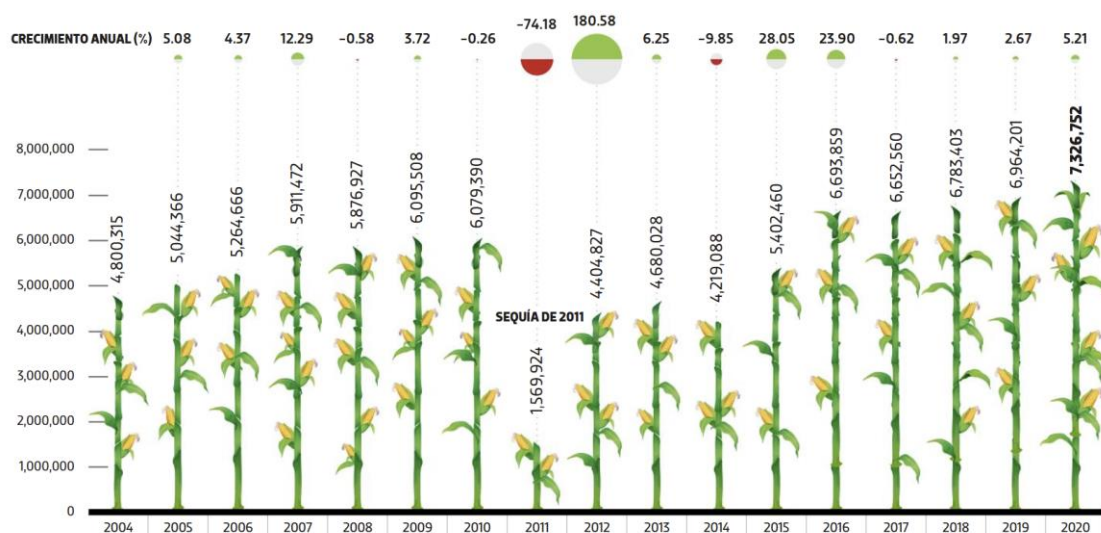


Figura 6: Producción Nacional de maíz cacahuazintle (SIAP,2020)

Esta raza ha tenido una mayor y mejor distribución y diversificación de su comercialización que las demás ya que su principal nicho de consumo es el Valle de México (Carrillo et al.,

2013). Esta variedad de maíz no sólo se utiliza para preparar pozole, ya que en estados como Tlaxcala sirve para elaborar pinole, tamales y una golosina con piloncillo denominada burritos; mientras que en Hidalgo es parte esencial de la bebida llamada achocote (De Agricultura y Desarrollo Rural, n.d.).

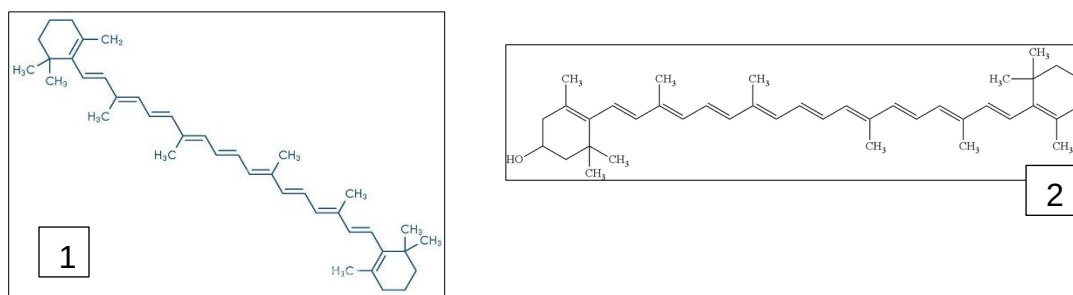
2.2.2 EL CHILE ANCHO

El chile ha formado parte de la gastronomía mexicana desde la antigüedad, como lo indican vestigios arqueológicos de semillas encontradas en el valle de Tehuacán Puebla, con una antigüedad de 8500 años (Cázares E. et al., 2005).

Actualmente a nivel mundial se reconocen cinco especies domesticadas del género *Capsicum*: *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*, (Cázares E. et al., 2005). México es uno de los principales centros de producción del género *Capsicum*, en particular de la especie *annuum*.

Los chiles secos, como el acho, pasilla o mulato pertenecen al género *Capsicum annuum* L., estos tienen un gran valor nutrimental ya que son ricos en carotenoides (García Jiménez et al., 2018), entre los principales carotenoides identificados, se encuentran el β -caroteno y la β -criptoxantina (Fig. 7), que tienen actividad provitamina A (Collera-Zúñiga et al., 2005). Otro compuesto de interés es la capsantina, el compuesto responsable de que los chiles adquieran el color rojo, ya que es un pigmento con propiedades antioxidantes y anticancerígenas. También se encuentran los tocoferoles, que son precursores de la vitamina E, a la que se atribuye capacidad de reducir la oxidación enzimática y de lípidos (Waizel J. et al., 2011).

Figura 7: Molécula β -caroteno (1), β -criptoxantina (2). (Alamy,2025)



Otro componente importante y responsable de la pungencia del chile es la capsicina (Fig. 8), un compuesto orgánico de nitrógeno de naturaleza lipídica, es un vaniloide natural (8-metil-N-vanilil-6-nonamida). Este compuesto ha sido especialmente estudiado ya que se caracteriza por tener efecto analgésico, antiinflamatorio, antiagregante plaquetario y antimicrobiano (Waizel J. et al., 2011). Este compuesto se encuentra principalmente en la piel y en las semillas de los chiles.

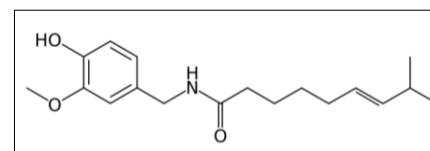


Figura 8: Molécula de capsicina (PubChem,2025)

El chile ancho (Fig. 9) por su parte, es un fruto con venas, de forma cónica o triangular, con tamaños que varían de longitud (aproximadamente 12 cm) y ancho (aproximadamente 6.5 cm). En cuanto a sabor es ligeramente dulce y ahumado, con notas terrosas y picantes moderadas. Estas características lo convierten en un ingrediente ideal para dar sabor, color y complejidad a una amplia variedad de platillos. Se cultiva en los estados de Zacatecas, Durango, San Luis Potosí, Guanajuato (García-Jiménez et al., 2018)(Secretaría de Salud, 2006).



Figura 9: Chile ancho (GoodGoogs.com)

2.2.3 LA CERVEZA

De acuerdo a la NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, la cerveza es una bebida alcohólica fermentada elaborada con malta, lúpulo, levadura y agua potable, puede adicionarse con infusiones de cualquier semilla farinácea procedente de gramíneas o leguminosas, raíces o materia prima vegetal feculenta y/o carbohidratos de origen vegetal susceptibles de ser hidrolizados o, en su caso, azúcares que son adjuntos de la malta, con adición de lúpulos o sucedáneos en éstos. Su contenido alcohólico es de 2% a 20% Alc. Vol.

La cerveza puede adicionarse de ingredientes y aditivos permitidos como jarabes de maltosa, miel, fruta, jugo de fruta, concentrado de fruta, hierbas, especias y otros materiales.

LOS TIPOS DE CERVEZA

El mundo de las cervezas artesanales es tan vasto que existen diferentes formas de clasificarlas ya sea según su aspecto, su método de elaboración, los ingredientes empleados, su procedencia o según el tipo de fermentación (González M., 2017).

La fermentación tipo Ale se lleva a cabo con levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae* a temperaturas de entre 18 y 25 °C, mientras que la fermentación tipo Lager se realiza con levaduras del género *Saccharomyces carlsbergensis* o *Saccharomyces pastorianus* a temperaturas de entre 7 y 15 °C. En la fermentación tipo Ale, las levaduras tienden a permanecer en la superficie del mosto, razón por la cual se le conoce como fermentación “alta”; en cambio, en la fermentación tipo Lager, las levaduras se depositan en el fondo del

fermentador, lo que le da el nombre de fermentación “baja” (González M., 2017; Hans Michael, 2009).

En cuanto a sabor, las cervezas lager en general tienen un sabor fresco y limpio, sin embargo, se caracterizan por tener una mayor concentración de compuestos azufrados como el metil-mercaptano y el tioacetato de metilo (Fig. 10). Por el contrario, gracias a la temperatura de fermentación de las cervezas tipo Ale se generan compuestos químicos que aportan mucho sabor. Además, estas cervezas se caracterizan por tener una alta cantidad de ésteres como el acetato de etilo, acetato de isoamilo, acetato de hexilo, acetato de metilo, etc. (Fig. 11), que le confieren un carácter afrutado a la cerveza (Hernández M.A., 2021).

Figura 10: Moléculas de metil-mercaptano (1), tioacetato de metilo (2). (VectorStock, 2025)

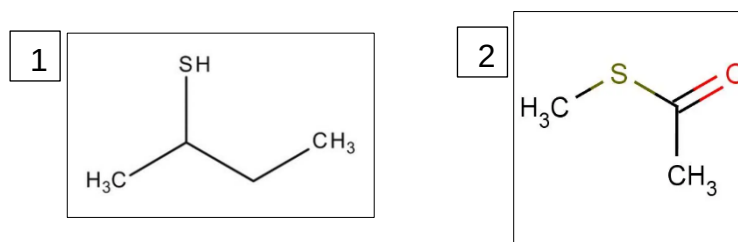
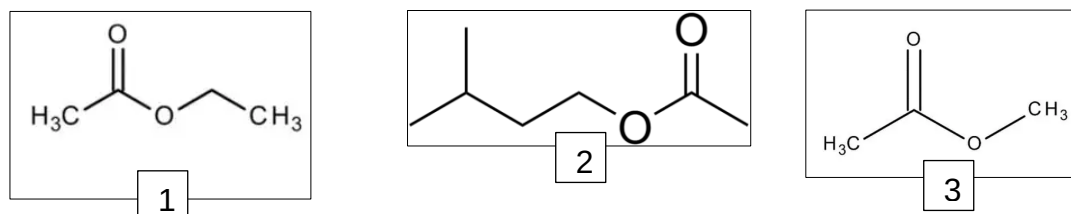


Figura 11: Moléculas de ésteres: acetato de etilo (1), acetato de isoamilo (2), acetato de metilo (3).



LA CERVEZA STOUT

La composición de cada materia prima y la forma en que los aromas y sabores derivados de estas se combinan durante el proceso de elaboración tiene un gran impacto en el carácter final y permite la amplia gama de estilos de cerveza disponibles en la actualidad.

El término “Stout” se utilizó por primera vez asociado a la cerveza para definir una cerveza Porter más fuerte de la habitual, llamándola “Stout Porter”, esta fue la primera cerveza que Guinness comenzó a comercializar en 1820 (Rodríguez M. et al., 2021).

La cerveza Stout (Fig. 12), como estilo actual, tiene un aspecto oscuro, casi negro azabache y un amargor pronunciado que complementa los sabores a malta tostada, frutos secos, toques de café o chocolate y notas a caramelo. La espuma puede ser blanca o color crema (Mosher et al., 2017). La concentración de alcohol por lo general oscila entre cinco y doce por ciento Alc. Vol. (Strong G. et al., 2021).

Figura 12: Cerveza Stout comercial



Existen diferentes tipos de Stout, las más importantes se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2: Características de las cervezas Stout (Strong Gordon & England Kristen, 2021)

TIPO	SABOR	IBU*	% Alc.Vol.	OG/FG*
Irish Stout	Grano tostado con notas a café y caramelo. Presenta notas de carácter agridulce o de chocolate sin azúcar.	25-45	3.8-5.0	1.036-1.044/ 1.007-1.011
Irish Extra-Stout	Sabor a malta muy tostada. Sabores similares al café tostado, pero también suele tener notas a chocolate oscuro. Sabor a lúpulo.	35-50	5.0-6.5	1.052-1.062/ 1.010-1.014
Sweet Stout	Presencia de ésteres (notas afrutadas). El dulzor proporciona un contrapunto al carácter tostado y al amargor.	20-40	4.0-6.0	1.044-1.060/ 1.012-1.024
Oatmeal Stout	Sabor suave a café tostado, chocolate con leche o café y crema, y un sabor afrutado. La avena puede agregar un sabor tostado a nuez.	25-40	4.2-5.9	1.045-1.065/ 1.010-1.018
American Stout	Sabores tostados moderados, a menudo con sabor a café y chocolate oscuro. Dulzor medio. Sabor a lúpulo, generalmente cítrico. Sabor ligero a alcohol.	35-75	5.0-7.0	1.050-1.075/ 1.010-1.022

Imperial Stout	Una mezcla compleja de notas tostadas, a frutos secos, lúpulo y alcohol. Los sabores pueden ser bastante intensos.	50-90	8.0-12.0	1.075-1.115/ 1.018-1.030
<i>*OG: Original Gravity/ FG: Final Gravity</i> <i>*IBU: (International Bitterness Unit)</i>				

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA

1. MALTEO

Para la producción de cerveza, la materia prima principal es la malta que, junto con los aditivos, proporcionan los carbohidratos necesarios para el desarrollo de la levadura y la producción de etanol.

El objetivo del malteo es producir las enzimas hidrolíticas necesarias para descomponer el almidón en azúcares fermentables que posteriormente serán el alimento de la levadura durante la fermentación (Hough J., 1990).

El proceso de malteo se divide en tres etapas: remojo, germinación y secado.

- REMOJO

En esta etapa (Fig. 13), los granos de maíz se deben sumergir en un recipiente con agua, en una proporción 1:2, durante 48 horas (Hough J., 1990). A medida que el grano se hidrata, se hincha hasta 4 veces su volumen original. Es importante tener periodos en los que el grano esté fuera del agua (conocidos como periodos “air-rest”), estos permiten que el agua se distribuya en el endospermo (Hernández M.A., 2021). El oxígeno es necesario para la respiración del grano ya que la falta de oxígeno puede provocar la acumulación de CO_2 seguida de la fermentación y, por lo tanto, una intoxicación del germen.

El remojo tiene como objetivo principal aumentar el contenido de humedad del 12% al 40% para iniciar la germinación. La absorción de agua debe realizarse en condiciones controladas de temperatura, es decir entre 12 a 18°C, ya que en ese rango se logra tener control microbiológico, una respiración adecuada, absorción uniforme de agua y activación enzimática (Hans Michael, 2009).

Figura 13: Remojo industrial de granos de maíz (Heat and Control,2025)



- GERMINACIÓN

En este paso (Fig. 14), el grano se coloca en charolas, preferentemente de acero inoxidable para que comience la germinación. El periodo de tiempo recomendado para la germinación va de cinco a siete días.

Este proceso tiene como objetivo la descomposición controlada de las paredes celulares y de las proteínas de la matriz del grano, además de producir las enzimas hidrolíticas gracias al crecimiento de la hormona giberelina ya que el ácido giberélico induce su crecimiento (Hans Michael, 2009).

Figura 14: Germinación industrial del grano (WONALIXIA BITTERSWEET,2025)



- SECADO Y TOSTADO

Una vez terminado el tiempo de germinación, los granos se deben secar (Fig. 15), generalmente en un horno entre 55-60°C, con el objetivo de detener la acción de las enzimas disminuyendo la cantidad de agua disponible (hasta 3% de humedad final), pero sin que se estas se inactiven; además, con estas temperaturas se reduce la humedad del

grano de forma lenta y uniforme, evitando estrés térmico, fisuras en el endospermo o endurecimiento de la capa externa (Hough J., 1990).

Por otra parte, la finalidad del tostado es generar las maltas especiales, gracias a que se producen reacciones de pardeamiento no enzimático, tales como las reacciones de Maillard, caramelización y pirólisis (Parker D.K., 2012), y también producir el color oscuro. Los diferentes grados de tostado producirán diferentes perfiles de sabor para el grano malteado (Hans Michael, 2009).

Figura 15: Secador y tostador industrial de granos (Dongy, 2025; Agrofy, 2025)



2. MOLIENDA

La molienda tiene por objetivo triturar la malta. Es necesario que la cascarilla permanezca tan entera como sea posible pero que el endospermo se muele hasta un tamaño de partícula que permita la extracción y disolución de compuestos. Es importante no triturar tanto la cascarilla para evitar liberar más taninos de los deseables (Hough J., 1990).

3. MACERACIÓN

Durante la maceración la malta triturada se remoja en agua caliente para que se hidrate, se logre gelatinizar el almidón y se activen sus enzimas (Palmer J., 2006). Las enzimas relevantes para el macerado son la α -amilasa y la β -amilasa; ambas rompen los enlaces glucosídicos α -(1-4)-D de almidón. La β -amilasa corta la maltosa del extremo no reductor de la molécula de almidón y, por lo tanto, es significativamente responsable del grado de atenuación del mosto (Eßlinger, 2009).

En este proceso, estas enzimas dentro de la semilla del grano se reactivan. Una vez hidratadas y a la temperatura correcta, estas convierten el almidón en azúcares fermentables como maltosa, glucosa, maltotriosa y otras moléculas que puedan ser consumidos por la levadura, y no fermentables, azúcares no consumidos por la levadura durante la fermentación pero que serán responsables del sabor dulce en la cerveza. También hidrolizan las proteínas en péptidos de menor peso molecular y en aminoácidos

que serán utilizados por la levadura en la fermentación. Además, descomponen las proteínas y otras estructuras biológicas que contiene el almidón en el endospermo y los liberan en el agua (Hough J., 1990; Mosher & Trantham, 2017). Existen diferentes modelos de maceración, es decir, diferentes tiempos y temperatura, esto dependerá del estilo de cerveza que se desea obtener.

Al término de la maceración, se separan los granos desgastados del líquido y se obtiene lo que se conoce como mosto dulce.

4. COCCIÓN Y LUPULADO

En este proceso, el mosto se hierve durante 30 a 90 minutos (Mosher & Trantham, 2017). La ebullición del mosto tiene varios objetivos: el primero es esterilizar el mosto y proporcionar estabilidad microbiológica, el segundo es ayudar a precipitar los complejos proteína-polifenol que de otro modo formarían material de turbidez más adelante en el proceso y el tercero es inactivar las enzimas presentes (Parker D.K., 2012). Un efecto secundario importante de hervir el mosto es aumentar el contenido relativo de azúcar a medida que el agua se evapora del mosto, esto eventualmente nos dará un mayor contenido de alcohol en la cerveza final (Hans Michael, 2009).

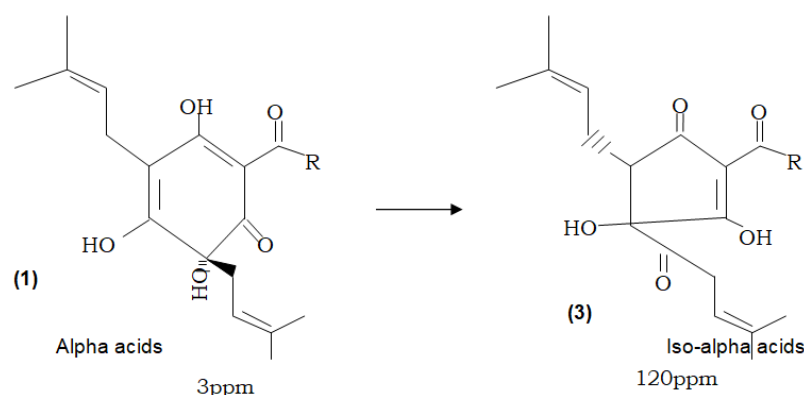
En este punto también se agrega el lúpulo, una planta (Fig.16) perteneciente a la especie (*Humulus lupulus*) que contribuye al amargor y al aroma lupulado de la cerveza; también mejora la formación y la estabilidad de la espuma. Además, tiene propiedades antibacterianas y proporciona protección contra el deterioro por parte de ciertos microorganismos (Okafor et al., 2020).

Figura 16: Planta de lúpulo (*Humulus lupulus* L.) (fitoterapia.net)



Durante la etapa de ebullición, los α -ácidos presentes en el lúpulo se isomerizan a los iso- α -ácidos que son más amargos (Fig. 17). Los lúpulos amargos se agregan al comienzo de la ebullición para permitir que ocurra este cambio químico; la desventaja de agregar lúpulo al comienzo de la ebullición es que cualquier aroma a lúpulo y aromas derivados de los aceites esenciales dentro del lúpulo se evaporan, es por eso por lo que este ingrediente se va agregando a diferentes tiempos, para recuperar aromas y sabores (González M., 2017; Hough J., 1990; Mosher & Trantham, 2017).

Figura 17: Reacción de isomerización de alfa-ácidos (Okafor et al., 2020)



Durante esta parte del proceso también se suelen añadir otros ingredientes con la intención de aportar sabor a la cerveza (Gómez D., 2015). Al final del proceso se obtiene un mosto amargo.

5. FERMENTACIÓN

Este proceso inicia añadiendo levadura, *Saccharomyces cerevisiae* en cervezas tipo Ale y *Saccharomyces carlsbergensis* en cervezas tipo lager, al mosto frío.

La fermentación significa metabolizar los sustratos en productos mediante la actividad de los microorganismos y, al mismo tiempo, obtener energía. En este caso, la levadura convierte los azúcares fermentables disponibles en el mosto en etanol y CO₂, de acuerdo a la siguiente ecuación (Hans Michael, 2009; Hough J., 1990) :



Durante este proceso también se generan subproductos de la fermentación, que tienen un efecto considerable en el perfil aromático y el sabor de la cerveza resultante (Parker D.K., 2012).

En esta fase se convierte el mosto amargo en cerveza verde.

6. DRY HOPPING

Tradicionalmente el *dry hopping* se asociaba al uso exclusivo del lúpulo, sin embargo, en años recientes esta técnica ha sido adaptada para incorporar diferentes adjuntos como frutas, especias, hierbas y flores con el objetivo de diversificar el perfil sensorial de la cerveza artesanal. Estos ingredientes se han empleado mediante adiciones en frío durante la maduración, simulando la técnica del *dry hopping*, lo que permite extraer compuestos volátiles sin alterar negativamente las características estructurales del producto (Steensels et al., 2015)

Esta variante del *dry hopping* tiene como finalidad maximizar la transferencia de aromas y sabores característicos de los adjuntos, como los compuestos fenólicos del chile, los terpenos de frutas cítricas, o los aceites esenciales de hierbas como el romero o la menta.

A diferencia de la cocción, el tratamiento en frío preserva compuestos sensibles al calor que podrían degradarse durante la ebullición, ofreciendo perfiles más frescos y auténticos (Klimczak et al., 2023)

7. ENVASADO Y MADURACIÓN

En estas etapas del proceso, el producto que se obtiene se denomina "cerveza verde" ya que aún no tiene un sabor agradable, pues en la fermentación se producen una serie de subproductos que confieren sabores desagradables como el acetaldehído, diacetilo y sulfuro de dimetilo, así como notas de levadura fresca, notas azufradas y a disolventes. Entonces comienza el proceso de maduración o acondicionamiento, que consiste en darle tiempo suficiente a la levadura que habita en la cerveza para que pueda reabsorber muchos de estos compuestos (Hans Michael, 2009; Parker D.K., 2012).

Otro punto importante de la maduración es que, durante este período de reposo, la levadura latente, las proteínas más pesadas y grandes y otros desechos continúan precipitándose de la cerveza lo que ayuda a la clarificación.

A continuación, la cerveza se filtra para eliminar la levadura restante y se ajusta el nivel de carbonatación, agregando sacarosa para llevar a cabo una segunda fermentación y de esta forma obtener el CO_2 deseable en la cerveza final. Al término de este proceso la cerveza está lista para su envasado en botellas, latas o barriles.

2.2.4 ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y MÉTODO ABTS

El estrés oxidativo es un fenómeno biológico asociado a un desequilibrio entre especies reactivas de oxígeno (prooxidantes) y los sistemas antioxidantes del organismo, lo cual puede provocar daño celular, inflamación crónica y el desarrollo de enfermedades como diabetes, cáncer o enfermedades cardiovasculares. En este contexto, los antioxidantes dietéticos han despertado un gran interés debido a su capacidad para neutralizar radicales libres y reducir el impacto del estrés oxidativo en la salud humana (Nardini, 2023).

La cerveza, además de sus características sensoriales, contiene compuestos bioactivos con potencial antioxidante, principalmente polifenoles derivados de la malta, el lúpulo y posibles adjuntos como frutas, especias o ingredientes funcionales. Para evaluar dicha capacidad antioxidante, uno de los métodos más utilizados es el ensayo ABTS [ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)], ampliamente validado para matrices alimentarias líquidas. Este método espectrofotométrico se basa en la generación del radical catiónico ABTS^{•+}, que presenta una coloración azul-verde intensa y es reducido por los antioxidantes presentes en la muestra. La disminución en la absorbancia medida a 734 nm es directamente proporcional a la capacidad antioxidante, expresada comúnmente en equivalentes de Trolox (TEAC) (Re et al., 1999). Dado que el método ABTS permite evaluar compuestos tanto hidrofílicos como lipofílicos, se considera adecuado para la caracterización antioxidante de matrices complejas como la cerveza.

El mecanismo de reacción del método se muestra en la Figura 18 (Vázquez-Ovando et al., 2022).

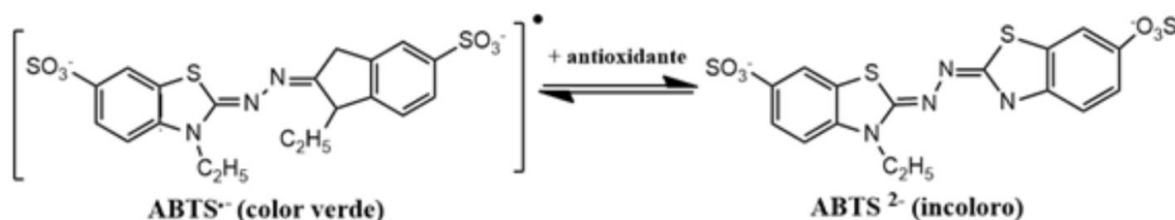


Figura 18: Mecanismo de reacción del ABTS

COMPUESTOS VOLÁTILES PRESENTES EN LA CERVEZA

Los compuestos volátiles en cerveza son responsables del perfil aromático característico de cada estilo, y su origen se relaciona con la fermentación, la acción de las levaduras, las materias primas (malta, lúpulo y adjuntos) y el proceso de maduración. Entre estos compuestos destacan los alcoholes superiores, ésteres, aldehídos, cetonas y ácidos de cadena corta, los cuales tienen un impacto significativo en la aceptación sensorial del producto (Pires et al., 2015).

Para su análisis, la cromatografía de gases (GC) es una de las técnicas más utilizadas, ya que permite la separación e identificación de compuestos volátiles y semi volátiles en muestras complejas como la cerveza. En particular, la preparación de muestras mediante espacio de cabeza (*headspace*) permite extraer los compuestos volátiles presentes en la fase gaseosa de una muestra líquida, sin necesidad de tratamientos extensos ni uso de disolventes, lo cual reduce interferencias y mejora la reproducibilidad (Humia et al., 2019). La técnica HS-GC consiste en equilibrar la muestra líquida con su fase gaseosa en un vial cerrado, para posteriormente inyectar sólo el gas que contiene los volátiles hacia la columna cromatográfica, donde los compuestos se separan en función de su volatilidad y afinidad con la fase estacionaria. Esta técnica ha demostrado ser efectiva para analizar perfiles aromáticos de cerveza y estudiar el efecto de diferentes materias primas o condiciones de fermentación sobre los compuestos aromáticos resultantes (Rodríguez-Bencomo et al., 2012).

2.2.5 EVALUACIÓN SENSORIAL

La Evaluación Sensorial es una disciplina científica que emplea los sentidos humanos como instrumento de medición para evaluar y describir las propiedades físicas y químicas de los productos, principalmente alimentos, bebidas y cosméticos (Stone H et al., 2012). Su aplicación permite no solo comprender las preferencias del consumidor, sino también optimizar formulaciones y garantizar la calidad sensorial de los productos durante su desarrollo. Actualmente se considera una herramienta fundamental en la industria alimentaria para evaluar la percepción de los consumidores sobre los productos, considerando sus atributos organolépticos (color, aroma, sabor, textura, etc.).

Entre los métodos sensoriales más utilizados para evaluar productos complejos como la cerveza se encuentran las pruebas de nivel de agrado, JAR y CATA. Estas permiten no solo medir la aceptación global, sino también identificar atributos específicos que influyen en dicha aceptación.

- Prueba de nivel de agrado

La prueba de nivel de agrado es una técnica afectiva que permite determinar el grado de preferencia de los consumidores hacia un producto. Generalmente se utiliza una escala de 9 puntos (desde "me disgusta extremadamente" hasta "me gusta extremadamente") para evaluar atributos como sabor, aroma o apariencia (Stone et al., 2012). Esta prueba permite generar datos que reflejan la aceptación general de un producto dentro de un grupo objetivo.

- Prueba JAR (*Just-About-Right*)

La prueba JAR combina elementos de la evaluación descriptiva y afectiva. Consiste en que los consumidores califiquen un atributo específico indicando si su intensidad es "muy baja", "justa" o "muy alta". Esta metodología ayuda a identificar desviaciones que puedan afectar negativamente la aceptación del producto, y permite aplicar análisis de penalización para evaluar el impacto de tales desviaciones sobre el agrado global (Xiong & Meullenet, 2006).

- Prueba CATA (*Check-All-That-Apply*)

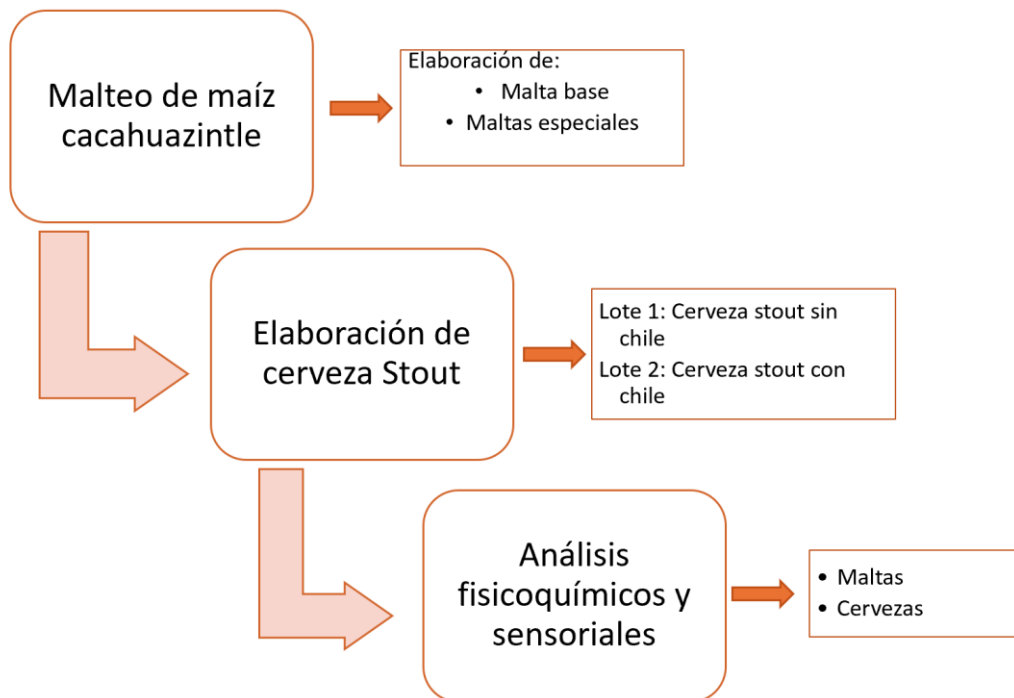
La prueba CATA es una técnica rápida y versátil que permite a los consumidores seleccionar, de una lista de atributos, todos aquellos que describen adecuadamente al producto evaluado. A diferencia de otras técnicas, no requiere entrenamiento previo y proporciona una rica descripción del perfil sensorial percibido desde la perspectiva del consumidor (Ares & Jaeger, 2013). El análisis de frecuencias y de correspondencias (CA) son herramientas estadísticas comunes para interpretar los resultados.

Estas metodologías, aplicadas en conjunto, proporcionan una visión integral del perfil sensorial de un producto, combinando la percepción del consumidor con herramientas estadísticas. En el contexto cervecero, estas técnicas han demostrado ser útiles para diferenciar perfiles, identificar atributos críticos de aceptación y guiar decisiones en el desarrollo de nuevos estilos o fórmulas (Varela et al., 2012).

3 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología general que se realizó durante toda esta investigación (Diagrama 1).

Diagrama 1: Metodología general del proyecto



3.1 MALTEO DE MAIZ CACAHUAZINTLE

El maíz blanco (*Zea mays L.*) variedad "Cacahuazintle" fue adquirido en la Central de Abastos de la Ciudad de México, específicamente en la bodega "Semillas El Rey". Este grano proviene del Estado de México.

El primer paso consistió en la limpieza y selección del grano. Se retiraron manualmente las impurezas, como basurillas y granos dañados. Posteriormente, el grano fue enjuagado con agua potable y desinfectado con una disolución de hipoclorito de sodio (50mg/l) con el propósito de inhibir el crecimiento microbiano durante las siguientes etapas del proceso.

Una vez desinfectado, el grano fue sometido al proceso de malteo. Se llevó a cabo un remojo en proporción grano/agua de 1:2 durante 48 horas, con un intervalo en seco de 12 horas. Este paso tuvo como finalidad alcanzar una humedad aproximada del 40% en el grano, condición óptima para favorecer la germinación ya que se recibe con una humedad aproximada del 12%. Los granos flotantes fueron descartados, al considerarse potencialmente contaminados y con bajo contenido de almidón.

La fase de germinación se realizó manteniendo los granos húmedos, por lo que se asperjó con agua potable cada 12 horas. Durante este periodo, se procuró también una constante agitación manual (2 veces al día) para asegurar una adecuada oxigenación y homogeneidad térmica en los recipientes. El proceso de germinación fue detenido a los 3, 4 y 5 días, respectivamente, generando así tres lotes de malta verde con el objetivo de compararlos posteriormente y seleccionar el lote con mayor poder diastásico.



Figura 19: Grano de maíz germinado

Para la obtención de malta base, la malta verde fue sometida a un proceso de secado en un horno de convección HCU (Fig. 20) marca San Son (México), mientras que para las maltas especiales se aplicó un tostado controlado. Las condiciones específicas de tiempo y temperatura empleadas se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: Condiciones de secado y tostado para malta de maíz

MALTA BASE		MALTA CARAMELO		MALTA NEGRA	
24 h	55°C	1 h	55°C	1 h	55°C
		45 min.	180°C	45 min.	180°C
				20 min.	220°C



Figura 20: Horno de convección HCU

Se llevaron a cabo diversas pruebas de tostado con el objetivo de determinar las condiciones adecuadas para que las maltas obtenidas a partir de maíz cacahuazintle adquirieran una coloración y características visuales similares a las maltas caramelo y negra de cebada, comúnmente utilizadas en la elaboración de cervezas tipo Stout.

3.2 ELABORACIÓN DE CERVEZA STOUT DE MAIZ CACAHUAZINTLE

Una vez obtenidas las maltas base y especiales, se procedió a la elaboración de dos lotes de 20 litros de cerveza Ale tipo Stout (por triplicado).

Los lotes se diferenciaron por la adición del ingrediente funcional:

- Lote 1 (L1): cerveza Stout elaborada sin adición de chile ancho (control).
- Lote 2 (L2): cerveza Stout elaborada con adición de chile ancho.

Ambos lotes se formularon siguiendo una receta estandarizada. La composición específica de ingredientes y proporciones utilizadas en su elaboración se presenta en la Tabla 4.

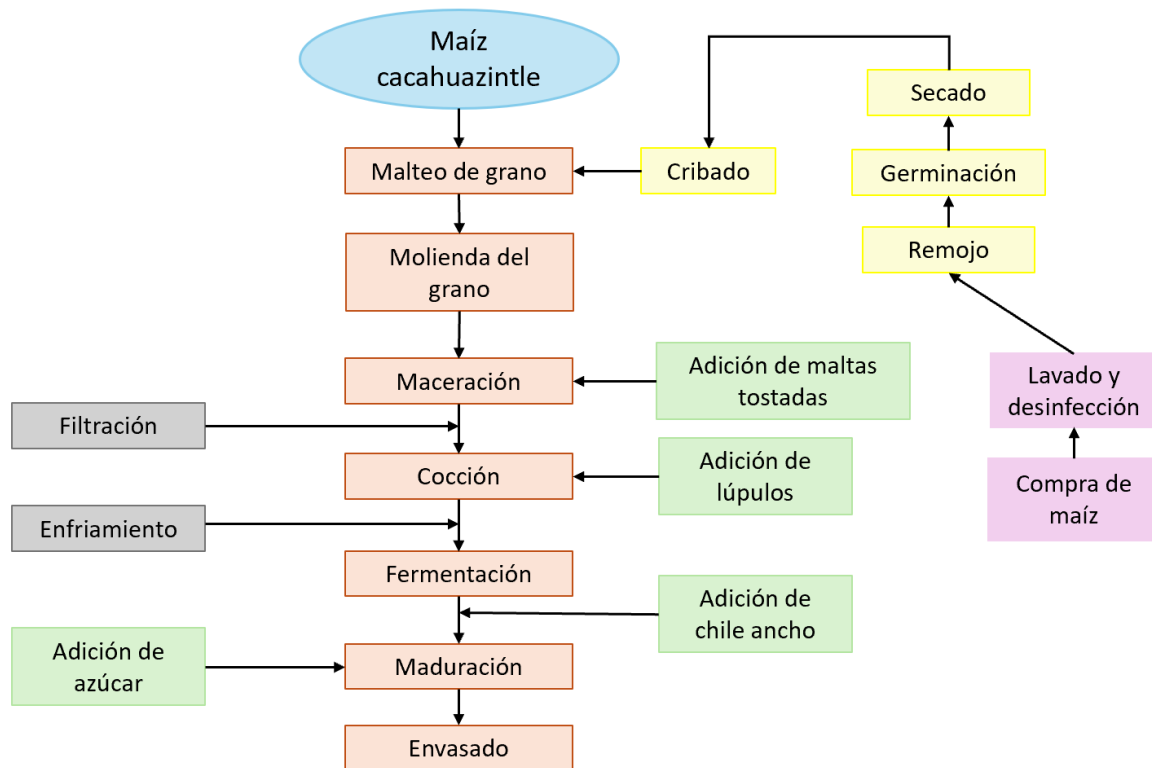
Tabla 4: Ingredientes cerveza Stout con chile ancho.

INGREDIENTE	CANTIDAD
Malta base	85%
Malta caramelo	10%
Malta negra	5%
Hojuelas de avena	5%
Lúpulo Magnum	30 g
Lúpulo Cascade	30g
Chile ancho	1%

Además de estos ingredientes, se utilizaron 11.6 g de levadura Safale S-04, marca Fermentis (Francia), ya que es una levadura Ale de rápida fermentación que genera un sedimento muy compacto y deja cervezas brillantes y muy claras (HazChela, n.e.). Adicional a esto, se agregaron 2 g de clarificante marca Whirlfloc para facilitar la sedimentación y obtener una cerveza más limpia.

En el Diagrama 2, se muestra el proceso que se siguió para la elaboración de los dos lotes de cerveza.

Diagrama 2: Proceso de elaboración de cerveza Stout de maíz cacahuazintle



En la etapa de molienda, se utilizó un molino de discos de piedra estriados (Fig. 21), para obtener una molienda media del grano y poder pasar a la etapa de maceración.

Figura 21: Molino de discos de piedra estriados



Para la etapa de maceración se siguió el tratamiento para maíces pigmentados propuesto por Hernández-Carapia, en 2019, ya que usando este tratamiento reportó una mayor concentración de grados brix al final del proceso; esta condición resulta ideal para la producción de cervezas con mayor contenido de azúcares fermentables, lo cual favorece una mayor graduación alcohólica, característica distintiva del estilo Stout.

Las condiciones se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Condiciones de maceración Hernández-Carapia, 2019

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)
40	10
50	10
64	30
70	30
76	2

Después de la etapa de maceración, el mosto fue sometido a cocción durante 60 minutos. Durante esta fase se realizaron las adiciones de lúpulo: la variedad Magnum se incorporó a los 15 minutos de haber iniciado el hervor, con el objetivo de aportar amargor, mientras que la variedad Cascade se añadió a los 45 minutos, principalmente para contribuir al perfil aromático de la cerveza.

La fermentación se llevó a cabo en garrafones de vidrio con capacidad de 20 litros (Fig. 22), se colocó el mosto amargo se inoculó con la levadura previamente activada y se cerró con un airlock, ya que su función principal es permitir la salida del dióxido de carbono (CO₂) generado durante la fermentación, sin dejar que entre oxígeno ni contaminantes del ambiente al fermentador. Esta fermentación tuvo una duración de 7 días a temperatura ambiente (18 - 22°C).



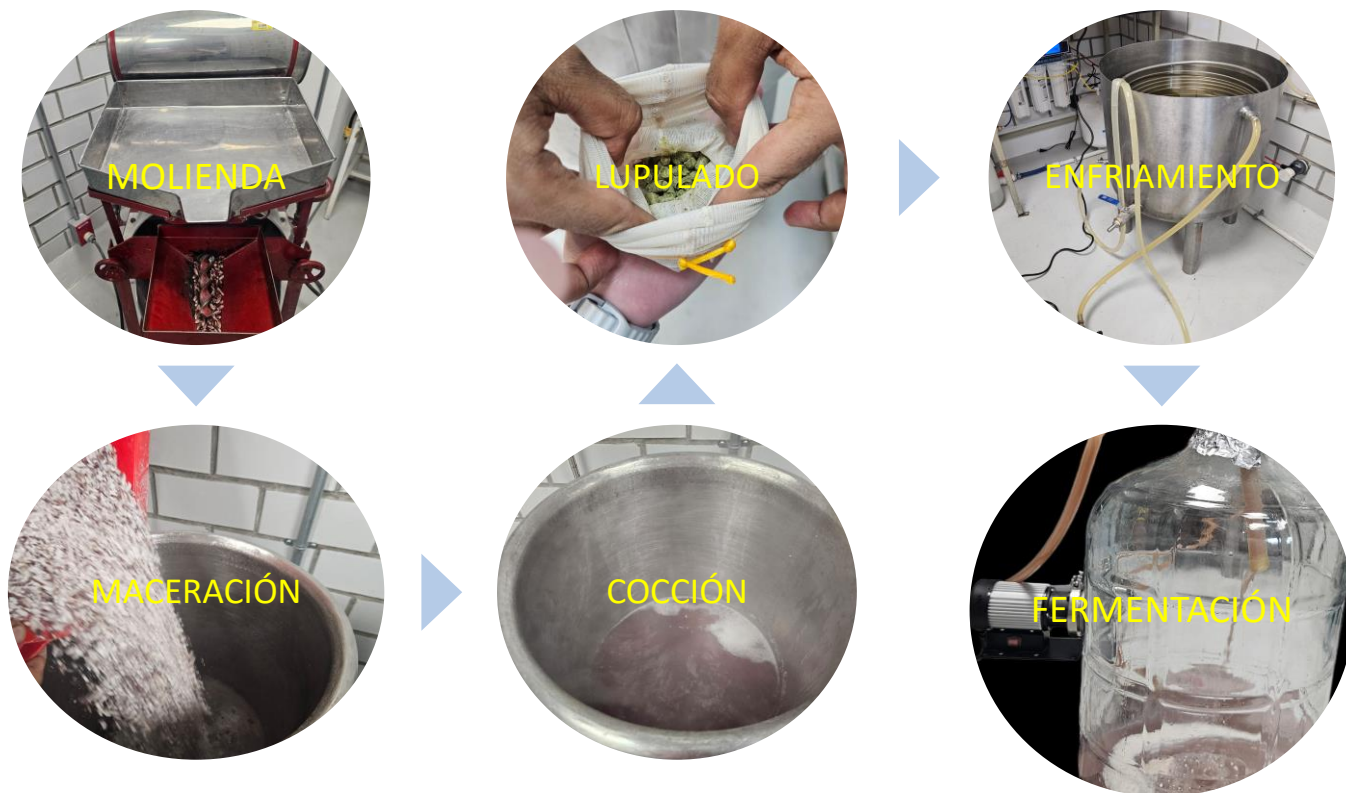
Figura 22: Fermentador cerveza Stout

Una vez finalizada esta etapa, se procedió a la maduración. Para el lote experimental con adjunto, se realizó una adición en frío (*dry hopping*) del 1% en peso de chile ancho previamente lavado, tostado y cortado en trozos, el cual fue colocado dentro de una bolsa de malla ultrafina para evitar que dejará residuos sólidos en suspensión. Esta malla se mantuvo durante dos días de maduración y después se retiró.

Posteriormente, se llevó a cabo una segunda etapa de maduración en botella para ambos lotes, en la cual se adicionó 7 g/L de sacarosa a la cerveza verde para fungir como fuente de carbonatación natural, y una vez mezclada, se procedió al embotellado del producto final.

En el Diagrama 3 se muestra dicho proceso.

Diagrama 3: Proceso de elaboración de cerveza artesanal



3.3 ANALISIS FISICOQUÍMICOS

A continuación, se presenta el diagrama general que se siguió para los análisis fisicoquímicos de las maltas y las cervezas elaboradas (Diagrama 4).

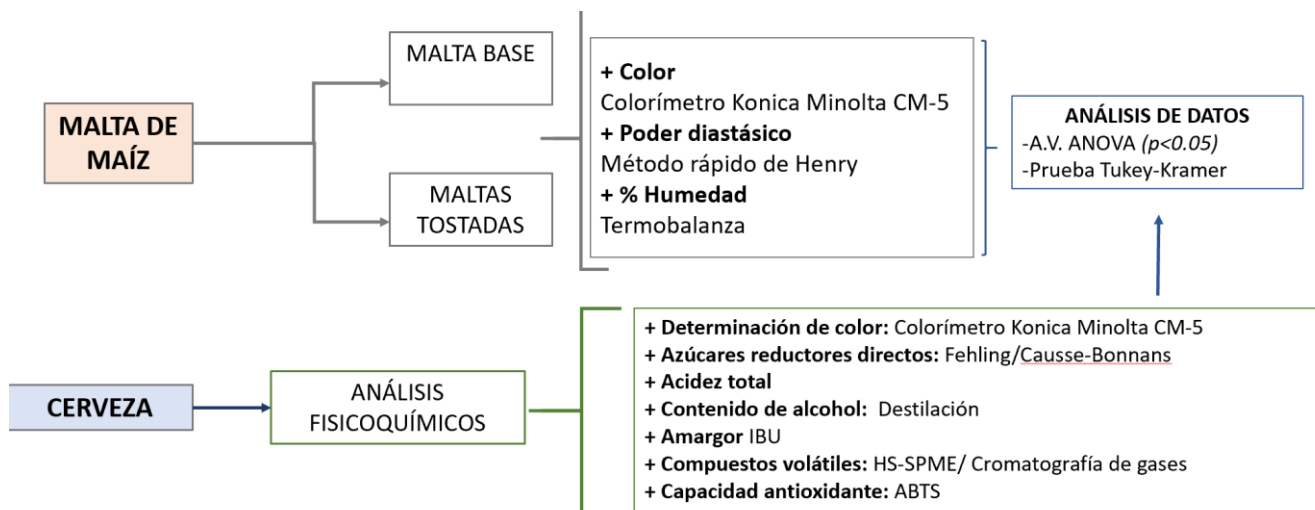


Diagrama 4: Análisis fisicoquímicos realizados

3.3.1 ANÁLISIS DE LA MALTA

Determinación de color

La determinación del color de la malta se realizó mediante el colorímetro Konica Minolta (Japón) CM-5, con el cual se obtiene las variables: luminosidad (L^* , 0%= blanco, 100%= negro), a^* (verde en valores negativos y rojo en valores positivos), y b^* (amarillo en valores positivos y azul en valores negativos). Se realizaron 6 mediciones para cada malta.

A partir de a^* y b^* , y con ayuda de las ecuaciones que se muestran a continuación, se calculó el ángulo de tono o Hue (h°) que denota el tipo de color observado, y el Croma (C^*) que indica la saturación del color de las maltas (Salinas et al., 2021).

$$Hue (h) = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad Croma (C^*) = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}}$$

Finalmente, con ayuda del software ColorDesigner se hizo la conversión de las variables L^* , a^* y b^* en formato hexadecimal, este formato es una forma de representar los colores utilizando una combinación de números y letras que van desde 0 hasta 9 y de A hasta F. El formato hexadecimal se compone de 6 caracteres: los primeros dos representan la cantidad de rojo en el color, los siguientes dos representan la cantidad de verde y los últimos dos representan la cantidad de azul. Cada uno de estos valores puede oscilar entre 00 y FF, donde 00 representa la ausencia del color y FF representa la máxima intensidad. A cada código se le atribuye un color diferente (Nelkodev, 2024).

Determinación de poder diastásico

Para esta determinación, se utilizó el Método de Henry (Henry R.J., 1984), con modificaciones (Hernández M.A., 2021). Se analizaron las maltas que se sometieron a tres, cuatro y cinco días de germinación.

Reactivos:

- 1) Disolución de almidón al 2% p/v.
- 2) Hidróxido de sodio 0.5 M.
- 3) P-hidroxibenzohidrazida (PAHBAH)
- 4) Hidróxido de amonio 6 mM

Estos reactivos se prepararon tal y como está reportado por Henry (1984).

El análisis se divide en tres secciones:

- a) Extracción de enzimas: Se molieron 10 g de malta de maíz en un molino manual de discos estriados, el resultado de la moliendo se pasó a través de un tamiz del no. 20 (0.84 mm). Una vez tamizada, se pesaron 0.250 g de esta malta directamente en un tubo de plástico para centrífuga, se añadieron 5 ml de hidróxido de amonio 6 mM y se agitó suavemente de forma manual. Esta mezcla se incubó por 10 min en un baño de agua a 25 °C y posteriormente se centrifugó por 3 min a máxima velocidad.

- b) Diastásis: Se tomaron 0.2 ml del extracto de enzimas y se añadieron a un tubo de vidrio de 30 ml que contenía 20 ml de disolución de almidón soluble al 2% p/v, la cual fue tamponada a un pH de 4.6. Se incubó por un periodo de 10 min en un baño de agua a 20 °C para que se llevara a cabo la digestión del almidón, la cual se detuvo tras este periodo de tiempo mediante la adición de 1.2 ml de hidróxido de sodio 0.5 M.
- c) Preparación de la solución blanco: Para la preparación de la solución blanco, se añadieron 1.2 ml de hidróxido de sodio 0.5 M a un tubo de vidrio que contenía 0.2 ml del extracto de enzimas, se agitó ligeramente, y después se añadieron los 20 ml de la disolución de almidón soluble. Esta solución blanco fue tratada de la misma forma que se describió para los demás tubos en la sección.
- d) Determinación de azúcares reductores: En un tubo de vidrio Pirex de 20 ml que contenía 5 ml de solución PAHBAH al 0.5%, se añadió 0.2 ml de la solución digerida de almidón, se mezcló con ayuda de un vórtex e inmediatamente se introdujo en un baño de agua hirviendo por un tiempo de 4 minutos. Al cabo de este lapso, el tubo se introdujo en un baño de agua a 20 °C en donde permaneció por un periodo de 10 min. Posteriormente, se añadieron 10 ml de agua destilada, y se mezcló con ayuda de un vórtex. La solución blanco fue tratada de la misma forma. Finalmente, se midió la absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro y se calculó la cantidad de azúcares reductores con ayuda de una curva de calibración de dextrosa.

El poder diastásico obtenido mediante este método se reportó como g de dextrosa/L.

Determinación de porcentaje de humedad

Esta determinación se realizó de acuerdo a la NMX-F-428-1982 ALIMENTOS - DETERMINACION DE HUMEDAD (MÉTODO RÁPIDO DE LA TERMOBALANZA) en una termobalanza marca Ohaus (USA) modelo MB200.

Se colocaron 10 g de cada una de las muestras de manera uniforme en el platillo de la termobalanza, esta se programó a 150°C por 15 minutos y finalmente se bajó la tapa para que comenzara a funcionar el equipo. Después de pasado el tiempo programado, se tomó la lectura. Se realizaron tres mediciones para cada una de las maltas.

3.3.2 ANÁLISIS DE LA CERVEZA

Determinación de color

La determinación de color de la cerveza se realizó de la misma forma descrita para la malta.

Determinación de azúcares reductores directos

Se deja en reposo, durante 10 min, una alícuota de 10 ml de cerveza madura a la cual se le añadió 40 mg de subacetato de plomo y se aforó con agua destilada en un matraz volumétrico de 100 ml. La muestra se centrifugó a 2500 rpm durante 10 min en un agitador rotatorio, se separó el sobrenadante en un vaso de precipitados evitando suspender los sólidos y se colocó en una bureta de 50 ml, 10 ml del reactivo de Fehling y 20 ml de agua

destilada fueron depositados en un matraz Erlenmeyer con perlas de ebullición llevado a calentamiento, una vez iniciada la ebullición, la dilución se agregó gota a gota hasta alcanzar un color amarillo paja.

Para determinar el contenido de azúcares reductores directos, se sustituyó el volumen obtenido en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Azúcares} = \frac{F \times A \times 100}{a \times v}$$

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

El factor de Fehling también se determinó bajo las condiciones anteriores, pero utilizando una solución de 0.5g de dextrosa en 100 ml de agua destilada como solución titulante.

El contenido de azúcares reductores directos de las muestras se expresó en porcentaje, lo que corresponde a g de dextrosa por 100 ml de muestra (Método volumétrico cerveza-12 B: Lane-Eynon, ASBC, 2009).

Determinación de acidez total

Se agregaron 40 ml de muestra desgasificada mediante agitación en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se colocó sobre una parrilla con agitación, sumergiendo el electrodo en el vaso para posteriormente hacer una titulación con una disolución de Hidróxido de Sodio 0.1 N hasta que la muestra presente un pH de 8.2 (Método potenciométrico cerveza-8, ASBC, 2009).

La determinación de acidez total se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez total} = \frac{(V) \times (N) \times (eq)}{v} = \frac{g}{l} \text{ Ácido láctico}$$

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

Contenido de alcohol

En un matraz de destilación se colocaron 50 ml de cerveza desgasificada a 20°C, 50 ml de agua destilada y tres perlas de ebullición. Esta solución fue sometida a destilación a una velocidad uniforme. En un matraz aforado de 50 ml colocado en un baño de hielo, se colectaron directamente alrededor de 40 ml del destilado. Una vez colectado, este se mezcló bien, se ajustó la temperatura a 20°C y se llevó al aforo con agua destilada. Posteriormente, con el uso de un picnómetro se calculó la gravedad específica de esta solución hidroalcohólica y con ésta se determinó su contenido alcohólico mediante el uso de tablas. La gravedad específica se calculó con la siguiente fórmula:

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

El contenido alcohólico se determinó a partir de tablas (AOAC, 1995) (Método gravimétrico cerveza-4A: cerveza y destilado, ASBC, 2009).

Determinación de amargor

En tubos de centrifuga de 50 ml se colocaron 5 ml de muestra, 0.5 ml de HCl 3N y 10 ml de 2, 2, 4-trimetilpentano (iso-octano), esta mezcla se agitó durante 1 min en vortex y se centrifugó a 2500 rpm durante 10 minutos.

La fase orgánica se separó y se midió el valor de absorbancia contra un blanco de iso-octano a 275 nm en un espectrofotómetro. Los valores de unidades internacionales de amargor (IBU) se obtuvieron con la siguiente fórmula (Método cerveza-23A, ASBC, 2009).

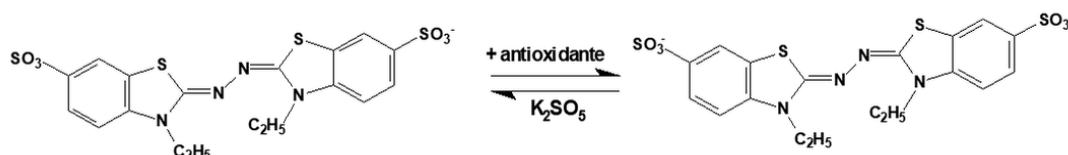
$$\text{Amargor (IBU)} = A_{275} \times 50$$

Determinación de la capacidad antioxidante (ABTS)

La generación del radical catión ABTS [ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)] constituye la base de uno de los métodos espectrofotométricos que se han aplicado a la medición de la actividad antioxidante total de soluciones de sustancias puras, mezclas acuosas y bebidas (Mareček et al., 2017). Cuando un antioxidante entra en contacto con el radical ABTS, el antioxidante dona un electrón o un átomo de hidrógeno al radical, reduciéndolo de su forma radical a su forma no radical (sin color), lo que resulta en una disminución en la absorbancia a 734 nm (Fig. 23).

La capacidad antioxidante se mide evaluando esta disminución de absorbancia.

Figura 23: Reacción ABTS/ antioxidante (Neplane, 2025)



El radical ABTS se obtuvo tras la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) (2.45 mM, concentración final) incubados a temperatura ambiente y en oscuridad durante 16 h.

Una vez formado el radical ABTS se diluyó con una solución buffer de acetatos hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0.7 (± 0.02) a 734 nm. Después, a 2.98 mL de la dilución del radical ABTS se le añadió 20 μ L de cerveza desgasificada. Se dejaron reaccionar los reactivos durante 10 minutos en oscuridad y posteriormente se midió la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro Thermo Spectronic (Biomate 3, USA).

Se utilizó Trolox como antioxidante de referencia. La curva de calibración se construyó en función del porcentaje de inhibición de radicales ABTS frente a la concentración en un

intervalo de 30 a 600 mg/L. La capacidad antioxidante de las muestras se expresó como mmol equivalentes de Trolox por litro (Mareček et al., 2017).

Determinación de compuestos volátiles por cromatografía de gases

• **EXTRACCIÓN**

Para realizar la extracción de los compuestos volátiles se colocaron 10 mL de cerveza desgasificada, 3 g de cloruro de sodio y una barra magnética dentro de un vial de 20 mL de vidrio ámbar para realizar la técnica de *Headspace*. Este fue tapado con una tapa metálica roscada provista con un septo PTFE azul y silicona blanco.

Una vez sellado, el vial fue introducido en un baño de agua a 30°C, al cual se le aplicó agitación constante y se dejó un tiempo de equilibrio de 10 minutos.

Después de cumplir el tiempo de equilibrio, se introdujo una fibra de Polidimetilsiloxano/Divinilbenceno/Carboxen (PDMS/DVB/CARBOXEN), la cual fue previamente acondicionada de acuerdo con lo indicado por el fabricante (Supleco, Bellafonte, Pennsylvania, USA). El tiempo de extracción fue de 60 minutos e inmediatamente fue desorbida durante 10 minutos en el inyector del cromatógrafo de gases.

Figura 24: Técnica Headspace



El experimento se muestra en la Figura 24.

• **ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO:**

Para el análisis se empleó un cromatógrafo de gases modelo HP 6890, con una columna no polar HP-5 (30 m x 0.32mm x 0.25 µm). La desorción de los compuestos volátiles se realizó bajo las siguientes condiciones (Tabla 6).

Tabla 6: Método utilizado en el análisis de compuestos volátiles, adaptado de Hernández M.A., 2021

Temperatura puerto de inyección	250°C
Temperatura de detector	250°C
Modo	Splitless
Tiempo de corrida total	40 minutos

Para la separación de los compuestos se empleó una rampa de temperatura que inició a 40 °C, mantenida durante un minuto, posteriormente se subió hasta 220 °C a una razón de 5 °C/min, temperatura que se mantuvo por 3 min.

Se empleó nitrógeno como gas acarreador a un flujo constante de 1 mL/min.

3.3.3 ANÁLISIS DEL CHILE ANCHO

Determinación de compuestos volátiles en chile ancho

El chile ancho fue adquirido en la Central de Abastos de la CDMX, a granel (Fig. 25).

Se molieron 100 g de chile ancho en 200 mL de agua, hasta obtener una mezcla líquida. Después, se tomaron 10 mL de dicha mezcla y se colocaron en el vial de vidrio para realizar la extracción y el análisis de los compuestos volátiles siguiendo el procedimiento descrito en el punto 2.



Figura 25: Chile ancho

3.4 ANÁLISIS SENSORIAL

A continuación, se muestra el proceso que se siguió para el análisis sensorial.

Diagrama 5: Trabajo de evaluación sensorial



Con las cervezas elaboradas (L1: cerveza Stout sin chile ancho y L2: cerveza Stout con chile ancho) y una cerveza comercial Stout marca Minerva que se usó como control, se realizó una prueba sensorial en el Laboratorio de Análisis Sensorial, R010, en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

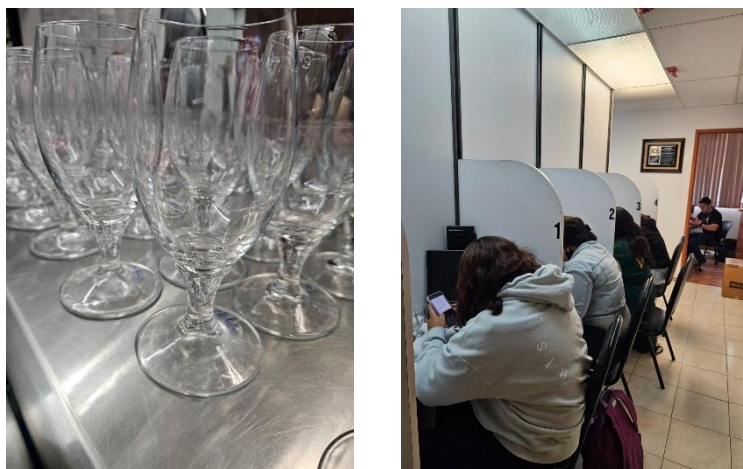


Figura 26: Prueba Sensorial

Los objetivos de la prueba fueron analizar el nivel de agrado que tienen los consumidores respecto a la apariencia, olor y sabor de tres muestras de cerveza; conocer si la cerveza Stout con chile cumple con las expectativas del consumidor en cuanto a picante, carbonatación, amargor y cuerpo; y establecer si se debe reformular el producto dependiendo del nivel de agrado obtenido.

Las muestras se codificaron de la siguiente manera:

- Maíz sin chile: Cerveza Stout sin chile
- Maíz con chile: Cerveza Stout con chile
- Minerva: Cerveza Stout de cebada comercial (Minerva)

La evaluación se realizó con un panel de 103 consumidores. A cada participante se le presentó un cuestionario (Anexo 1) que incluía tres tipos de pruebas sensoriales.

1. Prueba de Nivel de Agrado (Hedónica): Se evaluó el grado de agrado en una escala de 7 puntos (extremadamente agradable, ligeramente agradable, ni me gusta ni me disgusta, ligeramente desagradable y extremadamente desagradable) para los atributos de apariencia, olor, sabor y agrado general.

2. Prueba CATA (Check-All-That-Apply): Se utilizó para describir las características sensoriales percibidas por los consumidores en los atributos de apariencia, olor y sabor. Los descriptores que se utilizaron se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7: Descriptores para perfil CATA

APARIENCIA	OLOR	SABOR
Turbia	Floral	Frutas cítricas (toronja, limón, naranja)
Partículas suspendidas	Frutal	Hierbas

Persistencia de espuma	Herbal	Especiado (pimienta, clavo, canela)
Brillante	Especiado (pimienta, clavo, canela)	Maíz
Opaco	Maíz	Cereal
Color café obscuro	Cereal	Cebada
Color negro	Cebada	Chile
	Chile	Caramelo
	Caramelo	Mole
	Mole	Chocolate
	Chocolate	Café
	Café	Quemado
	Quemado	Vegetales cocidos
	Vegetales cocidos	Levadura
	Levadura	Alcohol
	Alcohol	Vinagre
	Vinagre	

Hernández-Mora., en 2019, estableció dichos descriptores con ayuda de un panel entrenado para cerveza, concluyó que estos son los que mejor pueden describir una cerveza, es por eso por lo que se seleccionaron para este trabajo. Es importante mencionar que todos los descriptores fueron explicados a los consumidores para evitar tener confusiones que puedan afectar la prueba.

3. Prueba JAR (Just-About-Right): Se aplicó para evaluar el nivel percibido de picante, carbonatación, amargor y cuerpo, usando una escala de 5 puntos (mucho más de lo que esperaba, un poco más de lo que esperaba, justo como lo esperaba, un poco menos de lo que esperaba y mucho más de lo que esperaba).

Las muestras fueron codificadas y presentadas en orden aleatorio para evitar sesgos. La prueba se realizó en condiciones controladas, asegurando la neutralidad del ambiente y evitando interferencias externas que pudieran afectar la percepción sensorial.

3.4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para determinar si existían diferencias significativas entre las muestras en los parámetros fisicoquímicos evaluados, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con un nivel de significancia de 0.05. Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar cuáles medias diferían entre sí. Esto se realizó con ayuda del software estadístico NCSS 2023.

Para la prueba CATA (*Check-All-That-Apply*), los datos fueron representados mediante una gráfica de araña que permitió visualizar la frecuencia de mención de los atributos sensoriales para cada muestra. Adicionalmente, se aplicó un Análisis Factorial de

Correspondencias (AFC) con el fin de explorar la relación entre los atributos seleccionados, las muestras y el agrado dado por los consumidores.

En la prueba de nivel de agrado, los resultados se evaluaron mediante una prueba no paramétrica de Friedman ($\alpha = 0.05$) para determinar diferencias significativas entre las muestras.

Para la prueba JAR (*Just-About-Right*), se realizó un análisis de penalidades (*Penalty Analysis*), que permitió cuantificar el impacto de las desviaciones respecto al nivel ideal de atributos como carbonatación, amargor, cuerpo y picor sobre el agrado general del consumidor.

Estos análisis estadísticos se efectuaron con un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$). Todos los datos se analizaron con el Software XLSTAT.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE LA MALTA

4.1.1 Determinación de color

Los resultados obtenidos de la medición de parámetros de color de las maltas se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Parámetros de color para maltas de maíz cacahuazintle

	L*	a*	b*	HUE	CROMA	COLOR
Malta base maíz	68.90± 2.45a	3.44±0.92a	27.47±0.58a	83.36± 0.46a	27.71± 0.59a	
Malta caramelo maíz	40.85±1.5c	9.35±0.23c	21.79±0.55c	66.78± 0.24c	23.71± 0.58c	
Malta negra maíz	2.12±0.02e	1.79±0.08e	2.28±0.08e	51.87± 1.15e	2.89± 0.1e	
Malta base cebada	56.25±0.41b	6.20±0.08b	24.54±0.25b	75.80± 0.31b	25.31± 0.23b	
Malta caramelo cebada	50.27±0.57d	8.19±0.14d	27.37±0.34d	73.34± 0.4d	28.57± 0.3d	
Malta negra cebada	2.08±0.01f	3.35±0.08f	4.55±0.31f	53.62± 1.89f	5.65± 0.27f	

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los estilos ($p < 0.05$) por el método de Tukey.

De acuerdo con los parámetros CIELAB presentados en la Tabla 8, se puede observar que la luminosidad (L*) disminuyó conforme aumentó la temperatura de los tratamientos térmicos realizados a las maltas, siendo 69.38 para la malta base, 40.83 para la malta caramelo y 2.12 para la negra, siendo más oscuros los colores. Los valores del ángulo de tono Hue (h) fueron de 82.61, 66.78 y 51.87, y los valores de Croma (C*) fueron de 27.71, 23.71 y 2.89 unidades CIELAB. El croma nos indica que tan vivo o puro es un color, y entre menor sea el número el color se inclina hacia los tonos gris. Los valores de HUE elevados en

la malta base de maíz (82.61°) y caramelo (66.78°) indican una tendencia hacia matices amarillentos y rojizos, respectivamente, mientras que la disminución drástica en HUE y CROMA en la malta negra de maíz (51.87°, 2.89) refleja la formación de pigmentos oscuros por reacciones de Maillard y carbonización parcial. En comparación con las maltas de cebada, las de maíz presentaron una luminosidad superior en la malta base, lo que sugiere un color más claro y brillante, y una saturación cromática menor en la malta negra, asociada con un perfil visual más suave y opaco. Estos resultados confirman que el maíz cacahuazintle desarrolla un color progresivo y equilibrado, sin tonalidades verdosas ni opacas, lo que puede atribuirse a su alto contenido de almidón y bajo contenido fenólico (Coghe et al., 2005; Martinez-Gomez et al., 2020).

En 2019, Hernández Y. trabajó con maltas tostadas de maíces pigmentados, a los cuales les midió los parámetros de L*, a*, b*, Hue y Croma, obteniendo resultados parecidos, conforme aumentaba la temperatura de tostado, disminuían los valores de L*, Hue y croma.

En la Figura 27, se observan los colores de cada una de las maltas de maíz cacahuazintle, donde se puede ver que cada vez se oscurecen más y esto se ve reflejado gracias a la disminución de la luminosidad.



Figura 27: Maltas de maíz cacahuazintle

4.1.2 Determinación de humedad

Se realizó una prueba de humedad para conocer la calidad del grano que se compró. De acuerdo al NORMA DEL CODEX PARA EL MAÍZ CODEX STAN 153-1985 (Codex Alimentarius Commission., n.d.), se establece que el porcentaje de humedad máximo debe ser de 15%, de acuerdo a la tabla 9, se obtuvo un resultado de 6.27% lo que nos indica que cumple con el control de calidad.

Tabla 9: Resultados de porcentaje de humedad

ETAPA	% HUMEDAD
Grano recibido	6.27 ± 0.12

Para las maltas especiales (Tabla 10), se decidió medir la humedad del grano al final del tratamiento térmico, obteniendo 1.2% para la malta caramelo y 0.77% para la malta negra. Este dato es de mucha utilidad para cuando se decida reproducir el experimento, se debe dejar fijo el parámetro tiempo/ temperatura para igualar el color en todos los lotes de cerveza producidos.

Es importante mencionar que, aunque estas maltas se maltearon, sólo se utilizan como adjunto para brindar el color y sabor característico a la cerveza Stout, ya que al someter este grano a altas temperaturas todas las enzimas disponibles en él se desnaturalizan por lo que no logra proporcionar azúcares fermentables durante la maceración (Baxter et al., 2001).

Tabla 10: Resultado de porcentajes de humedad

ETAPA	% HUMEDAD
Malta caramelo	1.20 ± 0.1
Malta negra	0.77 ± 0.06

4.1.3 Poder diastásico

El poder diastásico se determinó a partir del método de Henry, el cuál cuantifica la actividad total de las enzimas que participan en la hidrólisis del almidón durante la maceración, es decir, nos indica que tan efectiva es la malta para convertir el almidón en azúcares fermentables (Henry R.J., 1984).

Al ser un método colorimétrico, en la Tabla 11, se observan las absorbancias obtenidas al cabo de 3, 4 y 5 días de germinación del grano, siendo 0.06, 0.126 y 0.196 UA respectivamente. Con ayuda de la ecuación obtenida en la curva de calibración (Gráfica 14), se obtuvo la concentración de azúcares reductores para cada condición.

Tabla 11: Resultados de poder diastásico

CONDICIÓN	ABS	[Azúcares reductores] g dextrosa/l
3 días	0.060 ± 0.011	0.080
4 días	0.126 ± 0.005	0.406
5 días	0.196 ± 0.012	0.754

Se pudo observar que a mayor tiempo de germinación hay una mayor producción de azúcares reductores, esto se debe a que durante el tiempo de germinación se producen las enzimas responsables de la hidrólisis del almidón durante la maceración (Parker D.K., 2012).

En 2021, Hernández M.A., estudió el efecto del tiempo de germinación en maíces pigmentados y concluyó que el poder diastásico de las maltas de maíz presentó un incremento del tercer al séptimo día de germinación, seguido de un decremento en estos valores. Los datos obtenidos en esta determinación concuerdan con lo reportado por dicho autor.

En la Figura 28 se muestra el crecimiento de la acróspira al cabo de 3, 4 y 5 días. Se puede decir que a medida que esta crece, las enzimas en el grano también se activan, lo que genera que el poder diastásico aumente (Kraus T., 2012). Es por eso que se observa que el mayor crecimiento ocurrió a los 5 días; por ello, al saber que se obtendría el mayor poder diastásico, se optó por trabajar con un periodo de germinación de 5 días.



Figura 28: Granos germinados al día 3, 4 y 5 respectivamente

4.2 ANÁLISIS DE LA CERVEZA PRODUCIDA

4.2.1 Determinación de color

Tabla 12: Parámetros de color en cervezas Stout de maíz cacahuazintle

	L*	a*	b*	HUE	CROMA	COLOR
Stout sin chile (L1)	7.24±0.46a	2.30±0.22a	2.49±0.06a	47.35±3.33a	3.4± 0.11a	
Stout con chile (L2)	7.27±0.52a	2.78±0.28b	3.50±0.09b	51.64±3.34a	4.48± 0.13b	
Minerva Stout	7.27±0.10a	3.52±0.01c	3.85±0.04c	47.36±0.47a	5.19± 0.07c	

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los estilos ($p<0.05$) por el método de Tukey.

En la Tabla 12 se presentan los resultados de la lectura de las propiedades cromáticas de los lotes de cerveza Stout elaborados a partir de maltas de maíz cacahuazintle (malta base, caramelo y negra). La luminosidad (L*), al contrario de los valores para las maltas, no mostró diferencia significativa ($p<0.05$), con valores de 7.24 y 7.27, para el lote 1, 2 respectivamente. Cuando existe una disminución se debe principalmente a reacciones de pardeamiento no enzimático, como las reacciones de Maillard y la caramelización, que generan compuestos coloreados denominados melanoidinas, así como a la oxidación de compuestos fenólicos presentes en el grano (Martins et al., 2000; Parker D.K., 2012). A

medida que aumenta la temperatura o el tiempo de exposición al calor, la formación de estos compuestos se intensifica, oscureciendo la superficie del grano y reduciendo su capacidad de reflejar luz. Además, la desnaturalización de proteínas y la degradación de pigmentos naturales contribuyen a la disminución del valor de luminosidad, lo que ha sido ampliamente documentado en estudios sobre tostado de malta, café y cereales (Duarte et al., 2005). Los valores del tono Hue (h) fueron de 47.35 y 51.64, y los valores de Croma (C*) fueron de 3.4 y 4.48 unidades CIELAB. Se observó que no existen diferencias significativas en el Hue ($p\text{-value} < 0.05$), por lo que no se nota diferencia visible en el color.

Se analizó una cerveza Stout de una marca comercial, Minerva, con el objetivo de comparar la que se elaboró con el laboratorio (cien por ciento de maíz cacahuazintle). Se obtuvieron valores de L^* de 7.27, Hue de 47.36 y Croma de 5.19. Aunque se encontraron diferencias significativas entre los valores medidos de las 3 cervezas, visualmente no se aprecia una diferencia notable, ya que el color de las cervezas de maíz es muy similar al de referencia, sumado a la limitada capacidad del ojo humano para distinguir variaciones mínimas en la cromaticidad.

En la Figura 29, se muestran las cervezas obtenidas en este trabajo (L1 y L2).



Figura 29: Lotes de cerveza Stout de maíz cacahuazintle (L1 y L2)

4.2.2 Determinaciones fisicoquímicas

A continuación, se presentan y describen los resultados fisicoquímicos de las cervezas realizadas.

Tabla 13: Parámetros fisicoquímicos de la cerveza producida

LOTE	pH	Acidez total (% ác. Láctico)	%ARD (g dextrosa/100ml)	%Alc. Vol.	Amargor IBU
1	4.31 ± 0.1b	2.29 ± 0.05b	2.15 ± 0.01a	4.81 ± 0.04a	31.22 ± 0.25a
2	4.06 ± 0.05c	2.57 ± 0.01c	2.12 ± 0.02a	4.58 ± 0.34a	31.12 ± 0.16a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los estilos ($p < 0.05$) por el método de Tukey.

En estos resultados, se observó que el contenido de etanol, la acidez total y el pH de los dos lotes, se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la norma NOM-199-SCFI-2017, que son de 2-20 % v/v para etanol, 10 g/l para la acidez total y 2.5-5 para pH (Secretaría de Economía, 2018).

Para el valor de pH, podemos observar que hubo diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) entre los lotes evaluados. Ambos se elaboraron con la misma base de formulación; sin embargo, el lote 2 incluyó la adición de chile ancho, lo que explica la ligera acidificación respecto del lote 1, que no lo contenía. En cervezas de cebada maduras, han sido reportados valores de pH entre 3.7 y 4.5, valores inferiores pueden afectar el sabor de la cerveza, con notas de acidez desagradables, mientras que a valores mayores a 4.5 no se garantiza la inhibición de microorganismos patógenos (Ray Daniels, 2000). Gómez en 2016, Flores en 2018 y Hernández en 2019, reportan valores de pH entre 4.5 y 4.8 para cervezas de maíz azul y de 3.8 a 4.7 en cervezas de maíz rojo, respectivamente. Los valores obtenidos en este análisis se encuentran dentro del rango antes mencionado.

Respecto a los valores de acidez total se encontraron valores de 2.29 y 2.57 g de ácido láctico por litro para el lote 1 y 2 respectivamente. Estos valores cumplen con el intervalo permisible establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM 199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba (Tabla 14), que establece 10 g de ácido láctico por litro como máximo.

Tabla 14: Especificaciones de cerveza (NOM 199-SCFI-2017)

ESPECIFICACIONES	LÍMITES	
	Mínimo	Máximo
Contenido de alcohol a 20°C (% Alc. Vol.)	2	20
Metanol (mg/100 ml de alcohol anhidro)	-	300
Acidez Total (como ácido láctico en g/l)	-	10
pH	2,5	5
Plomo (mg/l)	0	0,5
Arsénico (mg/l)	0	0,5

El contenido de azúcares reductores directos se encontró entre 2.12 y 2.15 g de glucosa en 100 ml de cerveza, al compararlos con los reportados por Hernández M. en 2021 en una cerveza Stout de maíz rojo, con valores de aproximadamente 2.08 g de glucosa en 100 ml, se observa que no hay diferencia significativa ($p\text{-value}>0.05$). Es importante mencionar que mientras más bajo sea este valor es mejor, ya que altas concentraciones dan indicio de una fermentación incompleta, además de que afectan tanto el sabor como la calidad, ya que son una fuente de carbono de fácil aprovechamiento (Gómez-Linton D., 2015).

En cuanto al contenido alcohólico, la Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, establece un rango permisible en cerveza de entre el 2% al 20% Alc. Vol. (Tabla 14), los valores de este parámetro fueron de 4.81% y 4.58% Alc. Vol., para el lote uno y dos respectivamente, encontrándose dentro del rango establecido por norma. No se encontró diferencia significativa ($p\text{-value}<0.05$) entre los lotes ya que se siguió la misma receta y se utilizó el mismo grano. Flores en 2018 y Gómez en 2016, reportaron valores de contenido alcohólico de entre 1.4% a 1.7% Alc. Vol. en cervezas de maíz azul y de 2.33% a 4.5% Alc. Vol. en cervezas de maíz rojo, respectivamente. Podemos observar que con las condiciones de germinación y la variedad de maíz cacahuazintle utilizado en este proyecto se superaron estos valores y de acuerdo a la BJCP, la cerveza Stout debe tener un contenido alcohólico de 4 a 12% Alc.Vol., también cumple con este parámetro.

Finalmente, la presencia de atributos como el amargor y notas cítricas en la cerveza está fuertemente relacionada con la composición química del lúpulo, la cantidad añadida, el tipo de lúpulo y el momento de la dosificación del lúpulo al mosto. Convencionalmente, el amargor de la cerveza se consigue añadiendo lúpulo al mosto caliente al comienzo de la ebullición. La razón principal para una adición de lúpulo en este momento es asociada al que se produzca reacción térmica de los ácidos amargos del lúpulo (α -ácidos) en amargos de sabor (iso- α -ácidos) y solubles en agua; el rendimiento de iso- α -ácidos aumenta con el tiempo de ebullición, y la mayoría de los volátiles se pierde por evaporación (Castorena-García J.H. et al., 2020). Las unidades utilizadas para medir el grado de amargor en una cerveza son conocidas como IBU (*International Bitterness Units*, por sus siglas en inglés), estos son una medida de concentración que se expresa en miligramos de iso- α -ácidos contenidos en un litro de mosto o cerveza provenientes de la cocción de lúpulo. La escala IBU varía típicamente entre 0 y 100; un número más bajo indica menos amargor y un número más alto, un amargor más intenso.

En la Tabla 13, se presentan valores de IBU's de 31.22 y 31.12 para los lotes 1 y 2, se observó que no existen diferencias significativas ($p\text{-value}<0.05$), esto tiene sentido ya que se utilizó la misma receta y los mismos lúpulos, en las mismas concentraciones y tiempos. De acuerdo a la BJCP, una cerveza Stout debe contener entre 30 y 45 IBU's, por lo que las cervezas elaboradas en el laboratorio cumplen con este parámetro.

4.2.3 Capacidad antioxidante (ABTS)

A continuación, se presenta la capacidad antioxidante de las cervezas producidas:

Tabla 15: Capacidad antioxidante obtenida

Cerveza CON CHILE	Cerveza SIN CHILE
4.76 ± 0.017^a mmol ET/l	4.69 ± 0.005^b mmol ET/l

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los estilos ($p < 0.05$) por el método de Tukey.

La cerveza con chile ancho presentó una capacidad antioxidante de 4.76 ± 0.017 mmol de equivalentes Trolox/l de cerveza, y la que no contenía de 4.69 ± 0.005 mmol de equivalentes Trolox/l de cerveza. Existe diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) entre ambos lotes y puede deberse a la presencia de chile ancho ya que contiene capsantina, el compuesto responsable de que los chiles adquieran el color rojo en la maduración y que brinda actividad antioxidante (Gómez-Linton, 2015).

Flores en 2018, reportó la capacidad antioxidante de cervezas de maíz con valores de 2.07-3.31 mmol equivalentes de Trolox por litro, valores por debajo a los obtenidos en este trabajo, esta variación se debe a que en la formulación de las cervezas Stout se utilizan maltas especiales (tostadas) que contienen una mayor cantidad de melanoidinas producidas por las reacciones de Maillard (Koren et al., 2019).

Otro ingrediente que suma a la capacidad antioxidante de la cerveza es el lúpulo, ya que contiene compuestos bioactivos, entre los que destacan los flavonoides como la xantohumol y la isoxantohumol (Fig. 30); ácidos fenólicos, como el ácido cafeico y el ácido ferúlico, resinas y aceites esenciales. Estos compuestos tienen la capacidad de neutralizar los radicales libres, lo que ayuda a reducir el estrés oxidativo y prevenir el daño celular (Kolenc et al., 2023).

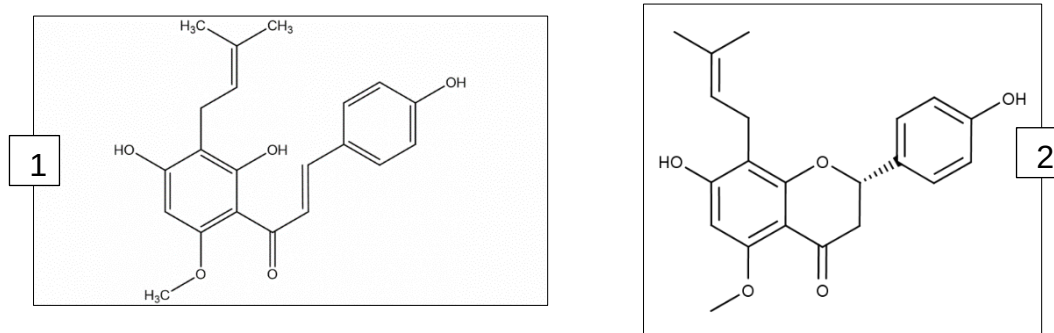


Figura 30: Moléculas de xantohumol (1) y isoxantohumol (2) (CymitQuímica, 2025)

Yu et al., en 2023, midió la capacidad antioxidante de cervezas elaboradas con cebada, obteniendo valores para cervezas oscuras de 6.40 ± 0.13 mmol eq. Trolox/l, superiores a los obtenidos en cerveza de maíz.

4.2.4 Compuestos volátiles

La identificación de los compuestos volátiles se realizó utilizando como base los datos obtenidos por Hernández Miguel Ángel en 2021, quién hizo la inyección de estándares bajo el mismo método cromatográfico descrito en Tabla 6, sección “Determinación de compuestos volátiles”.

Tabla 16: Concentraciones y tiempos de retención de los estándares empleados por Hernández M.A. en 2021

Estándar	Concentración (mg/L)	Tiempo de retención
Acetaldehído	85.50	2.83
DMS	3.52	3.21
Diacetilo	93.40	3.57
3-metil-1-butanol	17.88	5.39
2-metil-1-butanol	18.02	5.45
4-metil-2-pentanol	10.96	5.82
Hexanal	5.25	6.73
Isobutirato de etilo	5.79	5.86
Butirato de etilo	0.61	6.78
Lactato de etilo	192.60	7.21
4-metil-1-pentanol	10.90	7.71
2-metilbutirato de etilo	0.60	8.00
Acetato de isoamilo	0.58	8.68
2-heptanona	0.43	9.17
5-metilfurfural	3.08	11.23
Dimetil trisulfuro	0.30	11.41
Mirceno	0.022	11.96
Hexanoato de etilo	0.52	12.20
Octanal	0.027	12.32
1-Octanol	3.28	14.29
Guayacol	97.10	14.93
Linalool	2.69	15.17
Nonanal	0.093	15.29
2-Feniletanol	57.00	15.61
Octanoato de etilo	0.61	17.93
Diclorofenol	0.62	18.13
Geraniol	0.54	19.49
Linalil acetato	0.03	19.60
Nonanoato de etilo	0.032	20.58
γ -nonalactona	3.01	22.39
Cinamato de etilo	0.18	25.01

Se hizo la inyección de la cerveza Stout con chile, la cerveza Stout sin chile ancho y el chile ancho. Los cromatogramas y la identificación de compuestos se muestran a continuación (Figura 31, 32 Y 33).

En general, en la cerveza con chile se encontraron los mismos 15 compuestos que en la cerveza sin chile.

En estos cromatogramas se pudieron identificar, utilizando como referencia los tiempos de retención reportados en la Tabla 15, 15 diferentes compuestos: acetaldehído, etanol, 3-metil-1-butanol, 2-metil-1-butanol-4-metil-2-pentanol, butirato de etilo, lactato de etilo, 4-metil-1-pentanol, 2-heptanona, mirceno, hexanoato de etilo, 1-octanol, linalool, octanoato de etilo y nonanoato de etilo.

Hay dos factores principales que contribuyen a la concentración de compuestos volátiles en la cerveza, la malta y el lúpulo, pero muchos de los volátiles responsables del sabor de la cerveza son subproductos del metabolismo de la levadura (Gasiński et al., 2020).

En este trabajo, los compuestos identificados pertenecen principalmente al grupo de los aldehídos, alcoholes superiores, ésteres y cetonas que corresponde a lo reportado en la literatura.

Los alcoholes superiores, incluyendo etanol, 3-metil-1-butanol, 2-metil-1-butanol, 4-metil-2-pentanol, 4-metil-1-pentanol y 1-octanol, se forman por la vía de Ehrlich a partir de aminoácidos, generando aromas cálidos, frutales o especiados dependiendo de su concentración. Olaniran et al. (2017) resaltan que la cepa de levadura, la temperatura, oxigenación y los nutrientes juegan un papel clave en su producción. Además, Dack et al., (2017) encontraron que los productos derivados de la reacción de Maillard presentes en maltas oscuras también estimulan la síntesis de estos alcoholes, reforzando el carácter robusto de la cerveza.

En la categoría de ésteres, se detectaron compuestos como butirato de etilo, lactato de etilo, hexanoato de etilo, octanoato de etilo y nonanoato de etilo, conocidos por aportar notas frutales (plátano, piña, manzana). Su síntesis está regulada por la actividad esterasa de la levadura y depende del tipo de cepa y las condiciones fermentativas (Olaniran et al., 2017; E. J. Pires et al., 2014). Aunque los productos de Maillard pueden inhibir la formación de ésteres (Dack et al., 2017), Paszkot et al., (2023) demostraron que el perfil de ésteres varía significativamente según la cepa utilizada, siendo menos expresivos en cervezas oscuras en comparación con cervezas claras, lo cual coincide con nuestros resultados.

El acetaldehído es uno de los ingredientes clave de sabor en las cervezas, cuyo efecto en la calidad de la cerveza depende de su concentración, puede impartir notas de manzana verde o un aroma desagradable y penetrante a la cerveza. Este compuesto es común al inicio de la fermentación y varía según la cepa de levadura y el entorno fermentativo (Paszkot et al., 2023). En este trabajo, la levadura utilizada, Saf-Ale S-04 (Fermentis), se utilizó ya que produce notas frutales y florales equilibradas.

También se identificó la 2-heptanona, una cetona que puede conferir notas afrutadas, lácticas o a nuez. Aunque está presente en bajas concentraciones, su bajo umbral olfativo hace que contribuya perceptiblemente al aroma.

En cuanto a los terpenos, se detectaron mirceno y linalool, estos compuestos son los más odoríferos del lúpulo, aportando notas herbales y florales (Steinhaus et al., 2000).

Figura 31: Cromatograma completo de cerveza Stout con chile

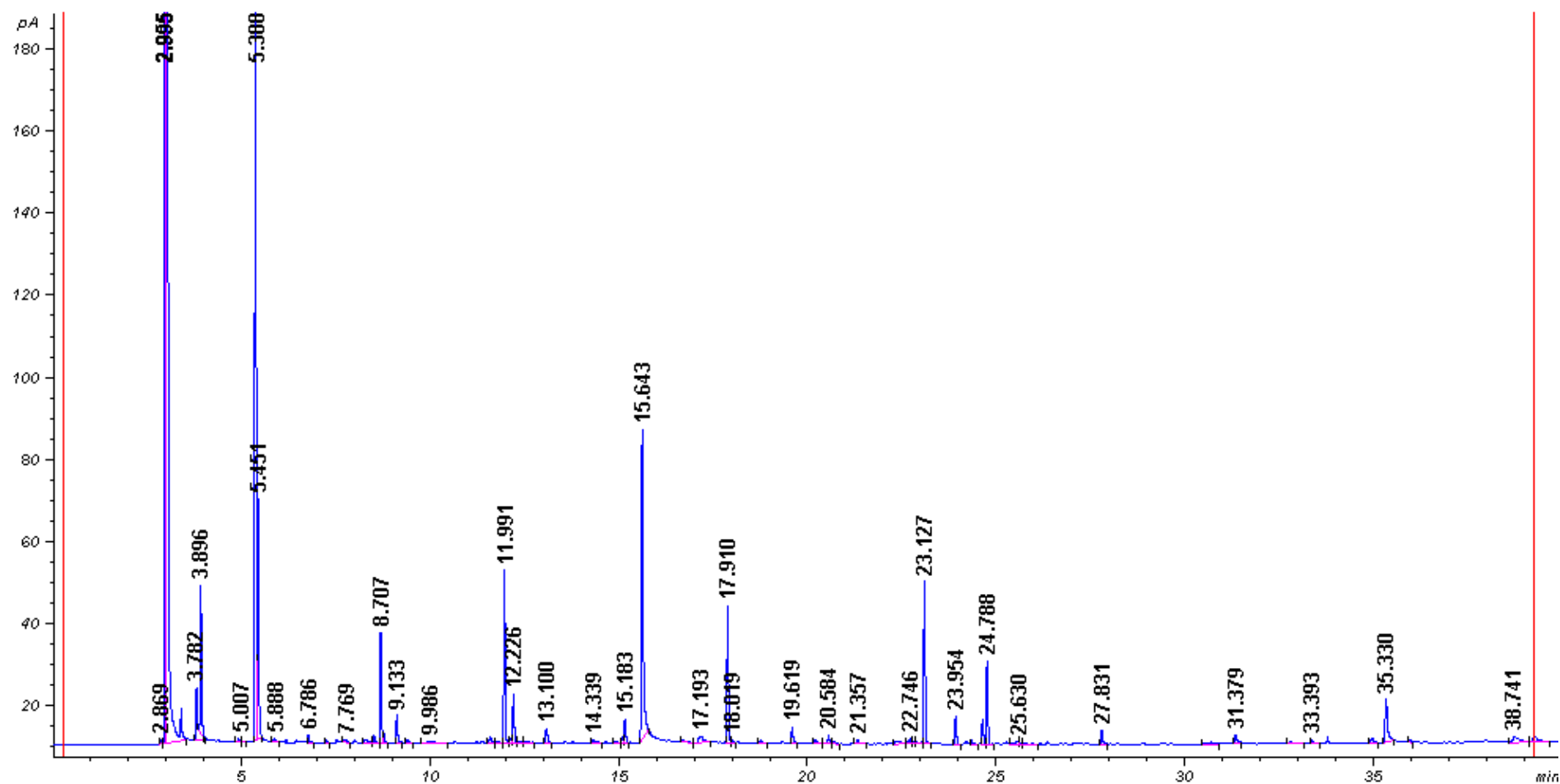


Figura 32: Cromatograma completo de cerveza Stout sin chile ancho

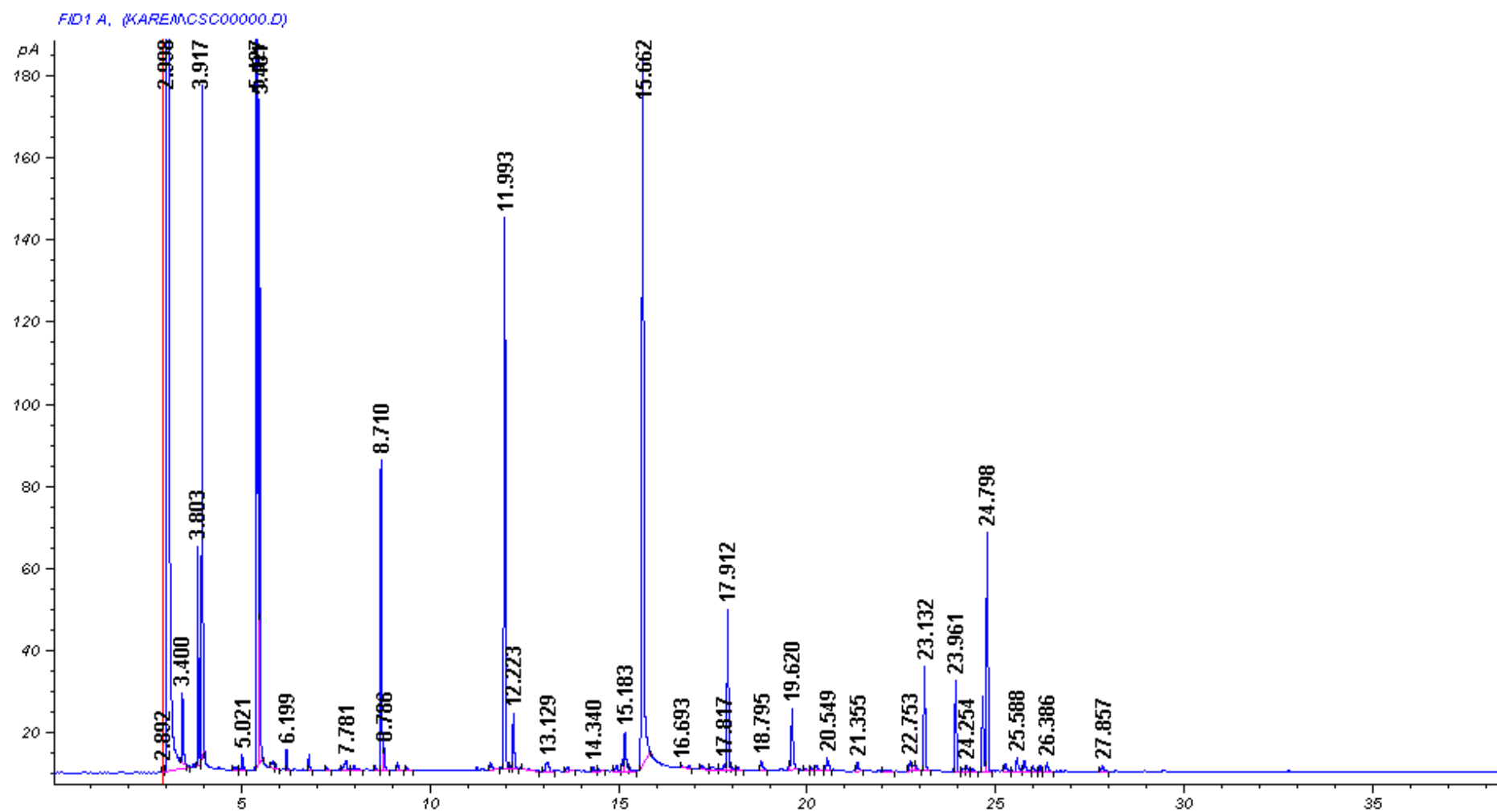


Figura 33: Cromatograma completo chile ancho

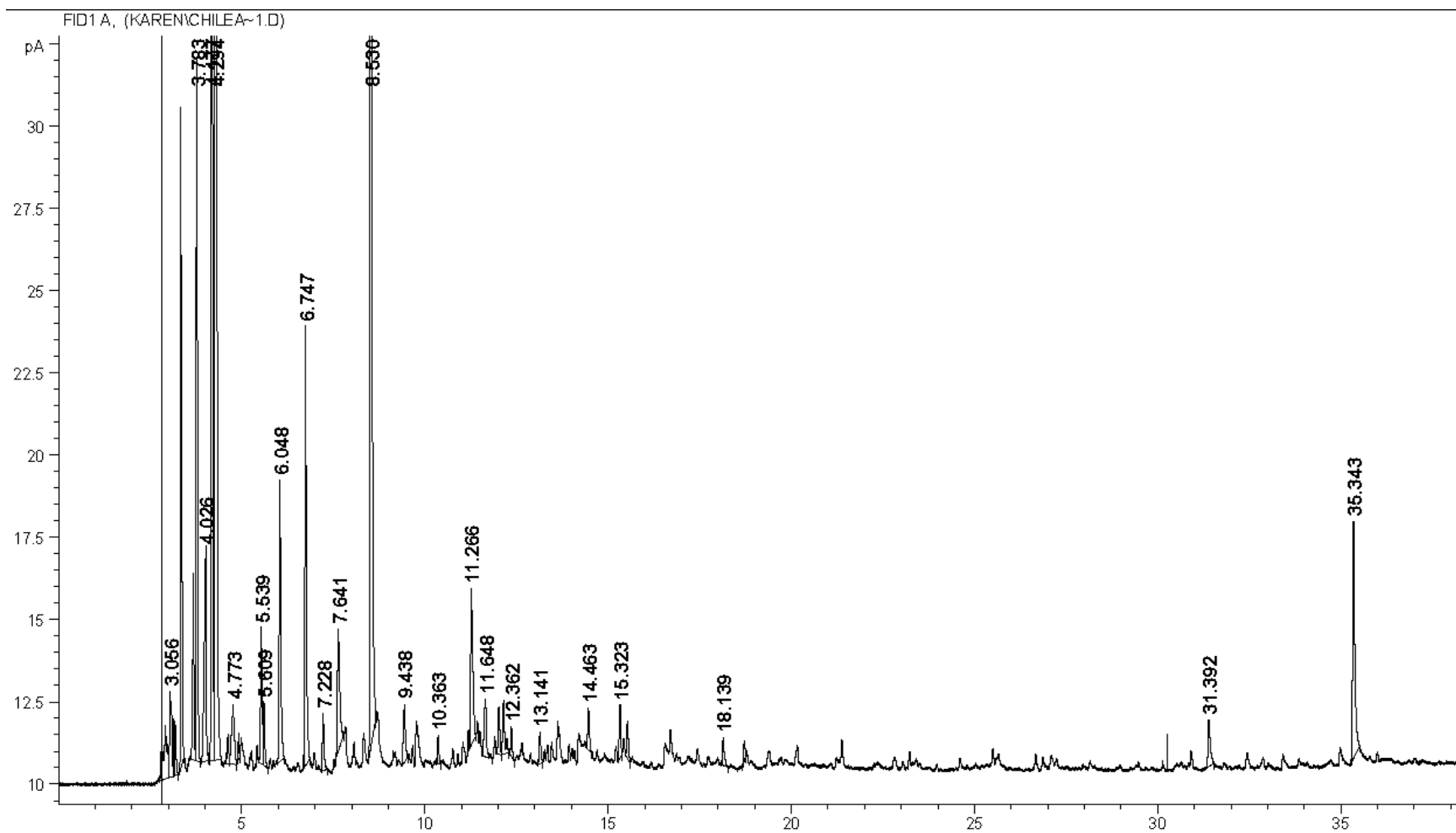


Figura 34: Parte 1 de cromatograma cerveza Stout sin chile e identificación de compuestos

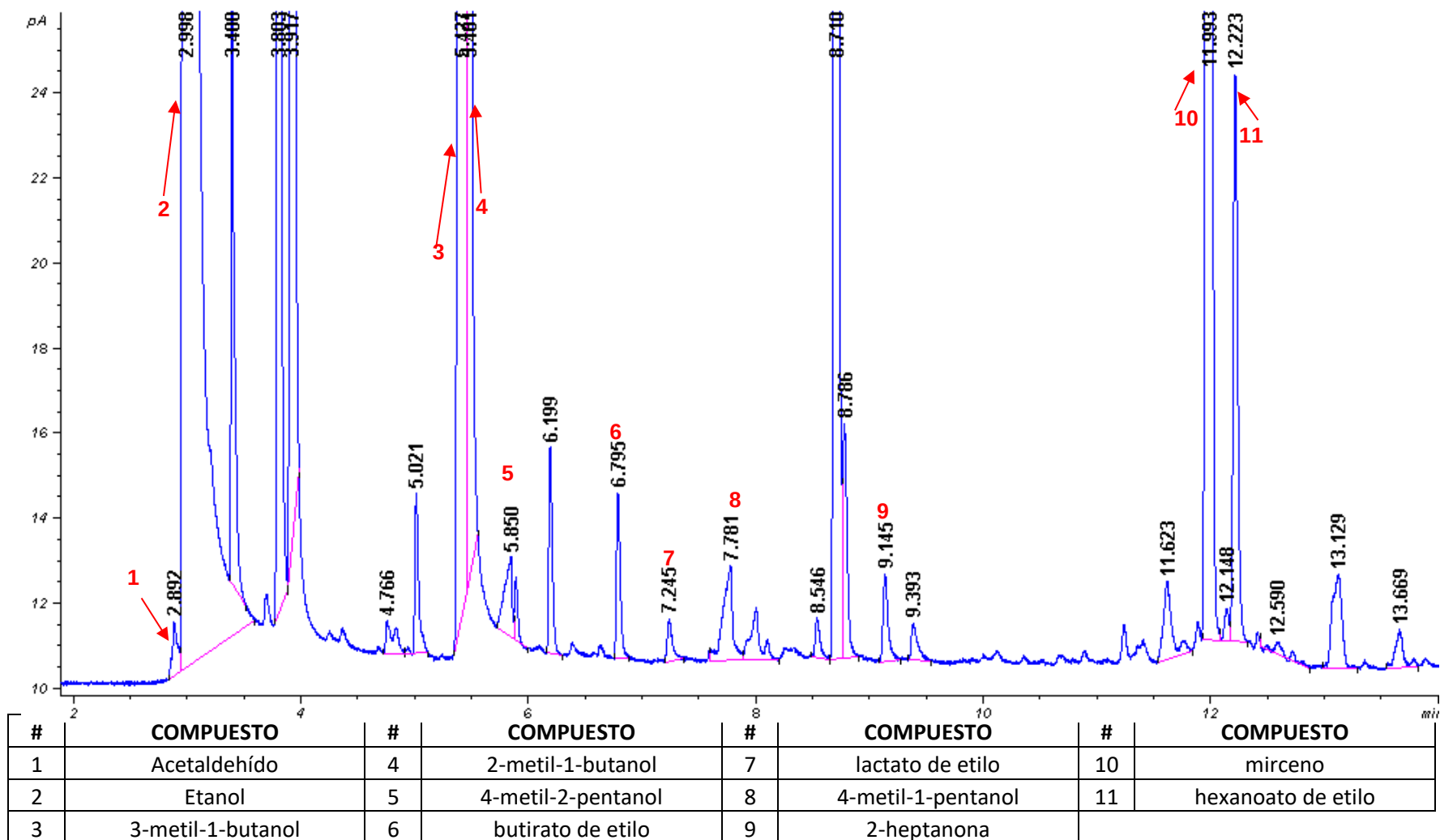
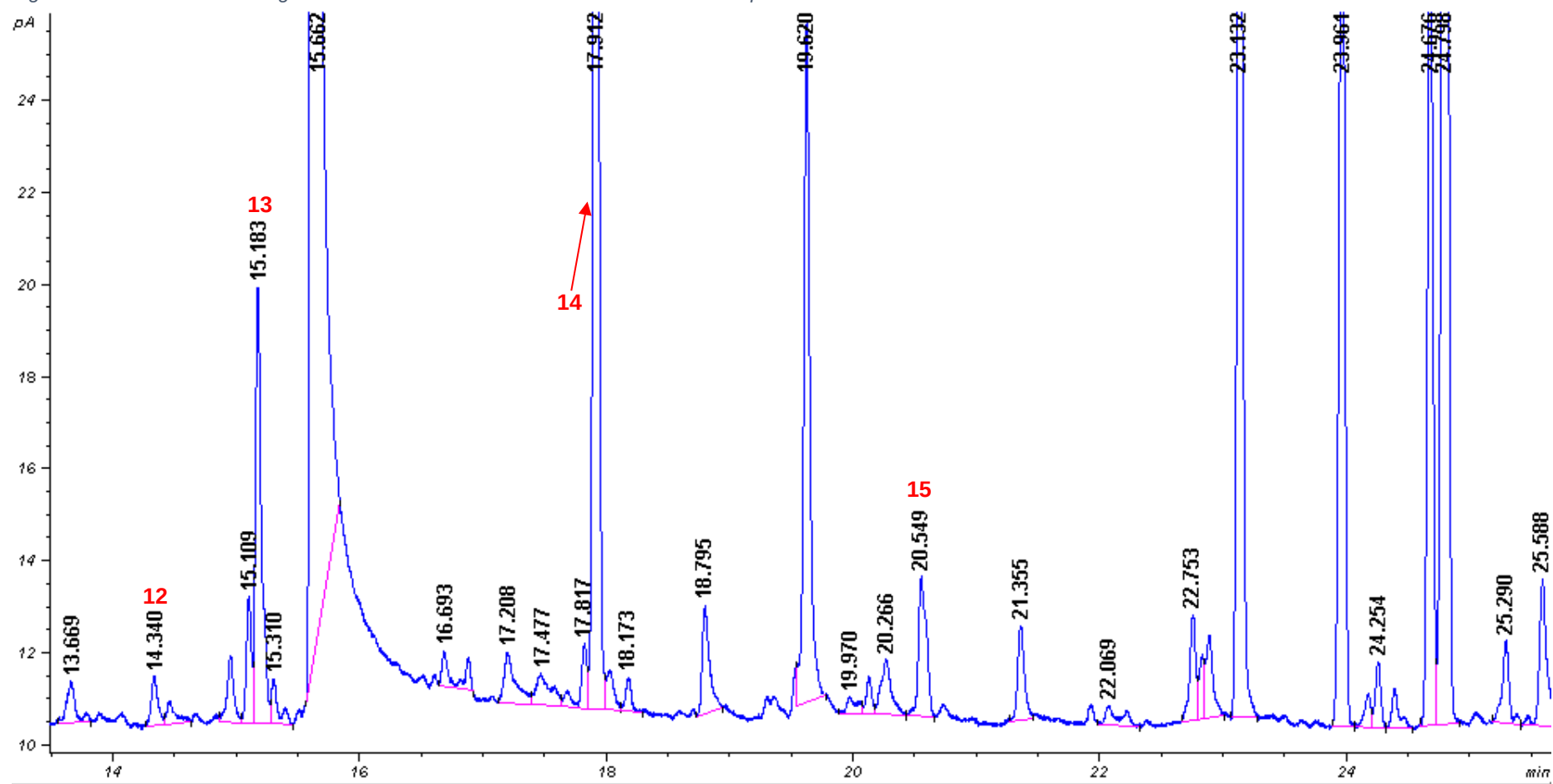


Figura 35: Parte 2 de cromatograma cerveza Stout sin chile e identificación de compuestos



#	COMPUESTO	#	COMPUESTO
12	1-octanol	14	octanoato de etilo
13	linalool	15	nonanoato de etilo

Analizando el cromatograma de la cerveza con chile ancho (Fig. 36) y el de chile ancho (Fig. 37), nos damos cuenta de que a partir del minuto 30, existen picos que se mantienen en ambos, por lo que se podría inferir que estos compuestos son los que provienen del chile y se mantienen en la cerveza; además, en la cerveza sin chile no aparecen. Dichos compuestos están marcados dentro del recuadro rojo, el más sobresaliente es el compuesto con tiempo de retención de 35 minutos.

Figura 36: Cromatograma cerveza con chile ancho

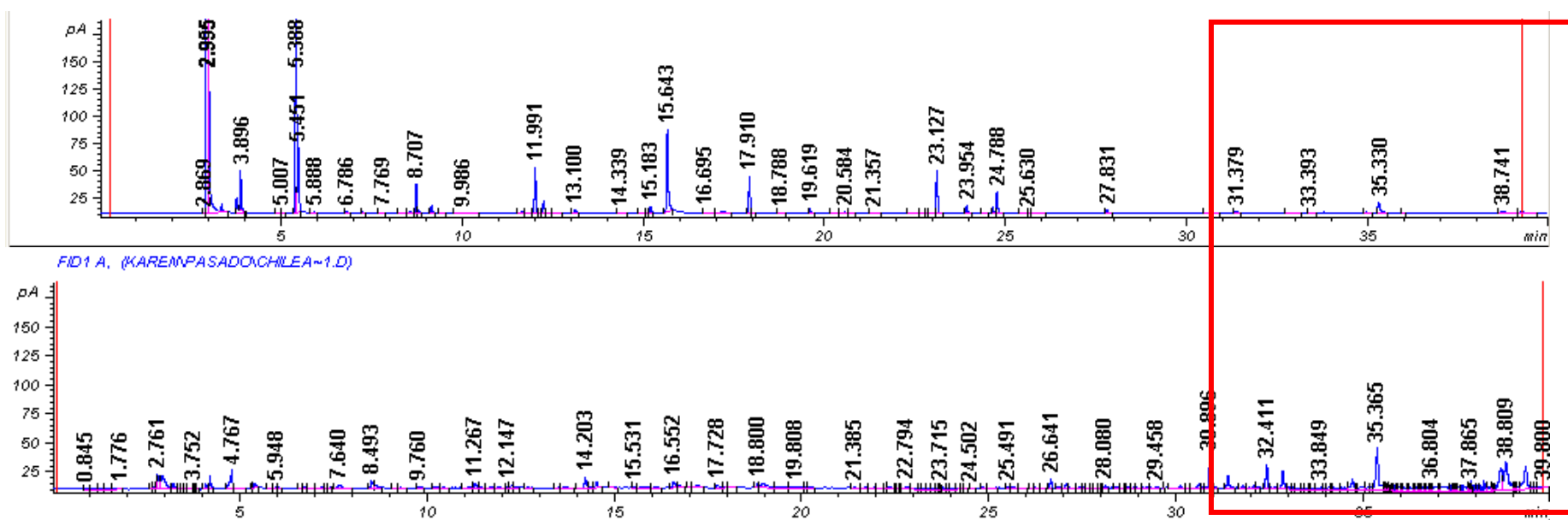


Figura 37: Cromatograma chile ancho

4.3 ANÁLISIS SENSORIAL DE LA CERVEZA

Inicialmente se aplicó un cuestionario pidiendo información personal con el objetivo de conocer el perfil demográfico y los hábitos de consumo relacionados con la cerveza. La mayoría de los participantes (95.1%) se encontraron en el rango de edad de 18 a 29 años, lo cual indicó una muestra predominantemente joven.

En cuanto al género, la distribución fue equilibrada, con un 49.5% de mujeres y un 49.0% de hombres, mientras que el porcentaje restante corresponde a personas que prefirieron no especificar su género o se identificaron de otra manera.

Respecto al consumo de cerveza, el 83.5% de los encuestados indicó que consume cerveza, lo que confirma la relevancia del producto para este grupo poblacional. En términos de preferencia, el 60.2% manifestó inclinarse por la cerveza oscura, en comparación con el 38.9% que prefirió la clara.

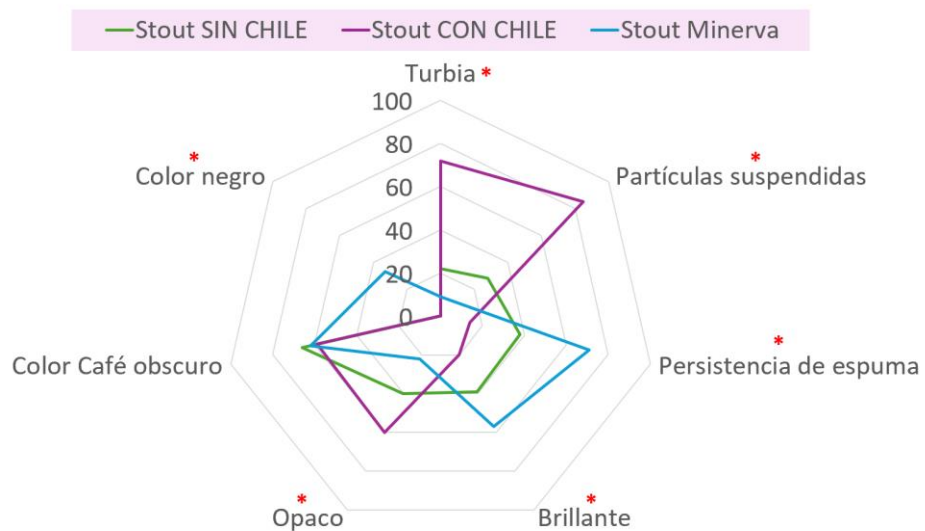
Por otro lado, a pesar del creciente interés por productos diferenciados, solo el 32.0% de los consumidores ha probado cerveza artesanal, lo que sugiere una oportunidad para ampliar el conocimiento y consumo de este tipo de bebidas dentro del segmento juvenil y puede justificar este trabajo.

Los datos sensoriales obtenidos en la prueba se analizaron con ayuda del software XLSTAT.

4.3.1 PRUEBA CATA

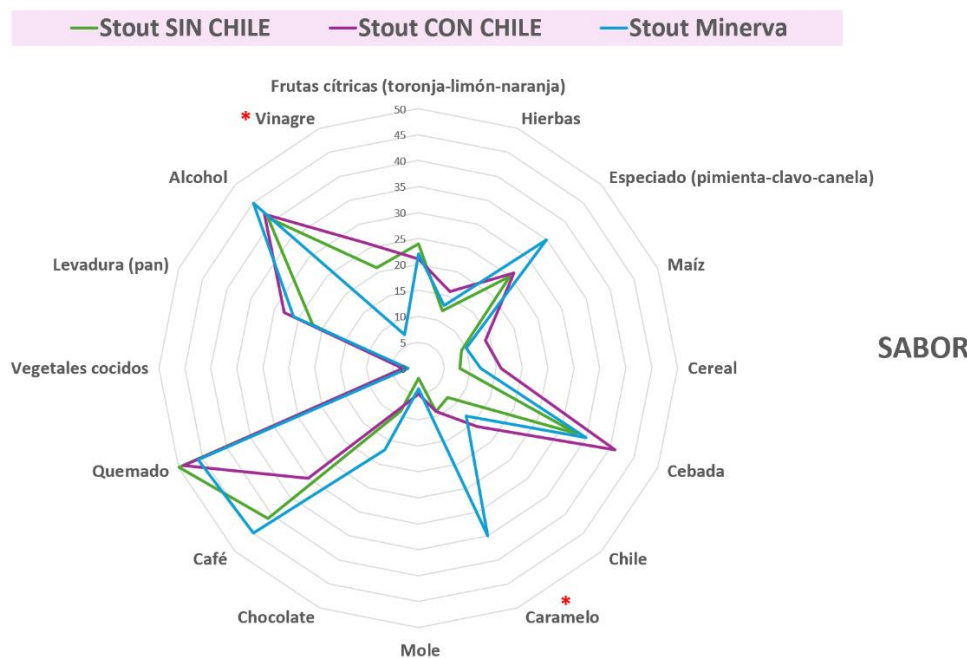
El análisis sensorial realizado mediante la metodología Check-All-That-Apply (CATA) permitió identificar los descriptores sensoriales más relevantes asociados a la apariencia, olor y sabor de tres muestras de cerveza etiquetadas como 263 (Cerveza Stout de maíz sin chile), 790 (Cerveza Stout de maíz con chile) y 483 (Cerveza Stout de cebada Minerva). Los resultados del perfil cata se muestran en las siguientes gráficas:

APARIENCIA



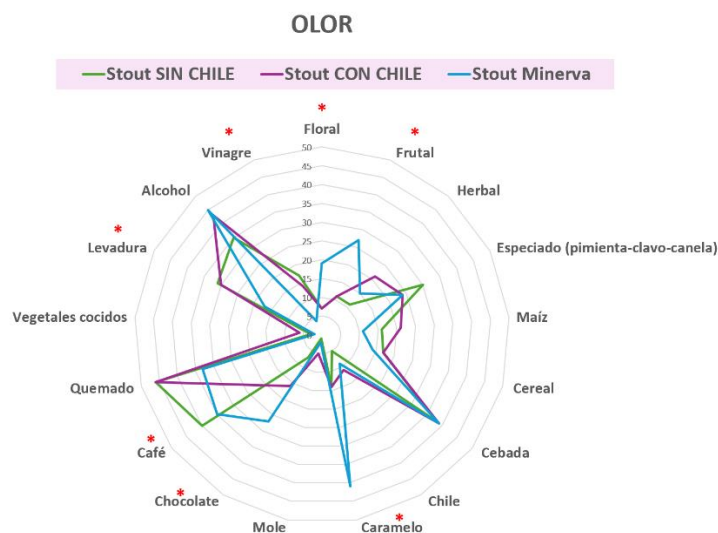
*Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre muestras

Gráfico 1: Perfil de apariencia de las muestras de cerveza Stout sin chile, cerveza Stout con chile y cerveza Minerva Stout.



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

Gráfico 2: Perfil de sabor las muestras de cerveza Stout sin chile, cerveza Stout con chile y cerveza Minerva Stout.



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

Gráfico 3: Perfil de olor de cerveza Stout sin chile, cerveza Stout con chile y cerveza Minerva Stout.

La cerveza Stout con chile destaca por su alta turbidez, presencia de partículas suspendidas y opacidad, lo que sugiere una apariencia más artesanal; además, presenta baja persistencia de espuma y poco brillo. En contraste, la cerveza Minerva Stout se caracteriza por una alta persistencia de espuma, apariencia brillante y menor turbidez, lo cual podría asociarse con una presentación más limpia y refinada. Por otro lado, la cerveza Stout sin chile muestra un perfil equilibrado, con predominio del color café oscuro, brillo y opacidad moderada, sin destacar en ningún descriptor de manera extrema. Estos resultados permiten observar claras diferencias visuales entre las muestras, que pueden influir en la percepción del consumidor.

En cuanto al perfil aromático, se observaron diferencias notables entre las muestras. La cerveza Minerva (línea azul) presentó una mayor intensidad percibida de atributos como alcohol, floral, frutal y caramelo, lo que sugiere un perfil más complejo y expresivo. En contraste, la de Maíz sin chile (línea verde) destacó por notas quemadas y de café, características propias de cervezas más tostadas. Por su parte, la cerveza Maíz con chile (línea morada) presentó mayor asociación con levadura, vinagre y especiadao (clavo, canela, pimienta), indicando un perfil más fermentado y especiado.

El descriptor quemado fue uno de los más destacados para las tres muestras, aunque con mayor prevalencia en las cervezas Maíz con chile y Maíz sin chile. Además, el atributo alcohol fue especialmente percibido en la Minerva, lo cual puede estar relacionado con una mayor graduación alcohólica o mayor volatilidad aromática.

En el análisis del perfil de sabor, las diferencias entre muestras también fueron evidentes. La cerveza Minerva se asoció con mayor frecuencia a notas ácidas, frutales, cítricas (toronja,

limón, naranja), hierbas y un perfil alcohólico marcado. Esta muestra también presentó sabor a quemado y café, en sintonía con su perfil olfativo.

La cerveza Maíz con chile mostró un predominio de sabores a cebada, especias, y vinagre, mientras que la cerveza Stout sin chile fue caracterizada por un sabor quemado, con presencia de cereal y chocolate, lo que refuerza su perfil tostado y a malta.

En general, los descriptores: quemado, alcohol, levadura, especiado y cereal fueron comunes en las tres muestras, aunque en diferentes proporciones, lo que refleja una diversidad sensorial entre los productos evaluados.

La cerveza de Maíz sin chile, al presentar atributos como quemado, café y chocolate, se alinea con un perfil típico de cervezas de tipo Stout o Porter, caracterizadas por el uso de maltas altamente tostadas. Estos atributos tienden a ser valorados por consumidores que prefieren sabores intensos y amargos, pero también pueden generar rechazo en quienes buscan perfiles más suaves o refrescantes.

La Maíz con chile, por otro lado, destacó por su percepción de levadura, vinagre y especias, lo que podría indicar una fermentación más activa, posibles notas de acidez o fenólicos, y la inclusión de ingredientes botánicos. Este perfil sensorial puede asociarse con cervezas artesanales más complejas o incluso con defectos si la acidez es percibida como desagradable.

Finalmente, la cerveza Minerva presentó un perfil más aromático y frutal, con atributos como alcohol, cítricos, herbal y caramelo. Esta complejidad y equilibrio entre dulzor y acidez podrían posicionarla como la muestra con mayor potencial de agrado para un público joven, ya que combina notas refrescantes con una presencia alcohólica percibida, posiblemente asociada a un mayor cuerpo.

Cabe destacar que los atributos alcohol, quemado, cereal y levadura estuvieron presentes en todas las muestras, lo que indica que forman parte del perfil común esperado en este tipo de cervezas, aunque su intensidad varió entre las formulaciones.

Análisis factorial de correspondencias (AFC)

Se realizó también un Análisis Factorial de Correspondencias (AFC) a los datos obtenidos en la prueba CATA (*Check-All-That-Apply*) con el objetivo de visualizar las asociaciones entre las tres muestras de cerveza Stout (sin chile, con chile ancho y comercial) y los atributos sensoriales seleccionados por los consumidores.

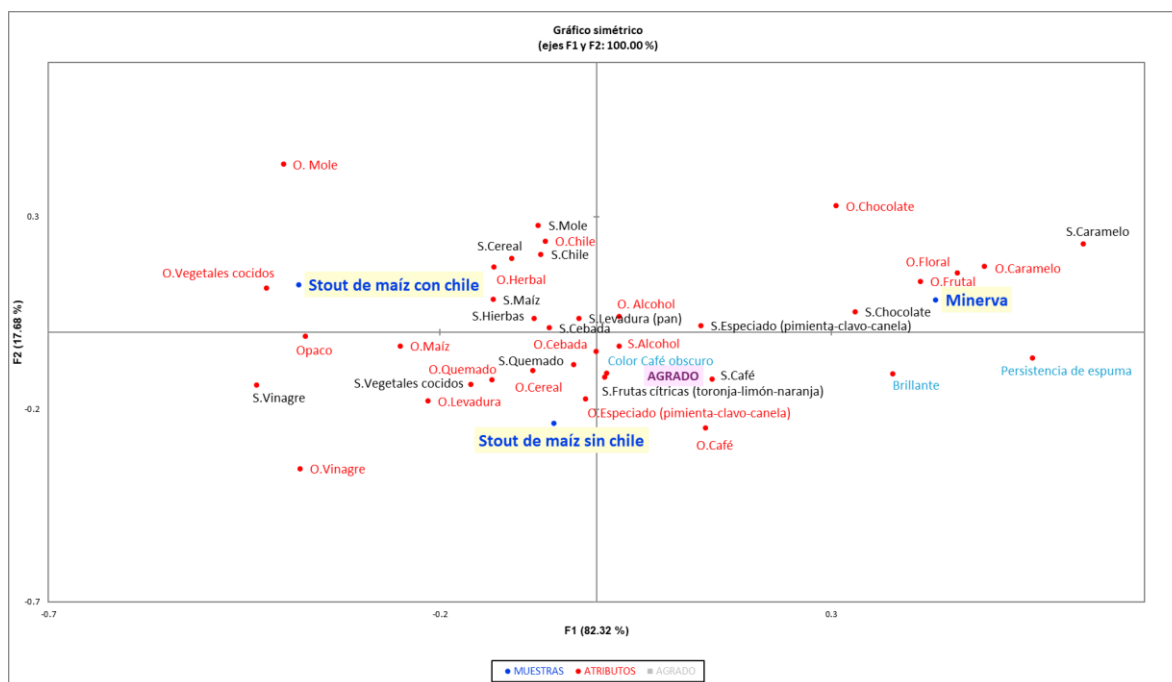


Gráfico 4: AFC

El análisis de correspondencia (Gráfico 4) permitió visualizar las relaciones entre las tres muestras de cerveza evaluadas y los atributos sensoriales seleccionados por los consumidores.

El primer eje (F1) explicó el 82.32% de la variabilidad de los datos y separó a la cerveza comercial Minerva, asociándola con atributos como color negro, brillante, persistencia de espuma, sabor a caramelo y chocolate, olor frutal, floral, a alcohol y a chocolate características propias de una stout con perfil dulce, equilibrado y de buena calidad.

Por otro lado, el segundo eje (F2), que explicó el 17.68% restante, destacó las diferencias entre las cervezas experimentales elaboradas con maíz cacahuazintle. La cerveza Stout sin chile se relacionó con descriptores como olor a cereal, vegetal cocido, vinagre y notas especiadas (clavo, canela, pimienta); color café oscuro y sabor a frutas cítricas, quemado, café y vinagre. Por su parte, la cerveza stout con chile ancho se asoció con atributos como sabor a chile, mole, maíz, hierbas, levadura, vegetal cocido y olores herbales, a mole y maíz, reflejando que la incorporación del chile aportó mayor complejidad aromática y notas especiadas características del mismo. Esta muestra presentó un perfil sensorial distintivo y diferenciado de la versión sin chile y de la cerveza comercial, integrando matices propios de la gastronomía mexicana.

También se observa que el punto correspondiente al "agrado" se encuentra ubicado en el cuadrante inferior derecho, lo que indica que los descriptores cercanos a esta zona están positivamente relacionados con la aceptación del producto. Entre estos atributos se encuentran el olor y sabor a alcohol, café, chocolate, caramelo, maíz y cereal, así como

notas de sabor a frutas cítricas. En apariencia, características como la persistencia de espuma, el brillo y color café oscuro. Estos resultados sugieren que los consumidores prefieren cervezas con perfiles sensoriales balanceados, encabezados por notas dulces y tostadas, acompañadas de una apariencia visual atractiva.

4.3.2 PRUEBA NIVEL DE AGRADO

Para evaluar el nivel de agrado de las tres muestras de cerveza (Stout de maíz sin chile, Stout de maíz con chile y Stout Minerva), se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman (Tabla 17), adecuada para datos de escala ordinal o de tipo hedónico. Los resultados indicaron diferencias significativas entre las muestras, con un valor de Q corregido de 29.30 y un valor de $p < 0.0001$, lo cual permite rechazar la hipótesis nula de que todas las muestras presentan el mismo nivel de agrado.

Tabla 17: Prueba de Friedman

Friedman's Rank Test				
Test Results				
Ties	Friedman's Statistic (Q)	DF	P-Value	Concordance (W)
Ignored	25.1796	2	0.00000	0.1222311
Correction	29.3051	2	0.00000	0.1422577

Correction Factor for Ties: Multiplicity = 348

En el Gráfico 6, se observa que las cervezas Maíz sin chile y Minerva obtuvieron puntuaciones similares, siendo las más aceptadas por los consumidores, mientras que la de Maíz con chile presentó un menor nivel de agrado.

Estos resultados coinciden con los perfiles sensoriales previamente evaluados, ya que la cerveza de Maíz con chile mostró atributos visuales y olfativos menos valorados, como turbidez, presencia de partículas y notas como chile, vinagre y ahumado. Por otro lado, las cervezas Maíz sin chile y Minerva presentaron perfiles más balanceados y atributos como brillo, persistencia de espuma, sabor y olor a caramelo y chocolate, los cuales fueron positivamente asociados al agrado en el análisis de coordenadas principales.

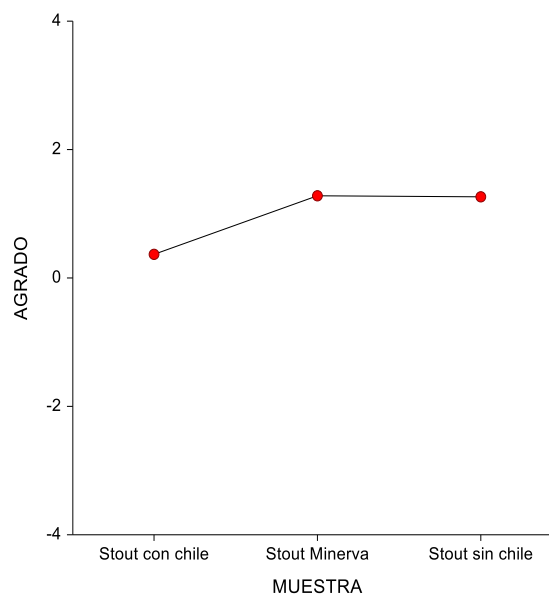


Gráfico 5: Agrado de 3 muestras evaluadas

La gráfica de barras por muestra, (Gráfico 7), permite visualizar el perfil de agrado de forma más cualitativa y detallada. La distribución de frecuencias del nivel de agrado mostró diferencias claras entre las muestras evaluadas. La cerveza de Maíz sin chile y Minerva

presentaron un mayor porcentaje de respuestas en los niveles “medianamente agradable” y “extremadamente agradable”, lo que significa una mayor aceptación general por parte de los consumidores. Por otro lado, la cerveza de Maíz con chile ancho presentó una mayor dispersión en las respuestas, principalmente en el rango de “ni me gusta ni me disgusta”, “ligeramente agradable” y “ligeramente desagradable”.

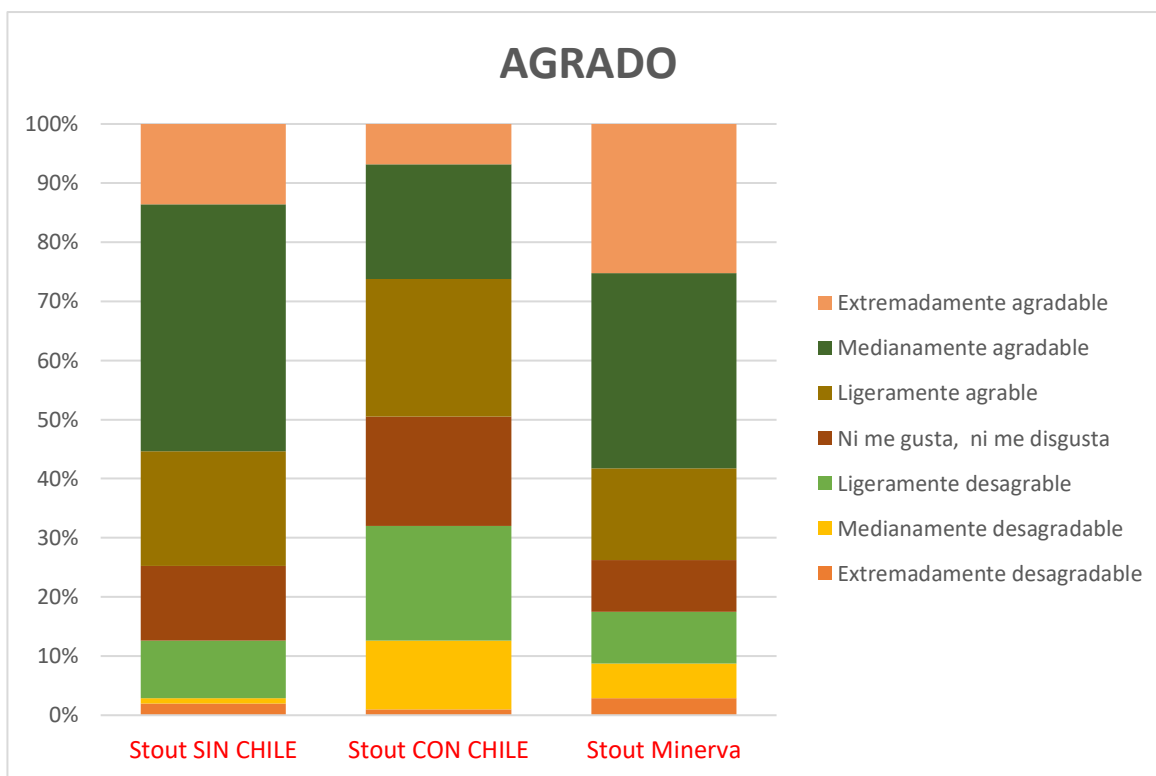


Gráfico 6: Nivel de agrado para las tres muestras de cerveza Stout

4.3.3 PRUEBA JAR (just about right)

Para profundizar en la percepción de atributos importantes en la cerveza, se aplicó una prueba JAR (*Just About Right*) a los consumidores, enfocada en tres variables sensoriales: carbonatación, amargor y cuerpo para las tres muestras y además se agregó la variable picante para la muestra de cerveza Stout con chile.

A continuación, se muestran los resultados de las tres muestras:

- **Cerveza Stout de maíz cacahuazintle sin chile**

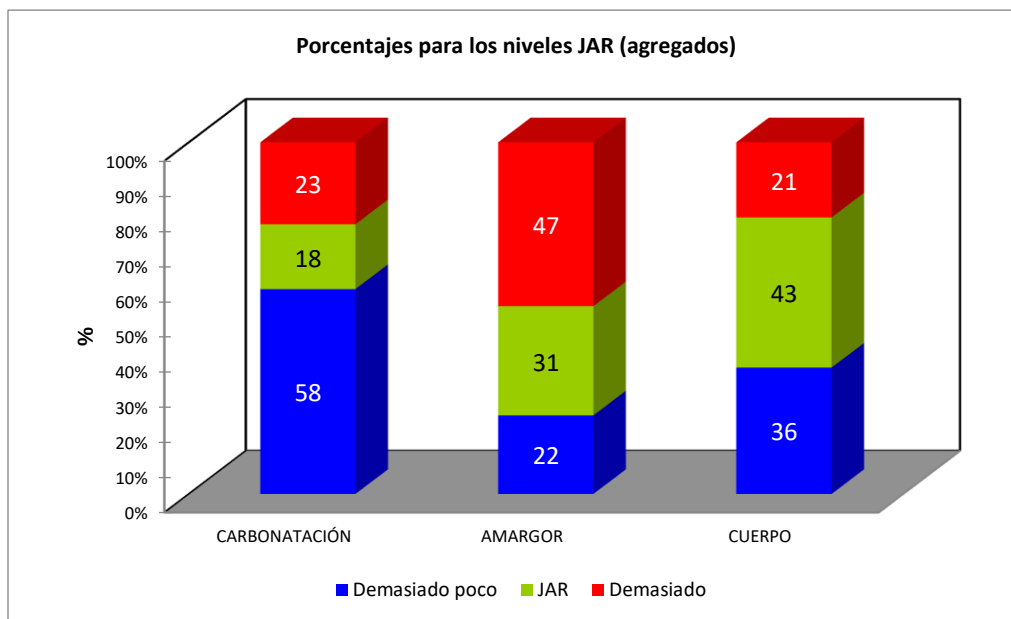


Gráfico 7: Prueba JAR aplicada en Cerveza Stout de maíz sin chile

- **Cerveza Stout de maíz cacahuazintle con chile ancho**

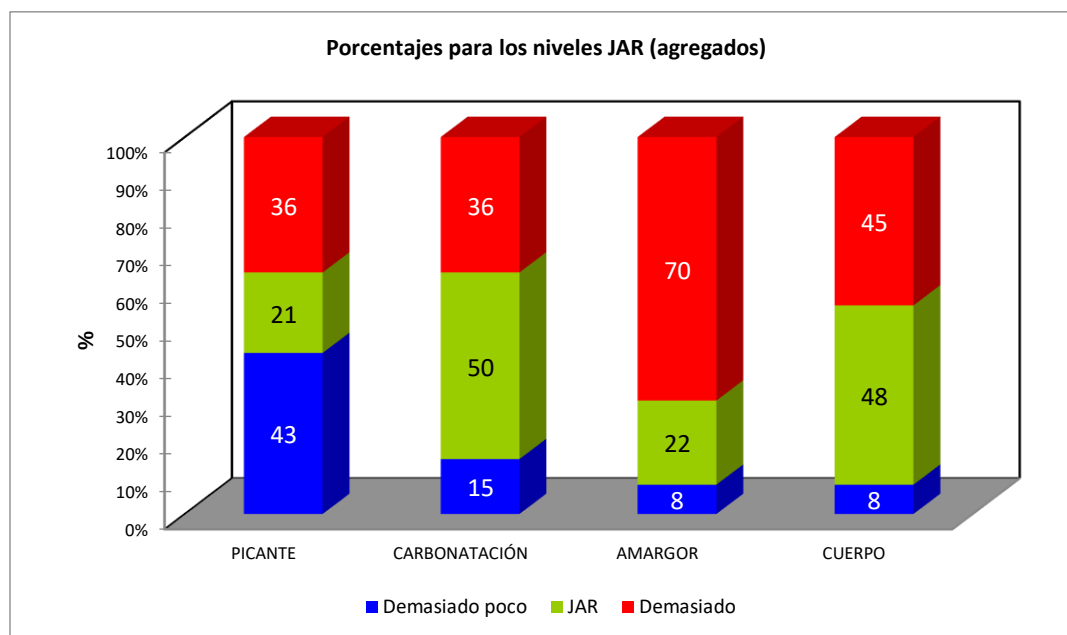


Gráfico 8: Prueba JAR aplicada en Cerveza Stout con chile ancho

- **Cerveza Minerva**

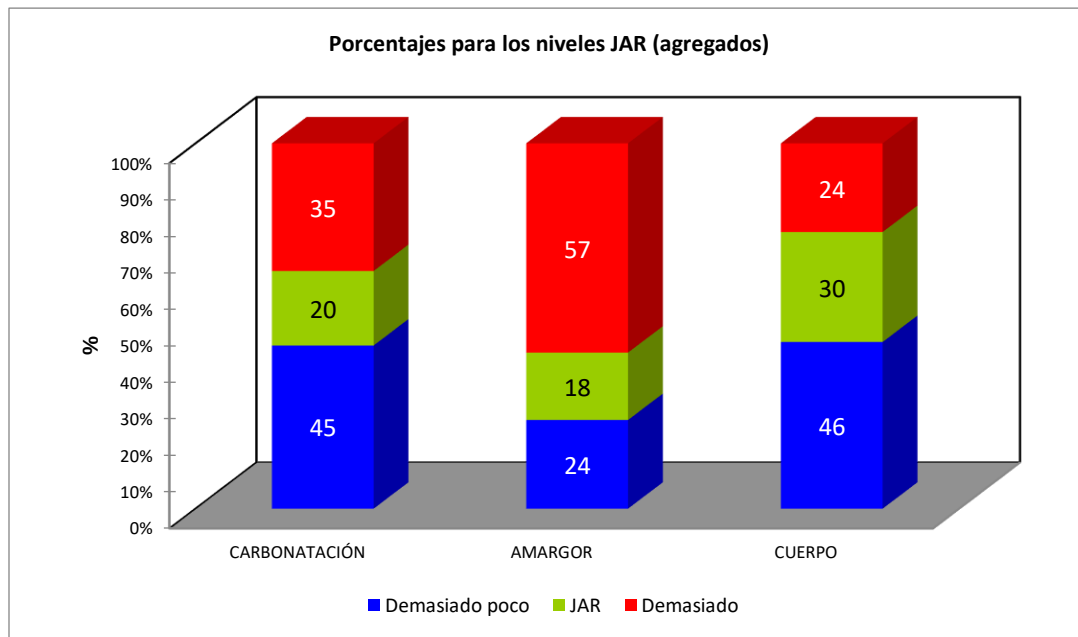


Gráfico 9: Prueba JAR aplicada en cerveza Control (Minerva)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba JAR (Gráficos 8-10), se observaron diferencias notables en la percepción de los atributos sensoriales evaluados entre las tres cervezas. En la cerveza Stout de maíz cacahuazintle sin chile, la mayoría de los consumidores consideró la carbonatación como “demasiado baja” (58%), lo que sugiere una percepción de baja efervescencia. En cuanto al amargor, el 47% de los consumidores lo percibieron como excesivo, mientras que el 31% lo consideró en un nivel adecuado. Respecto al cuerpo, el 43% lo calificó como “justo”, mostrando una mejor aceptación que los atributos anteriores.

En la cerveza Stout con chile ancho, se identificó un mejor equilibrio en la carbonatación, donde el 50% de los participantes la percibió como adecuada. Sin embargo, el amargor fue evaluado como excesivo por el 70% de los consumidores, esto podría atribuirse a las maltas tostadas, el lúpulo y el chile ancho. El cuerpo obtuvo una valoración positiva, con un 48% de respuestas “justo”, a pesar de que el 45% lo percibió como demasiado intenso. En cuanto al atributo picante, introducido exclusivamente para esta muestra, el 43% lo percibió como bajo reflejando variabilidad en la tolerancia y preferencia individual al picor. Esto es positivo ya que el 1% que se agregó de chile ancho no comprometió al sabor.

Por su parte, la cerveza comercial Minerva presentó tendencias similares en los atributos de carbonatación y cuerpo, donde la mayoría los consideró bajos (45% y 46%, respectivamente). En contraste, el amargor fue percibido como excesivo por el 57% de los participantes, lo que podría indicar que el consumidor no está acostumbrado a tomar cervezas artesanales.

En conjunto, los resultados indican que los consumidores tienden a preferir cervezas con menor amargor y una carbonatación ligeramente más marcada, mientras que el cuerpo y el picante presentan una mayor aceptación general. Estos hallazgos son útiles para ajustar la formulación de la cerveza Stout de maíz cacahuazintle con chile ancho hacia un perfil sensorial más cercano al “*just about right*”, mejorando así la experiencia del consumidor.

Después se realizó una prueba penalty para poder cuantificar el impacto que tienen las desviaciones de los atributos sensoriales respecto al nivel ideal (JAR) sobre la aceptación general del producto. Es decir, permite determinar qué atributos “penalizan” la preferencia del consumidor cuando no se encuentran en el nivel “justo” o “adecuado” (Ares et al., 2014). En este trabajo, las penalizaciones se calcularon para los atributos de carbonatación, amargor y cuerpo, y se incluyó el atributo picante en la muestra de cerveza con chile ancho (Tabla 18, 19, 20 - Gráfico 11, 12, 13).

- **Prueba de penalty para Cerveza Stout de maíz cacahuazintle sin chile ancho**

Tabla 18: Prueba de penalty para Cerveza Stout de maíz sin chile ancho

Variable	Nivel	Frecuencias	%	Suma (AGRADO)	Media (AGRADO)	Efectos sobre la media	Diferencia estandarizada	valor-p	Significativo	Penalizaciones	Diferencia estandarizada	valor-p	Significativo
CARBONATACIÓN	Demasiado poco	60	58.25%	324.000	5.400	-0.295	-0.865	0.664	No				
	JAR	19	18.45%	97.000	5.105					-0.228	-0.695	0.489	No
	Demasiado	24	23.30%	124.000	5.167	-0.061	-0.154	0.987	No				
AMARGOR	Demasiado poco	23	22.33%	127.000	5.522	0.072	0.208	0.976	No				
	JAR	32	31.07%	179.000	5.594					0.439	1.612	0.110	No
	Demasiado	48	46.60%	239.000	4.979	0.615	2.126	0.090	No				
CUERPO	Demasiado poco	37	35.92%	183.000	4.946	0.600	2.112	0.092	No				
	JAR	44	42.72%	244.000	5.545					0.444	1.747	0.084	No
	Demasiado	22	21.36%	118.000	5.364	0.182	0.547	0.848	No				

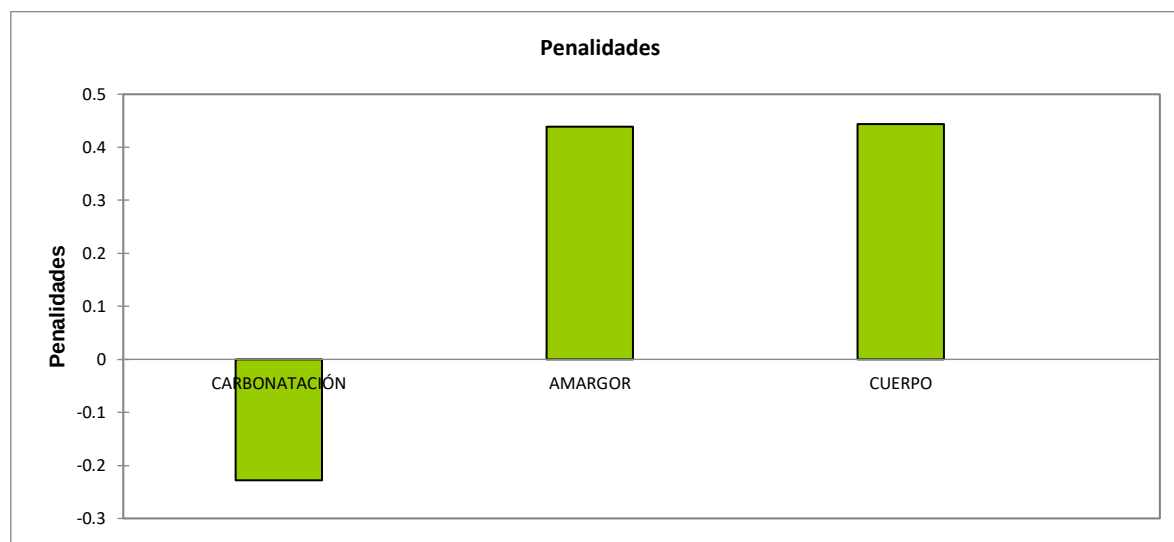


Gráfico 10: Penalizaciones Maíz sin chile

- **Prueba de penalty para Cerveza Stout de maíz cacahuazintle con chile ancho**

Tabla 19: Prueba de penalty para Cerveza de maíz con chile ancho

Variable	Nivel	Frecuencias	%	Suma (AGRADO)	Media (AGRADO)	Efectos sobre la media	Diferencia estandarizada	valor-p	Significativo	Penalidades	Diferencia estandarizada	valor-p	Significativo
PICANTE	Demasiado poco	44	42.72%	232.000	5.273	0.591	1.430	0.329	No				
	JAR	22	21.36%	129.000	5.864					0.703	1.853	0.067	No
	Demasiado	37	35.92%	186.000	5.027	0.837	1.964	0.126	No				
	Demasiado poco	15	14.56%	73.000	4.867	0.643							
CARBONATACIÓN	JAR	51	49.51%	281.000	5.510					0.394	1.257	0.212	No
	Demasiado	37	35.92%	193.000	5.216	0.294	0.881	0.381	No				
	Demasiado poco	8	7.77%	44.000	5.500	0.457							
	JAR	23	22.33%	137.000	5.957					0.832	2.244	0.027	Sí
AMARGOR	Demasiado	72	69.90%	366.000	5.083	0.873	2.286	0.025	Sí				
	Demasiado poco	8	7.77%	35.000	4.375	1.013							
CUERPO	JAR	49	47.57%	264.000	5.388					0.147	0.465	0.643	No
	Demasiado	46	44.66%	248.000	5.391	-0.004	-0.011	0.991	No				

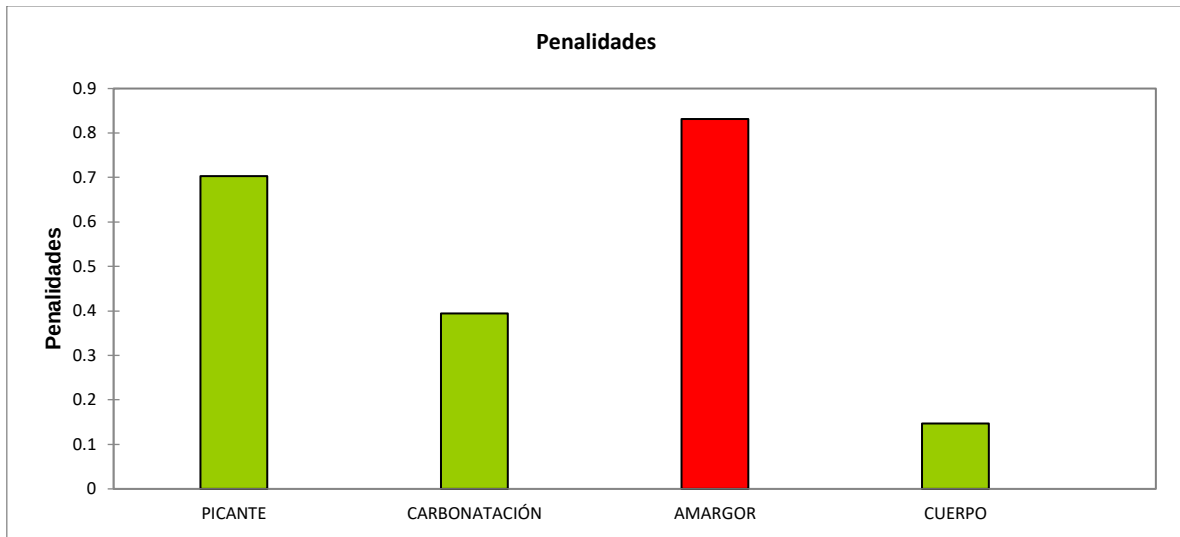


Gráfico 11: Penalidades Maíz con chile

- **Prueba de penalty para Cerveza Minerva Stout de cebada**

Tabla 20: Prueba de penalty para cerveza comercial (Minerva)

Variable	Nivel	Frecuencias	%	Suma (AGRADO)	Media (AGRADO)	Efectos sobre la media	Diferencia estandarizada	valor-p	Significativo	Penalidades	Diferencia estandarizada	valor-p	Significativo
CARBONATACIÓN	Demasiado p	15	14.56%	73.000	4.867	0.643							
	JAR	51	49.51%	281.000	5.510					0.394	1.257	0.212	No
	Demasiado	37	35.92%	193.000	5.216	0.294	0.881	0.381	No				
AMARGOR	Demasiado p	8	7.77%	44.000	5.500	0.457							
	JAR	23	22.33%	137.000	5.957					0.832	2.244	0.027	Sí
	Demasiado	72	69.90%	366.000	5.083	0.873	2.286	0.025	Sí				
CUERPO	Demasiado p	8	7.77%	35.000	4.375	1.013							
	JAR	49	47.57%	264.000	5.388					0.147	0.465	0.643	No
	Demasiado	46	44.66%	248.000	5.391	-0.004	-0.011	0.991	No				

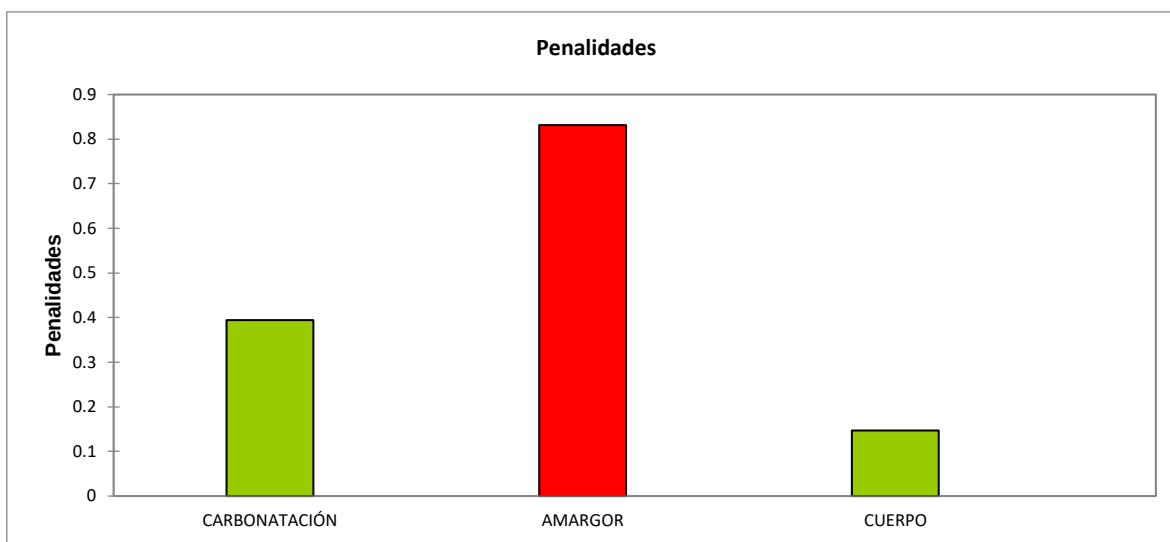


Gráfico 12: Penalidades Minerva

El análisis de penalización reveló diferencias importantes entre las tres muestras en cuanto al impacto que tienen estos atributos en el nivel de agrado.

Para la carbonatación, en la cerveza de Maíz sin chile, el 58.25% consideró la carbonatación como demasiado baja, aunque sin generar penalización significativa ($p = 0.489$). En la cerveza de Maíz con chile, también predominó la percepción de baja carbonatación (44.66%), con una penalización leve (0.314) pero no significativa. Para la cerveza Minerva, aunque la mayoría (49.51%) percibió la carbonatación como “justo”, el 35.92% la encontró demasiado alta, generando una penalización moderada (0.394), sin significancia ($p = 0.212$).

Para el amargor, en la cerveza de Maíz sin chile, el 46.60% consideró el amargor excesivo, con una penalización de 0.439, no significativo. En la cerveza de Maíz con chile, el efecto fue significativo ($p=0.011$), con una penalización de 0.967, siendo el atributo que más impactó negativamente en el agrado de esa muestra. En la cerveza Minerva, el 69.90% de los consumidores percibió el amargor como demasiado, generando una penalización de 0.832, también significativa ($p=0.027$).

Analizando el cuerpo de las cervezas, en la Maíz sin chile, el 35.92% percibió poco cuerpo, con penalización moderada (0.444) y no significativa ($p=0.084$). En la Maíz con chile, el cuerpo fue significativamente penalizado ($p=0.037$). Finalmente, en la Minerva, el atributo no generó penalización significativa, a pesar de que el 44.64% lo encontró “demasiado”.

En conjunto, los resultados del análisis de penalización evidencian que el amargor es el atributo más crítico para la aceptación del consumidor en las tres muestras, seguido del cuerpo. La muestra con chile ancho, pese a ofrecer un perfil innovador, presentó mayores desviaciones sensoriales, principalmente por un amargor elevado que penalizó la aceptación; después de analizar la variable picante, y aunque el atributo no penalizó significativamente el agrado, los datos muestran un desequilibrio importante en la

percepción del atributo: casi la mitad de los consumidores consideraron que faltaba picante, mientras que un 31% pensó que era excesivo. Esto puede deberse a una variabilidad en la percepción del picor o a la variabilidad en el agrado de diferentes niveles de picor ya que algunos consumidores presentan una alta sensibilidad al picante mientras que otros no.

En conclusión, estos resultados sugieren que ajustar la concentración de lúpulo o los tiempos de tostado de las maltas podría mejorar el equilibrio del producto. Asimismo, incrementar ligeramente la carbonatación y modular la intensidad del picante podrían contribuir a un perfil más cercano al nivel “justo” y, por tanto, a una mayor aceptación global del consumidor.

5 CONCLUSIONES

- Se logró realizar una cerveza Stout 100% de maíz cacahuazintle.
- La cerveza con chile ancho presentó una mayor capacidad antioxidante que la que no lo contenía, cumpliendo así con la hipótesis del proyecto.
- Mediante cromatografía de gases se lograron identificar 15 compuestos en la cerveza Stout de maíz cacahuazintle. También se logran ver picos que se mantienen presentes en la cerveza con chile ancho y en el cromatograma del chile ancho por sí solo.
- El análisis sensorial mostró evidencia de que la cerveza Stout con chile ancho gustó medianamente. El amargor fue el atributo penalizado para la aceptación.

6 PERSPECTIVAS

- Se sugiere **emplear otros métodos de evaluación antioxidante**, como el ensayo **DPPH**, con el fin de **comparar los resultados obtenidos con el método ABTS** y ampliar la comprensión de la capacidad antioxidante de las muestras.
- Se propone realizar la **cuantificación de los compuestos volátiles identificados**, lo cual permitiría **establecer una relación directa entre su concentración y la proporción de ingredientes utilizados** durante la elaboración de la cerveza.
- Es recomendable **profundizar en el estudio de los compuestos volátiles aportados por el chile ancho**, enfocándose en la **identificación y cuantificación de aquellos que permanecen después del proceso de fermentación y maduración** de la cerveza.
- Se plantea **continuar la investigación con maíz cacahuazintle**, por tratarse de una **materia prima endémica con alto potencial** para el desarrollo de nuevos productos y valor agregado en la industria cervecera artesanal.

- Se sugiere aplicar nuevas pruebas sensoriales dirigidas a **consumidores frecuentes de cerveza artesanal**, con el objetivo de **evaluar si se incrementa la aceptación** de la cerveza tipo Stout con chile ancho.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Brewing Chemists (ASBC). (2009a). *Methods of Analysis. Beer-4B, Alcohol: Beer and distillate measured gravimetrically.*
- American Society of Brewing Chemists (ASBC). (2009b). *Methods of Analysis. Beer-23A, Beer bitterness (Bitterness units – International method).*
- American Society of Brewing Chemists (ASBC). (2009c). *Methods of Analysis. Wort-7 and Beer-8, Total acidity.*
- American Society of Brewing Chemists (ASBC). (2009d). *Methods of Analysis. Wort-11 and Beer-12B, Reducing sugars: Copper reducing substances-Lane-Eynon volumetric method. .*
- Andriotis, V. M. E., Rejzek, M., Barclay, E., Rugen, M. D., Field, R. A., & Smith, A. M. (2016). Cell wall degradation is required for normal starch mobilisation in barley endosperm. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep33215>
- Ares, G., Dauber, C., Fernández, E., Giménez, A., & Varela, P. (2014). Penalty analysis based on CATA questions to identify drivers of liking and directions for product reformulation. *Food Quality and Preference*, 32, 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.05.014>
- Ares, G., & Jaeger, S. R. (2013). Check-all-that-apply questions: Influence of attribute order on sensory product characterization. *Food Quality and Preference*, 28(1). <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.08.016>
- Arrizón Javier. (2020). Bebidas fermentadas de maíz. *CIATEJ*.
- Baxter D, & Hughes P. (2001). *Beer: Quality, Safety and Nutritional Aspects*. The Royal Society of Chemistry.
- Carrillo María, & Ramos David. (2013). *Características físicoquímicas y calidad del pozole del maíz cacahuacintle procesado mediante tres métodos.*
- Castorena-García J.H., Juárez-Pérez V., Cano-Hernández M., López Mejía Omar, & Santiago-Santiago V. (2020). *Caracterización Físico-química de Cerveza Artesanal don Adjunto de Maíz Azul y Derivados de Caña de Azúcar*. Instituto Tecnológico de Aguascalientes.
- Cázares Sánchez Esmeralda, Ramírez Vallejo Porfirio, Castillo González Fernando, Soto Hernández Marcos, Rodríguez González Teresa, & Chávez Servia Luis. (2005). Capsaicinoides

y preferencia de uso en diferentes morfotipos de Chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia*, 39.

Codex Alimentarius Commission. (n.d.). Codex standard for maize (CODEX STAN 153-1985, rev. 2020). In 2020.

Coghe, S., D'Hollander, H., Verachtert, H., & Delvaux, F. R. (2005). Impact of Dark Specialty Malts on Extract Composition and Wort Fermentation. *Journal of the Institute of Brewing*, 111(1), 51–60. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00648.x>

Collera-Zúñiga, O., García Jiménez, F., & Meléndez Gordillo, R. (2005). Comparative study of carotenoid composition in three mexican varieties of *Capsicum annuum* L. *Food Chemistry*, 90(1–2), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.032>

CONABIO. (2020). *Cacahuacintle*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-conico/cacahuacintle>.

Dabija, A., Ciocan, M. E., Chetrariu, A., & Codină, G. G. (2021). Maize and sorghum as raw materials for brewing, a review. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/app11073139>

Dack, R. E., Black, G. W., Koutsidis, G., & Usher, S. J. (2017). The effect of Maillard reaction products and yeast strain on the synthesis of key higher alcohols and esters in beer fermentations. *Food Chemistry*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.043>

De Agricultura y Desarrollo Rural, S. (n.d.). *Garantizado el abasto de maíz cacahuacintle, el alma del tradicional pozole mexicano*.

Del grano a la copa. (2019). *Sendecho, la cerveza precolombina*. <https://www.delgranoalacopa.com/sendecho-la-cerveza-precolombina/>.

Dombrink-Kurtzman, M. A., & Knutson, C. A. (1997). A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chemistry*, 74(6). <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.6.776>

Duarte, S. M. da S., Abreu, C. M. P. de, Menezes, H. C. de, Santos, M. H. dos, & Gouvêa, C. M. C. P. (2005). Effect of processing and roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25(2). <https://doi.org/10.1590/s0101-20612005000200035>

Escalante-Aburto, A., Mariscal-Moreno, R. M., Santiago-Ramos, D., & Ponce-García, N. (2020). An Update of Different Nixtamalization Technologies, and Its Effects on Chemical Composition and Nutritional Value of Corn Tortillas. In *Food Reviews International* (Vol. 36, Issue 5). <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649693>

- Eßlinger, H. M. (2009). Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets. In *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. <https://doi.org/10.1002/9783527623488>
- Flores Calderón María Daniela. (2018). *Influencia del proceso de elaboración de la cerveza artesanal de maíz azul en los compuestos que le dan sabor y color*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Galaz Yamazaki, & Ruiz Urquiza. (2017). La Cerveza Artesanal. Una experiencia multisensorial. *Deloitte*.
- García Jiménez, F. A., Romero Castillo, P. A., & Reyes Dorantes, A. (2018). Carotenoids present in chili ancho and pasilla (capsicum annuum L.) in samples of ten years and in recent. *Polibotánica*, 0(46). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.46.17>
- Gómez-Linton Darío. (2015). *“Elaboración y Caracterización Fisicoquímica y Sensorial de Cervezas Artesanales Elaboradas con Maíz Rojo.”* Universidad Autónoma Metropolitana.
- González Marcos. (2017). *Principios de elaboración de las cervezas artesanales* (Lulu Enterprises, Ed.; Primera).
- González-Santos, R., Hernández-Sandoval, L., Hernández-Puente, K. N., & Ortega-Paczka, R. (2023). Distribución y caracterización ecogeográfica de maíces nativos de Querétaro, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4). <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.341>
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., & Gallagher, E. (2010). Barley for brewing: Characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3). <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x>
- Hans Michael. (2009). *Handbook of Brewing* (H. M. Eßlinger, Ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527623488>
- Henry R.J. (1984). A rapid method for the determination of diastatic power. *J.Inst.Brew.*, 90, 37–39.
- Hernández Miguel Ángel. (2021). *Estudio del efecto de la temperatura y el tiempo de germinación sobre el poder diastásico de las maltas de maíz azul y rojo de la raza chalqueño, así como de la evolución de los compuestos volátiles durante el envejecimiento de cervezas producidas con estas maltas* [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Hernández Yareth. (2019). *“Efecto del tostado en la composición volátil y propiedades sensoriales en cervezas artesanales de maíz rojo y cebada.”* Universidad Autónoma Metropolitana.
- Hough J. (1990). *Biotecnología de la cerveza y de la malta* (Editorial ACRIBIA, Vol. 1).
- Humia, B. V., Santos, K. S., Barbosa, A. M., Sawata, M., Mendonça, M. da C., & Padilha, F. F. (2019). Beer molecules and its sensory and biological properties: A review. *Molecules*, 24(8). <https://doi.org/10.3390/molecules24081568>

- InfroAgro. (2021). *Cacahuazintle y su historia en México*. <https://Mexico.Infoagro.Com/Cacahuazintle-y-Su-Historia-En-Mexico/>.
- Kato Yamakake, & Takeo Ángel. (2009). *Origen y diversificación del maíz : una revisión analítica*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología.
- Klimczak, K., Cioch-Skoneczny, M., & Duda-Chodak, A. (2023). Effects of Dry-Hopping on Beer Chemistry and Sensory Properties—A Review. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/molecules28186648>
- Kraus Thomas. (2012). Acrospire. In *The Oxford Companion to Beer*.
- Krstanović, V., Mastanjević, K., Košir, I. J., Jurić, M., & Habschied, K. (2024). The Influence of Milling Granulation on The Proportion of Fermentable and Non-Fermentable Ingredients in Mash Obtained from Mixed Endosperm Wheat. *Applied Sciences*, 14(14), 5985. <https://doi.org/10.3390/app14145985>
- Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L., & Garcia, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT*, 42(6). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>
- Mareček, V., Mikyška, A., Hampel, D., Čejka, P., Neuwirthová, J., Malachová, A., & Cerkal, R. (2017). ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt. *Journal of Cereal Science*, 73, 40–45. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2016.11.004>
- Márquez Rubén, Galicia Tomás, & Leal Martha. (2023, June). Elaboración de una cerveza tipo artesanal con base en mezclas de maltas de cebada y de maíz azul, con buenas propiedades nutraceuticas. *Revista Spauach*.
- Martinez-Gomez, A., Caballero, I., & Blanco, C. A. (2020). Phenols and Melanoidins as Natural Antioxidants in Beer. Structure, Reactivity and Antioxidant Activity. *Biomolecules*, 10(3), 400. <https://doi.org/10.3390/biom10030400>
- Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & Van Boekel, M. A. J. S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 11, Issues 9–10). [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X)
- Masisi, K., Beta, T., & Moghadasian, M. H. (2016). Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on in vitro and in vivo studies. *Food Chemistry*, 196, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>
- Mosher, M., & Trantham, K. (2017). *Brewing Science: A Multidisciplinary Approach*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73419-0>
- Naczek, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. In *Journal of Chromatography A* (Vol. 1054, Issues 1–2). <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>

- Nardini, M. (2023). An Overview of Bioactive Phenolic Molecules and Antioxidant Properties of Beer: Emerging Trends. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/molecules28073221>
- Nava Arenas Deni. (2009). *Estudio de cambios estructurales y en algunos compuestos fenólicos durante la elaboración de tesgüino de maíz azul (Zea mays)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Okafor, V. N., Tabugbo, I. B., Anyalebechi, R. I., Okafor, U. W., & Obiefuna, J. N. (2020). A Review of Nigerian Potential Hop Substitutes in Beer Brewing: 1983-2020. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i1530252>
- Olaniran, A. O., Hiralal, L., Mokoena, M. P., & Pillay, B. (2017). Flavour-active volatile compounds in beer: production, regulation and control. In *Journal of the Institute of Brewing* (Vol. 123, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/jib.389>
- Orchardson E. (2021). *Whole grains*. CIMMYT.
- Paliwal R.L, Granados Gonzalo, Lafitte Honor, & Violic Alejandro. (2001). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción.: Vol. Capítulo1*.
- Palmer John. (2006). *How to brew. Everything ypu need to know to brew beer right the first time*.
- Parker D.K. (2012). *Beer: production, sensory characteristics and sensory analysis*.
- Paszko, J., Gasiński, A., & Kawa-Rygielska, J. (2023). Evaluation of volatile compound profiles and sensory properties of dark and pale beers fermented by different strains of brewing yeast. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33246-4>
- Pérez Wendy. (2021). *SENDECHO, UN REGALO DEL MAÍZ HECHO BEBIDA*.
- Piperno, D. R., Ranere, A. J., Holst, I., Iriarte, J., & Dickau, R. (2009). Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(13). <https://doi.org/10.1073/pnas.0812525106>
- Pires, E., & Brányik, T. (2015). *By-products of Beer Fermentation*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15189-2_3
- Pires, E. J., Teixeira, J. A., Brányik, T., & Vicente, A. A. (2014). Yeast: The soul of beer's aroma - A review of flavour-active esters and higher alcohols produced by the brewing yeast. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 98, Issue 5). <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5470-0>
- Ramos Rodríguez, A. (2022). Origen e historia natural y humana de Cacahuacintle, una raza mexicana de maíz. *Revista de Geografía Agrícola*, 69, 95–126. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2022.69.05>

- Ray Daniels. (2000). *Designing Great Beers: The Ultimate Guide to Brewing Classic Beer Styles* (Russell Dianne, Ed.; Brewers Publications).
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10). [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rodríguez Miguel, Santalla Esther, García Ana, & Inaraja Carlos. (2021). *CERVEZA ESTILO STOUT DE AETCM*.
- Román-Arce Beatriz, Quiroz-González Beatriz, García-Mateos Rosario, & Ybarra-Moncada Carmen. (2019). Nutraceutical value of fresh and dried chili (*capsicum annum* L.) in different stages of maturity. *BioAgro*, 2, 123–132.
- Romero María A. (2013). *Caracterización de cervezas de malta de maíz y de cebada basadas en su perfil sensorial, compuestos volátiles y capacidad antioxidante*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Romero Nayeli. (2020). *Desarrollo de una cerveza artesanal de maíz rojo (Zea mays) con alta capacidad antioxidante, al evaluar el efecto del tiempo en la etapa de cocción usando dos variedades de lúpulo “Cascade” y “Columbus”, y su evaluación sensorial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Salinas Yolanda, Ramírez Díaz José Luis, Alemán de la Torre Ivón, Bautista Ramírez Edgardo, & Ledesma Miramontes Alejandro. (2021). Evaluación de dos procedimientos de medición de color en granos de maíces pigmentado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Secretaría de Economía. (2018). *NORMA Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017, Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba*.
- Secretaria de Salud. (2006). NMX-FF-107/1-SCFI-2006 PRODUCTOS ALIMENTICIOS – CHILES SECOS ENTEROS (GUAJILLO, ANCHO, MULATO, DE ÁRBOL, PUYA Y PASILLA) – PARTE 1 – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.
- Simón María Rosa, & Golik Silvina. (2018). *Cereales de verano* (Universidad Nacional de la Plata, Ed.).
- Steensels, J., Daenen, L., Malcorps, P., Derdelinckx, G., Verachtert, H., & Verstrepen, K. J. (2015). Brettanomyces yeasts - From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentations. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 206). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.04.005>
- Steinhaus, M., & Schieberle, P. (2000). Comparison of the most odor-active compounds in fresh and dried hop cones (*Humulus lupulus* L. variety spalter select) based on GC-olfactometry

- and odor dilution techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5). <https://doi.org/10.1021/jf990514l>
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. (2012). Introduction to Sensory Evaluation. In *Sensory Evaluation Practices*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-382086-0.00001-7>
- Stone Herbert. (2012). *Sensory Evaluation Practices* (Elsevier).
- Strong Gordon, & England Kristen. (2021). Beer Style Guidelines. In *BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM 2021 STYLE GUIDELINES*.
- Strong Gordon, & England Kristen. (2022). *BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM-Guía BJCP de estilos de cerveza*.
- Taboada J. (n.d.). BEBIDAS FERMENTADAS INDÍGENAS: CACAO, POZOL, TEPACHES, TESGÜINO Y TEJUINO. In Long J (Ed.), *CONQUISTA Y COMIDA* (UNAM).
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch - Composition, fine structure and architecture. In *Journal of Cereal Science* (Vol. 39, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- The Guardian. (2024). *Higher stout consumption driven by female drinkers and low alcohol options*.
- Thebeertimes. (2024, September). *Sendecho mexicano: El renacer de una cerveza ancestral con maíz malteado*. <https://www.thebeertimes.com/Sendecho-Bebida-Ancestral-Mexicana-Con-Maiz-Malteado/>.
- Varela, P., & Ares, G. (2012). Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. In *Food Research International* (Vol. 48, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>
- Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J. D., García-Cabrera, K. E., & Velázquez-Ovalle, G. (2022). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1). <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Verde-Calvo J. R., Escalona Buendía H., Cruz Rodríguez N., & Romero Medina M.A. (2019). *PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ANTIOXIDANTE A BASE DE MAÍZ MALTEADO AZUL Y ROJO*. (Patent 365910).
- Waizel-Bucay José, & Camacho Morfín Roxana. (2011). El género Capsicum spp. ("chile). Una versión panorámica. *Aleph Zero*.
- Xiong, R., & Meullenet, J. F. (2006). A PLS dummy variable approach to assess the impact of jar attributes on liking. *Food Quality and Preference*, 17(3–4). <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.03.006>

8. ANEXOS

8.1 CURVA DE CALIBRACION- PODER DIASTASICO

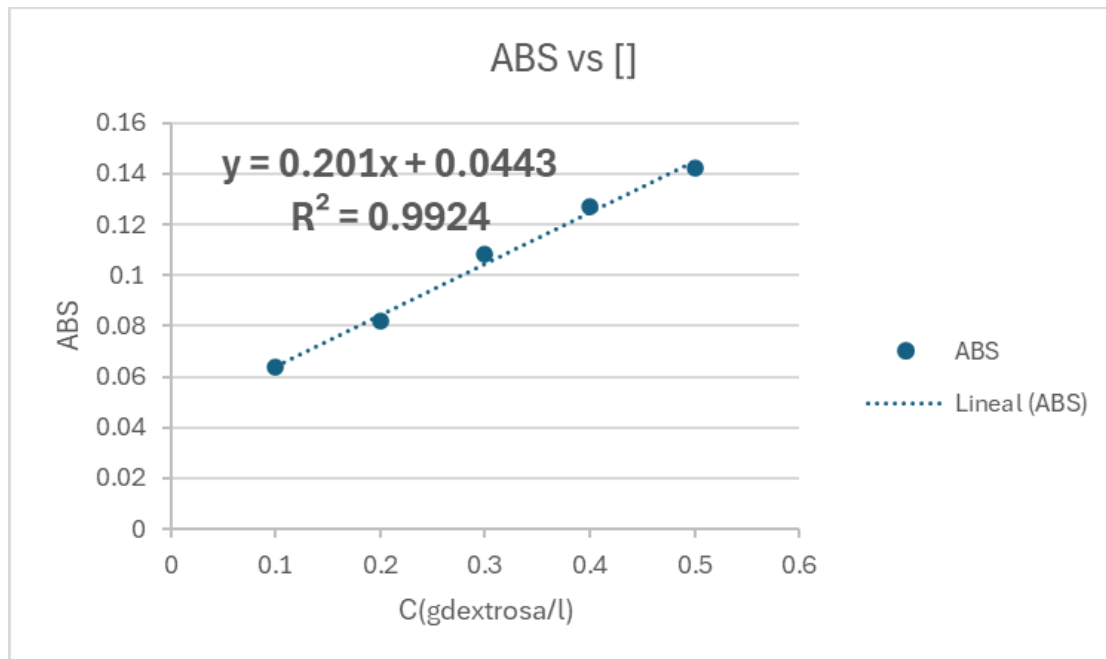


Gráfico 13: Poder diastásico

8.2 CUESTIONARIO APLICADO EN PRUEBA SENSORIAL

EVALUACIÓN SENSORIAL DE CERVEZA STOUT

Estas a punto de comenzar una prueba sensorial de cervezas artesanales, estas pueden contener malta de maíz, malta de cebada, lúpulo, levadura y/o especias como chile, pimienta, canela, etc. (en bajas concentraciones). Los datos que se recolecten en esta encuesta serán utilizados exclusivamente con fines académicos. Su participación es completamente voluntaria, y al continuar, usted acepta colaborar libremente en este estudio. Toda la información proporcionada será tratada de forma confidencial y anónima, respetando estrictamente las normativas éticas y de manejo de datos personales. Si en algún momento decide retirarse, puede hacerlo sin ninguna consecuencia. Al hacer clic en "Iniciar encuesta", usted reconoce haber leído y comprendido esta información, y acepta participar en este estudio.

¿Aceptas participar? Marca solo un óvalo:

☐ Sí ☐ No

- Datos personales:

Nombre completo

¿Con qué género te identificas?

☐ Femenino ☐ Masculino ☐ Otro

Edad

☐ 18 a 29 ☐ 30 a 39 ☐ 40 a 49 ☐ 50 a 59 ☐ + 60

¿Consumes cerveza?

☐ Sí ☐ No

¿Qué tipo de cerveza prefieres?

☐ Clara ☐ Oscura

¿Te gusta la cerveza artesanal?

☐ Sí ☐ No ☐ No la he probado

Si la respuesta anterior fue sí, menciona los estilos que conoces:

Qué marcas comerciales conoces:

Evalúa la cerveza de Maíz sin chile y contesta las siguientes preguntas:

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta la apariencia de la cerveza de Maíz sin chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta el olor de la cerveza de Maíz sin chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta el sabor de la cerveza de Maíz sin chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta la cerveza de Maíz sin chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para la apariencia en la cerveza de Maíz sin chile (selecciona todos los que correspondan).

- ☐ Turbia
- ☐ Partículas suspendidas
- ☐ Persistencia de espuma
- ☐ Brillante
- ☐ Opaco
- ☐ Color café oscuro
- ☐ Color negro

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para el olor en la cerveza de Maíz sin chile (selecciona todos los que correspondan).

- ☐ Floral
- ☐ Frutal
- ☐ Herbal
- ☐ Especiado (pimienta, clavo, canela)
- ☐ Maíz
- ☐ Cereal
- ☐ Cebada
- ☐ Chile
- ☐ Caramelo
- ☐ Mole
- ☐ Chocolate
- ☐ Café
- ☐ Quemado
- ☐ Vegetales cocidos
- ☐ Levadura
- ☐ Alcohol
- ☐ Vinagre

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para el sabor en la cerveza de Maíz sin chile (selecciona todos los que correspondan).

- | | |
|--|--|
| ☐ Frutas cítricas (toronja, limón, naranja) | ☐ Quemado |
| ☐ Hierbas | ☐ Vegetales cocidos |
| ☐ Especiado (pimienta, clavo, canela) | ☐ Levadura (pan) |
| ☐ Maíz | ☐ Alcohol |
| ☐ Cereal | ☐ Vinagre |
| ☐ Cebada | |
| ☐ Chile | |
| ☐ Caramelo | |
| ☐ Mole | |
| ☐ Chocolate | |
| ☐ Café | |

Prueba la cerveza de Maíz sin chile e indica cómo percibes el picante (marca solo un óvalo).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Prueba la cerveza de Maíz sin chile e indica cómo percibes el amargor (marca solo un óvalo).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Prueba la cerveza de Maíz sin chile e indica cómo percibes el cuerpo (marca solo un óvalo).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Evalúa la cerveza de Maíz con chile y contesta las siguientes preguntas:

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta la apariencia de la cerveza de Maíz con chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta el olor de la cerveza de Maíz con chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable

- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta el sabor de la cerveza de Maíz con chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta la cerveza de Maíz con chile (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para la apariencia en la cerveza de Maíz con chile (selecciona todos los que correspondan).

- ☐ Turbia
- ☐ Partículas suspendidas
- ☐ Persistencia de espuma
- ☐ Brillante
- ☐ Opaco
- ☐ Color café oscuro
- ☐ Color negro

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para el olor en la cerveza de Maíz con chile (selecciona todos los que correspondan).

- ☐ Floral
- ☐ Frutal
- ☐ Herbal
- ☐ Especiado (pimienta, clavo, canela)
- ☐ Maíz
- ☐ Cereal
- ☐ Cebada

- ☐ Chile
- ☐ Caramelo
- ☐ Mole
- ☐ Chocolate
- ☐ Café
- ☐ Quemado
- ☐ Vegetales cocidos
- ☐ Levadura
- ☐ Alcohol
- ☐ Vinagre

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para el sabor en la cerveza de Maíz con chile (selecciona todos los que correspondan).

- | | |
|--|--|
| ☐ Frutas cítricas (toronja, limón, naranja) | ☐ Quemado |
| ☐ Hierbas | ☐ Vegetales cocidos |
| ☐ Especiado (pimienta, clavo, canela) | ☐ Levadura (pan) |
| ☐ Maíz | ☐ Alcohol |
| ☐ Cereal | ☐ Vinagre |
| ☐ Cebada | |
| ☐ Chile | |
| ☐ Caramelo | |
| ☐ Mole | |
| ☐ Chocolate | |
| ☐ Café | |

Prueba la cerveza de Maíz con chile e indica cómo percibes el picante (marca solo una opción).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Prueba la cerveza de Maíz con chile e indica cómo percibes el amargor (marca solo una opción).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Prueba la cerveza de Maíz con chile e indica cómo percibes el cuerpo (marca solo una opción).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Evalúa la Minerva y contesta las siguientes preguntas:

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta la apariencia de la Minerva (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta el olor de la Minerva (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta el sabor de la Minerva (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable
- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

Con base en la siguiente escala, indica qué tan agradable te resulta la Minerva (marca solo un óvalo).

- ☐ Extremadamente agradable
- ☐ Medianamente agradable

- ☐ Ligeramente agradable
- ☐ Ni me gusta ni me disgusta
- ☐ Ligeramente desagradable
- ☐ Medianamente desagradable
- ☐ Extremadamente desagradable

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para la apariencia en la Minerva (selecciona todos los que correspondan).

- ☐ Turbia
- ☐ Partículas suspendidas
- ☐ Persistencia de espuma
- ☐ Brillante
- ☐ Opaco
- ☐ Color café oscuro
- ☐ Color negro

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para el olor en la Minerva (selecciona todos los que correspondan).

- ☐ Floral
- ☐ Frutal
- ☐ Herbal
- ☐ Especiado (pimienta, clavo, canela)
- ☐ Maíz
- ☐ Cereal
- ☐ Cebada
- ☐ Chile
- ☐ Caramelo
- ☐ Mole
- ☐ Chocolate
- ☐ Café
- ☐ Quemado
- ☐ Vegetales cocidos
- ☐ Levadura
- ☐ Alcohol
- ☐ Vinagre

A continuación, marca los descriptores que encuentres presentes para el sabor en la Minerva (selecciona todos los que correspondan).

- | | |
|--|--|
| ☐ Frutas cítricas (toronja, limón, naranja) | ☐ Quemado |
| ☐ Hierbas | ☐ Vegetales cocidos |
| ☐ Especiado (pimienta, clavo, canela) | ☐ Levadura (pan) |
| ☐ Maíz | ☐ Alcohol |
| ☐ Cereal | ☐ Vinagre |
| ☐ Cebada | |

- ☐ Chile
- ☐ Caramelo
- ☐ Mole
- ☐ Chocolate
- ☐ Café

Prueba la Minerva e indica cómo percibes el picante (marca solo una opción)

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Prueba la Minerva e indica cómo percibes el amargor (marca solo una opción).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba

Prueba la Minerva e indica cómo percibes el cuerpo (marca solo una opción).

- ☐ Mucho más de lo que esperaba
- ☐ Un poco más de lo que esperaba
- ☐ Justo como lo esperaba
- ☐ Un poco menos de lo que esperaba
- ☐ Mucho menos de lo que esperaba



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00332

Matricula: 2233803571

Análisis fisicoquímicos y sensoriales de una cerveza Stout de maíz cacahuazintle con chile ancho.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 10:30 horas del día 14 del mes de noviembre del año 2025 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. HECTOR BERNARDO ESCALONA BUENDIA
DR. HECTOR MANUEL LUNA CONTLA
DRA. ALEX MARIA DANIELA FLORES CALDERON
MTRA. FRIDA PURA MALPICA SANCHEZ

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

MAESTRA EN BIOTECNOLOGÍA

DE: ANDREA KAREN ARELLANO LOPEZ

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

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

ANDREA KAREN ARELLANO LOPEZ
ALUMNA

REVISÓ
MTRA. ROSALÍA SARRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBS

DR. JOSE LUIS GOMEZ OLIVARES

PRESIDENTE

DR. HECTOR BERNARDO ESCALONA
BUENDIA

VOCAL

DR. HECTOR MANUEL LUNA CONTLA

VOCAL

DRA. ALEX MARIA DANIELA FLORES
CALDERON

SECRETARIA

MTRA. FRIDA PURA MALPICA SANCHEZ