



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**PROCESO DE FABRICACIÓN DE MALTA BASE DE MAÍZ (*Zea Mays*) PARA
LA OBTENCIÓN DE CERVEZA LIBRE DE GLUTEN**

Paula Andrea Boiton Escobar

Asesorado por el Ing. Walter Armando Mansilla González

Guatemala, julio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO DE FABRICACIÓN DE MALTA BASE DE MAÍZ (*Zea Mays*) PARA
LA OBTENCIÓN DE CERVEZA LIBRE DE GLUTEN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PAULA ANDREA BOITON ESCOBAR

ASESORADO POR EL ING. WALTER ARMANDO MANSILLA GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JULIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortíz Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROCESO DE FABRICACIÓN DE MALTA BASE DE MAÍZ (*Zea Mays*) PARA LA OBTENCIÓN DE CERVEZA LIBRE DE GLUTEN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 30 de enero de 2019


Paula Andrea Boiton Escobar

**Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
A la atención de Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director
Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Ciudad de Guatemala**

Ciudad de Guatemala, 12 de agosto del 2019

Señor director

Haciendo uso de este medio, comunico que he revisado el informe final de investigación del trabajo de graduación de la estudiante de ingeniería química Paula Andrea Boiton Escobar con número de CUI 2241 09510 0101 y registro académico 200714601, con el título: "PROCESO DE FABRICACIÓN DE MALTA BASE DE MAÍZ (Zea Mays) PARA LA OBTENCIÓN DE CERVEZA LIBRE DE GLUTEN"; reputando el cumplimiento de su contenido, con los requerimientos de un trabajo de graduación de ingeniería química.

Por tanto, en calidad de asesor, expreso mi aprobación del informe final de investigación de trabajo de graduación.

Sin más que manifestar, me despido atentamente:



Walter Armando Mansilla González
Colegiado No. 1916
CUI: 2447 91694 0101

Walter Armando Mansilla González
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1916



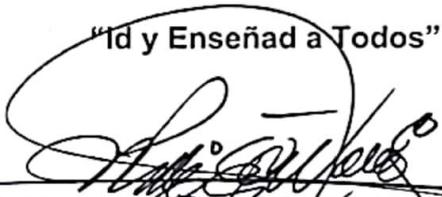
Guatemala, 19 de octubre de 2020 .
Ref. EIQ 270.

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el **ÍNFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO PROCESO DE FABRICACIÓN DE MALTA BASE DE MAÍZ (Zea Mays) PARA LA OBTENCIÓN DE CERVEZA LIBRE DE GLUTEN** del(la) estudiante Paula Andrea Boiton Escobar, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

"Id y Enseñad a Todos"

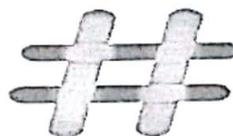

Ing. Williams G. Álvarez Mejía, M.I.Q.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/mpea



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**

DTG. 335.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **PROCESO DE FABRICACIÓN DE MALTA BASE DE MAÍZ (*Zea Mays*) PARA LA OBTENCIÓN DE CERVEZA LIBRE DE GLUTEN**, presentado por la estudiante universitaria: **Paula Andrea Boiton Escobar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Porque sin él no soy nada, sin su amor y sabiduría no podría haber alcanzado mi meta.
Mi padre	Hugo Boiton, en su memoria, su amor y su confianza en mí sentaron las bases para convertirme en la profesional que soy.
Mi madre	Paula Escobar, por su amor, apoyo y mayor ejemplo de ingenio, fortaleza y perseverancia.
Mi abuelita	María Yoc, por sus cuidados, apoyo, amor y comprensión inigualables, ha sido además mi mejor ejemplo de liderazgo.
Mi hermana	Ana María Boiton, mi tercera madre; por su apoyo y ejemplo como una de las profesionales y personas con mayor rectitud e integridad.
Mis sobrinos	Hugo y Maco, realmente mis hermanos, mis mejores amigos, mis cómplices y compañeros de vida.
Mis hermanos	Renato y Hugo Boiton, porque desde la distancia sentí siempre su amor y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por siempre impulsarme hacia la búsqueda de conocimiento y educación en nuestro país.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para desarrollarme profesionalmente, inculcarme perseverancia y tenacidad en cada etapa.
Mi familia	Sin su amor y apoyo incondicional no hubiera sido capaz de alcanzar mis metas.
Mis amigos de la Facultad	Karen Morales, Walter Mansilla y María Fernanda Vásquez; mi vida universitaria no hubiera sido la misma sin ustedes, mis colegas, amigos, mentores y familia estaré eternamente agradecida.
Mi asesor	Ing. Walter Armando Mansilla González, por su guía, apoyo, amistad incondicional y sobre todo ejemplo de profesionalismo, investigación y sapiencia.
Señor José Carlos Guerra	Por encontrarme al final del camino y apoyarme incondicionalmente en culminar esta meta y todas las que me propongo.

Mis amigas

Glenda Oliva, Karla Morales, Carol Jiménez y Dania Díaz, mis hermanas del alma; cada una haciendo aportes significativos en mi vida desde la infancia. Por sus invaluable consejos, regaños, apoyo, amistad y complicidad.

Mi prima

Ligia López Boiton, una de las personas y profesionales más admirables, una verdadera heroína sin capa, muchas gracias por cuidar de todos nosotros siempre.

Mis primos

Luis y Manuel López por su cariño y apoyo en todo momento.

Cervecería Pantera

Por todo su apoyo, especialmente al maestro cervecero Luis Escobar por impulsar el conocimiento y cultura cervecera en Guatemala.

	2.5.2.4.1.	Cervezas Ale.....	8
	2.5.2.4.2.	Cervezas Lager.....	8
2.6.		Elaboración de cerveza.....	8
2.6.1.		Malta	9
	2.6.1.1.	Poder diastásico.....	11
	2.6.1.2.	Enzimas en la elaboración de cerveza.....	11
	2.6.1.2.1.	Beta glucanasa	13
	2.6.1.2.2.	Amilasa	14
	2.6.1.2.3.	Proteasa.....	14
	2.6.1.2.4.	Enzimas adicionales utilizadas en la elaboración de cerveza.....	15
	2.6.1.3.	Maíz	16
	2.6.1.3.1.	Estructura del grano de maíz	16
	2.6.1.4.	Tipos de malta.....	19
	2.6.1.4.1.	Malta base.....	19
	2.6.1.4.2.	Maltas Caramel	20
	2.6.1.4.3.	Maltas tostadas/torrefactas.....	20
	2.6.1.4.4.	Maltas oscuras	21
	2.6.1.5.	Elaboración de maltas	21
	2.6.1.6.	Selección y preparación del grano	22
	2.6.1.7.	Humidificación	22
	2.6.1.8.	Germinación	23
	2.6.1.9.	Secado y limpieza	23
	2.6.1.10.	Tostado	24

2.6.2.	Fabricación de cerveza.....	25
2.6.2.1.	Acondicionamiento de la malta	25
2.6.2.2.	Maceración	26
2.6.2.3.	Cocción.....	28
2.6.2.4.	Fermentación.....	30
2.6.2.5.	Clarificación	31
2.6.2.6.	Embotellado.....	31
2.6.3.	Controles de calidad orientados al producto.....	31
2.6.3.1.	Evaluación de parámetros físicoquímicos en la cerveza	32
2.6.3.1.1.	Reacciones elementales del proceso.....	32
2.6.3.1.2.	Cálculo de atenuación ..	33
2.6.3.1.3.	Cálculo de alcohol producido.....	34
2.6.3.1.4.	Cálculo de amargor	34
2.6.3.1.5.	Cálculo de carbonatación	35
2.6.3.2.	Términos para calidad y sabores extraños.....	36
2.6.3.3.	Referencia de color.....	38
2.6.3.4.	Características de producto	38
2.6.3.5.	Contaminación microbiológica	40
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	43
3.1.	Variables.....	43
3.2.	Delimitación de campo de estudio	45
3.3.	Recursos humanos disponibles	46

3.3.1.	Investigador.....	46
3.3.2.	Asesor	47
3.4.	Recursos materiales.....	47
3.4.1.	Insumos y materia prima	47
3.4.2.	Equipos y accesorios de producción	48
3.4.3.	Instrumentos y cristalería control de calidad	50
3.4.4.	Reactivos necesarios de acuerdo al perfil del agua de fabricación	50
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	51
3.5.1.	Variables cuantitativas	51
3.5.2.	Variables cualitativas.....	52
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	53
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	55
3.8.	Análisis estadístico.....	62
3.8.1.	Análisis estadístico en pruebas de aceptación del producto	63
3.8.2.	Análisis estadístico en pruebas de adaptación del estilo.....	69
4.	RESULTADOS.....	73
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	81
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	APÉNDICES.....	95
	ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Composición química de diferentes cereales.....	10
2.	Composición química de las partes del grano de maíz.....	18
3.	Estructura del grano de maíz	19
4.	Composición de amilosa y amilopeptina	27
5.	Actividad de enzimas sobre el almidón	28
6.	Principales desventajas producidas por el crecimiento y la actividad de los microorganismos que descomponen la cerveza.....	42
7.	Elaboración de malta base y maltas de maíz.....	53
8.	Fabricación de cerveza de maíz libre de gluten	54
9.	Evaluación del estilo de cerveza en pruebas con expertos.....	74
10.	Porcentaje de aceptación del producto en pruebas con expertos.....	75
11.	Porcentaje de aceptación del producto en pruebas con población normal	75
12.	Orden de preferencia expertos de acuerdo a lotes producidos.....	76
13.	Orden de preferencia población normal de acuerdo a lotes producidos.....	76
14.	Resultados evaluación características de color	77
15.	Resultados evaluación características de olor	77
16.	Resultados evaluación características de sabor	78
17.	Resultados evaluación características de amargor.....	78

TABLAS

I.	Referencia de etiquetas de estilo.....	6
II.	Enzimas en la fabricación de cerveza y sus efectos.....	12
III.	Rendimientos de las operaciones unitarias del proceso de fabricación de cervezas	33
IV.	Asignación de valores SRM.....	38
V.	Variables de control en el suministro de agua de fabricación	43
VI.	Variables de control en el proceso de malteado	43
VII.	Variables de control en el proceso de fabricación de cerveza	44
VIII.	Variables de control de calidad de cerveza	45
IX.	Variables cuantitativas	51
X.	Variables cualitativas	52
XI.	Selección y preparación de granos de maíz blanco.....	55
XII.	Selección y preparación de granos de maíz amarillo.....	55
XIII.	Proceso de malteado maíz blanco.....	56
XIV.	Proceso de malteado maíz amarillo.....	56
XV.	Proceso de gelatinización de almidón maíz blanco	57
XVI.	Proceso de gelatinización de almidón maíz amarillo	57
XVII.	Proceso de maceración maíz blanco.....	57
XVIII.	Proceso de maceración maíz amarillo.....	58
XIX.	Procesos de cocción y enfriamiento en maíz blanco	58
XX.	Procesos de cocción y enfriamiento maíz amarillo	59
XXI.	Proceso de hidratación de la levadura maíz blanco.....	59
XXII.	Proceso de hidratación de la levadura maíz amarillo.....	60
XXIII.	Proceso de fermentación	60
XXIV.	Proceso de clarificación para ambos tipos de maíz.....	61
XXV.	Proceso de carbonatación para ambos tipos de maíz	61

XXVI.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en etapa de maduración	61
XXVII.	Resultados estadística general de preferencia	69
XXVIII.	Resultados de pruebas estadísticas en lotes mayormente aceptados.....	69
XXIX.	Resultados estadística general de la evaluación de estilo por expertos	72
XXX.	Resultados de pruebas estadísticas en evaluación de estilo entre lotes mayormente aceptados	72
XXXI.	Resultados proceso de malteado maíz blanco.....	73
XXXII.	Resultados proceso de malteado maíz amarillo.....	73
XXXIII.	Resultados parámetros fisicoquímicos.....	74
XXXIV.	Resultados análisis microbiológico	79

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
X_n	Dato de n observación
s	Desviación típica o estándar muestral
d	Días
f_i	Frecuencia absoluta
E_{ij}	Frecuencia esperada
O_{ij}	Frecuencia observada
gl	Grados de libertad
g	Gramo
hL	Hectolitro
h	Horas
IC	Intervalo de confianza
Kg	Kilogramos
LCI	Límite de confianza inferior
LCS	Límite de confianza superior
L	Litro
\bar{x}	Media muestral
μ_1	Media poblacional experimento 1
μ_2	Media poblacional experimento 2
\bar{x}_p	Media ponderada
mL	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minutos

α	Nivel de significancia
k	Número de categorías
q	Número de parámetros poblacionales
w_a	Ponderación de acuerdo al atributo evaluado
x_i	Ponderación del dato ordinal
%	Porcentaje
X_0^2	Prueba de ji cuadrada
n	Tamaño de la muestra
$^{\circ}\text{C}$	Temperatura en grados Celsius
UFC	Unidades formadoras de colonias
Z_{γ}	Valor crítico
$X_{\alpha,gl}^2$	Valor de ji cuadrada en el nivel de significancia y grados de libertad determinados.
s^2	Varianza muestral
σ_1^2	Varianza poblacional experimento 1
σ_2^2	Varianza poblacional experimento 2

GLOSARIO

ABV	Alcohol by Volumen, Contenido de alcohol por volumen.
Ale	Cervezas de alta fermentación fabricadas a temperatura ambiente entre rangos de 15 a 25 °C.
ASBC	<i>American Society of Brewing Chemist</i> , Sociedad Americana de Química Cervecera.
BJCP	Beer Judge Certification Program, guía para la clasificación de estilos de cerveza.
Celíacos	Personas intolerantes al gluten, que pueden desarrollar un proceso crónico y multiorgánico autoinmune.
DMS	Sulfuro de di metilo.
Enzima	Proteína que se combina con uno o más compuestos de forma que reaccionan específicamente a mucha mayor velocidad que en ausencia de la misma.
Fermentación	Proceso anaeróbico realizado por levaduras y algunas clases de bacterias que transforman azúcares en alcohol etílico y dióxido de carbono.

FG	Final Gravity. Gravedad específica final, gravedad específica posterior al proceso de fermentación.
GACBB	Global Association of Craft Beer Brewers. Asociación Internacional de Cerveceros Artesanales con base en Alemania.
Germinación	Acción de comenzar a desarrollarse desde la semilla respecto a un vegetal.
GF	Gluten free, libre de gluten.
Gluten	Fracción proteínica presente en diferentes cereales como trigo, centeno, cebada, avena o sus variedades híbridas y derivados de los mismos.
<i>Homebrewing</i>	Proceso de fabricación de cerveza artesanal casera.
IBU	<i>International Bitterness Unit</i> , Unidades Internacionales de Amargor.
Lager	Cervezas de baja fermentación fabricadas a temperaturas entre 4 y 9 °C.
Levadura	Microorganismo productor de enzimas capaces de provocar la fermentación alcohólica de hidratos de carbono.
MA1	Primer lote de cerveza fabricada con maíz amarillo.

MA2	Segundo lote de cerveza fabricada con maíz amarillo.
Malta	Grano germinado, desecado y tostado levemente, que se emplea en la elaboración de cerveza e infusiones.
MB1	Primer lote de cerveza fabricada con maíz blanco.
MB2	Segundo lote de cerveza fabricada con maíz blanco.
Mosto	Líquido extraído de la malta durante la etapa de maceración y previo a la fermentación en un proceso de fabricación de cerveza.
OG	<i>Original Gravity</i> . Gravedad específica original, gravedad antes del proceso de fermentación.
Poder diastásico	Potencial de un grano para convertirse a sí mismo en azúcares fermentables, durante el proceso de maceración.
Saccharomyces cerevisiae	Tipo de levadura utilizada para la fabricación de pan, cervezas y vino, especialmente para cervezas tipo Ale.
Saccharomyces carlsbergensis (o pastorianus)	Tipo de levadura utilizada en la industria para la fabricación de cervezas tipo lager.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se desarrolló un proceso para la fabricación de malta base de maíz con la finalidad de producir cervezas libres de gluten. La calidad de la malta se evaluó en cuatro lotes de cerveza tipo *Blonde Ale* utilizando maíz amarillo y maíz blanco de la región.

La malta se trabajó en condiciones propicias para la germinación de granos de maíz, se secó en deshidratadores solares fabricados con material reciclado y finalmente el tostado se realizó en un horno de convección natural.

Posteriormente la malta se procesó junto con insumos libres de gluten y equipos dedicados eliminando la posibilidad de trazas. La fabricación de cerveza se realizó como un proceso regular de la industria, incluyendo únicamente dos operaciones suplementarias; la adición de enzimas industriales para compensar el poder diastásico de la malta por la falta de cebada y la gelatinización del almidón presente en los granos de maíz.

Se determinó a través de un panel de diez expertos y una muestra poblacional general de 30 individuos que los lotes mayormente aceptados cumplen con las características del estilo de cerveza planteados y agradó en ambas poblaciones de estudio. Se demuestra, una indiferencia estadística en las cervezas al utilizar cualquiera de los dos tipos de maíz con un nivel de confianza del 95 %.

OBJETIVOS

General

Diseño e implementación de un proceso de fabricación de malta base de maíz para la fabricación de cerveza sin gluten.

Específicos

1. Elaborar malta base utilizando únicamente granos de maíz con un proceso libre de gluten.
2. Utilizar enzimas industriales con la finalidad de suplir las enzimas naturales proporcionadas por los granos de cebada en la fabricación de cerveza regular.
3. Verificar la calidad de la cerveza de acuerdo a las pruebas orientadas al producto para una cerveza con granos alternativos.

HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa:

Es posible fabricar cerveza artesanal libre de gluten con malta exclusivamente compuesta por granos de maíz y enzimas industriales, que cumpla características mínimas de calidad, similares al estilo de cerveza tipo *Blonde Ale* y aceptación general.

INTRODUCCIÓN

Desde la edad antigua la cerveza ha representado una de las bebidas alcohólicas más populares del planeta, consumida desde hace siglos algunos estudios consideran sus inicios en la antigua Mesopotamia en el período neolítico.

Originalmente producida a partir de granos de cebada malteados, con el avance del tiempo fueron introduciéndose ingredientes tradicionales como lúpulos y levaduras, así como en algún momento de la historia su popularización y crecimiento al industrializarse.

Posterior al auge de la era industrial, hace algún tiempo regresaron a nivel mundial tendencias en mercadeo de alimentos artesanales, no transgénicos, veganos, orgánicos, sin hormonas añadidas, entre otros. Libre de gluten especialmente para los enfermos celíacos.

Guatemala no ha sido la excepción y en la fecha actual ha iniciado la apertura del mercado de cerveza artesanal; sin embargo, aún no se poseen opciones locales de cerveza libre de gluten y las cervezas internacionales de esta índole se encuentran aún de manera escasa, razón por la cual el presente estudio plantea una contribución posible al mercado.

La diferencia fundamental de la investigación radica, en que para elaborar cualquier tipo o estilo de cerveza es necesaria la utilización de malta fabricada con granos de cebada, debido a su alto poder diastásico y su aporte de enzimas

para la conversión de almidón a azúcares que puedan ser convertidos posteriormente en alcohol por acción de la levadura.

La idea principal del trabajo es que las enzimas aportadas por la cebada puedan suplirse por enzimas industriales sintetizadas. A través del marco teórico se plantean diferentes estilos y tipos de cerveza, las características y similitudes del grano escogido para la investigación, conjuntamente la acción de las enzimas que empiezan a ser utilizadas a nivel mundial en la industria cervecera con la finalidad de optimizar los procesos.

El tipo de grano escogido fue el maíz debido a su alto contenido en almidón y la similitud en su perfil químico con el de la cebada, además de su alta disponibilidad en la región.

Los tipos de maíz malteados fueron el amarillo y el blanco que, en conjunto con lúpulo, levadura y enzimas industriales libres de gluten, fueron utilizados en equipos dedicados para producir una cerveza libre de gluten tipo *Blonde Ale*, determinando parámetros de proceso y posterior aceptación de estilo y gusto.

1. ANTECEDENTES

En la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala existen estudios preliminares enfocados hacia los enfermos celíacos, tal es el caso de la tesis del proceso de fabricación de harina de coco (*Cocos nucifera*) para la obtención de un producto de panificación para personas celíacas.

Estudios diversos se han realizado además para la identificación de las características que aporta el maíz en la fabricación de cerveza, por Nicolás de León en su trabajo de graduación análisis de las propiedades fisicoquímicas que aporta el maíz negro (*Zea mays* L.) en la elaboración de cerveza a tres diferentes temperaturas de fermentación.

En la universidad Zamorano en Honduras se aprobó el trabajo de graduación del desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), carbonatada con azúcar y miel de abeja, para la Facultad de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, por Gustavo Mencia y Ricardo Pérez, utilizando en ambos casos el maíz como granos adjuntos.

Guillame Ore en el 2016, publicó su artículo *Design and production of maize beer*, este especifica un proceso macro para la creación de una cerveza fabricada de maíz y algunas eficiencias del proceso para la revista de Ingeniería Química de la Universidad Ural en Rusia; también la universidad UAM en México posee estudios sobre cerveza artesanal con propiedades antioxidantes, utilizando maíz rojo y azul en este aclara la importancia de los grados de tueste para la aceptación de las cervezas con malta de maíz.

Las reducción de costos al utilizar maíz como grano adjunto se ha hecho muy popular en el mundo, demostrado por trabajos como el de Rogério Bailly y Silvério Silva, en el 2014 en su artículo científico *An economically viable way to produce beer from the maize malt* y en Perú con el trabajo de graduación Tecnología para la elaboración de una cerveza Artesanal tipo ale, con sustitución parcial de malta (*Hordeum vulgare*), por guiñapo de maíz morado (*Zea mays*) por las ingenieras Ruth Machaca y Yessenia Atencio.

Las características propias de los granos de maíz han sido ampliamente estudiadas a través de la historia como es el caso del trabajo de graduación Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento del instituto de ciencias básicas e ingeniería de la UNAM en México del 2008, y Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis por Edith Agama y Erika Juárez en 2012.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cervezas artesanales

Las cervezas artesanales se encuentran clasificadas inicialmente por el volumen de producción y por diferentes aspectos que se detallan a continuación:

2.2. Fabrica casera

La cerveza artesanal de fábrica casera; como su nombre lo indica es fabricada en una casa utilizando locaciones comunes como; la cocina, el garaje o el patio trasero. Su elaboración se realiza para el consumo personal y no posee fines comerciales. Generalmente los lotes de producción no sobrepasan los 20 litros, en la cultura popular a nivel internacional este tipo de cerveza se denomina *homebrewing* término adoptado en estados unidos, debido al auge que tuvo este tipo de fabricación durante los años de 1920 debido a la ley seca implantada en la nación.

2.3. Cervecerías Pub

Este tipo de cerveza artesanal se distingue por ser una fábrica pequeña, tipo taberna o cantina en donde la producción se encuentra esencialmente dirigida a clientes. Los establecimientos de este tipo ofrecen la posibilidad de elegir diferentes tipos de cervezas de barril y de botella.

2.4. Micro cervecería

Este tipo de fabricación es la conocida comúnmente como cerveza artesanal.

Este tipo de cerveza suelen ser fábricas pequeñas que producen un volumen limitado de cerveza, los dueños son independientes y trabajan a título personal. Una fabricación casera puede convertirse en una micro cervecería manteniendo volúmenes constantes de fabricación y calidad.

La Brewers Association de Estados Unidos establece tres requisitos para considerar a un cervecero como artesanal:

- Ser productor de volúmenes pequeños de 15 000 litros de cerveza por año.
- Ser independiente y no estar relacionado con ninguna empresa fabricante.
- Cuidar el aspecto tradicional de su método de fabricación.

2.5. Tipos y estilos de cervezas

En el ámbito cervecero es habitual toparse con el enunciado que establece la existencia de tantos tipos de cerveza como fabricantes hay; sin embargo, se han integrado a través de la historia selectos grupos de individuos que se han dedicado a ordenar de manera sistemática las diferentes modalidades y estilos de cerveza que existen en todo el mundo; aun así, estas organizaciones también hacen hincapié en que sus clasificaciones si bien son una pauta, las mismas no son especificaciones y no limitan diferentes clasificaciones como resultado de variaciones en procesos de fabricación, ingredientes o regiones.

Las organizaciones generalmente reconocidas para la clasificación de los diferentes estilos de cerveza suelen ser: la BJCP *Beer Judge Certification*

Program, orientada al adiestramiento y certificación de jueces, se creó originalmente para uso en competiciones de cerveceros caseros siendo posteriormente adoptada en todo el mundo para describir la cerveza en general, existe además la *BA Brewers Association* y la *GACBB Global Association of Craft Beer Brewers* o Asociación Internacional de Cerveceros Artesanales creada en 2014 en Alemania, nace con el objetivo de empoderar a los pequeños cerveceros independientes de todas partes del mundo mediante la colaboración entre sus miembros.

2.5.1. Estilos de cerveza

Las características generales de un estilo en cuanto a cervezas suelen describirse a través de la densidad inicial (*Original Gravity, OG*), densidad final (*Final Gravity, FG*), alcohol por volumen (*Alcohol by Volumen, ABV*), unidades internacionales de amargor (*International Bitterness Unit, IBU*) y de color expresado según el *Standard Reference Method (SRM)* de la *American Society of Brewing Chemist (ASBC)*. Estas características suelen denominarse como Estadísticas Vitales y siguen siendo una guía más no parámetros absolutos; sin embargo; la BJCP establece tablas de referencia con la finalidad de categorizar de manera más estandarizada los estilos:

Tabla I. Referencia de etiquetas de estilo

Categoría	Etiqueta	Significado
Intensidad	Intensidad-baja	< 4 % ABV
	Intensidad-estándar	4 – 6 % ABV
	Intensidad-alta	6 – 9 % ABV
	Intensidad-muy alta	> 9 % ABV
Color	Color pálido	Pajizo a dorado
	Color ámbar	Ámbar a marrón-cobrizo
	Color oscuro	Marrón oscuro a negro
Fermentación acondicionamiento	Fermentación-alta	Levadura Ale
	Fermentación-baja	Levadura Lager
	Cualquier-fermentación	Levadura Ale o Lager
	Fermentación-salvaje	Levadura no Saccharomyces/bacterias
	<i>Lagered</i>	Acondicionamiento en frío
	Envejecida	Largo acondicionamiento previo
Región de origen	Islas Británicas	Inglaterra, Gales, Escocia, Irlanda
	Europa-Occidental	Bélgica, Francia, Países Bajos
	Europa-Central	Alemania, Austria, República Checa, Escandinavia
	Europa-Oriental	Polonia, Estados Bálticos, Rusia
	América del Norte	Estados Unidos, Canadá, México
	Pacífico	Australia, Nueva Zelanda

Fuente: Beer Judge Certification Program. *Guía de estilos de cerveza 2015*. p. XII.

2.5.2. Tipos de cerveza

Como se remarcó anteriormente la cerveza posee una amplia gama de clasificaciones; sin embargo, pueden utilizarse de manera general y popular la siguiente clasificación.

2.5.2.1. Tipos de cerveza según su aspecto

Clasificada de acuerdo al color y turbidez, suele ser la clasificación popularmente utilizada: clara y oscura con sus diferentes sinónimos; rubia, ámbar, negra, turbia.

2.5.2.2. Tipo de cerveza según los ingredientes empleados

La cerveza consumida comúnmente suele fabricarse a partir de malta y grano de cebada; sin embargo, debido a diversas razones de tipo económico, sabor, aroma y alergias como en el caso de los enfermos celíacos objeto de este estudio, las cervezas pueden fabricarse a partir de otros granos como; trigo, avena, centeno, maíz, mijo, alforfón, tanto como adjuntos como grano principal.

2.5.2.3. Tipo de cerveza según su procedencia

Los tipos de cervezas de acuerdo a su locación geográfica suele ser una clasificación común a nivel global, describiendo así las cervezas tipo belga, alemanas, británicas, americanas, escocesas entre otras. Además de referirse a un país una cerveza también puede ser clasificada de acuerdo a una región específica tal es el caso de la cerveza Pilsen; que es originaría de la ciudad Pilsen en Republica Checa y representa el estilo con mayor auge a nivel mundial.

2.5.2.4. Cervezas según el tipo de fermentación

Este tipo de clasificación es la más utilizada a nivel técnico en la industria cervecera. Las cervezas de acuerdo al proceso de fermentación se dividen en dos grandes grupos; cervezas Ale y cervezas Lager. Las cervezas Ale se fabrican a temperatura ambiente en rangos de 15 °C a 25 °C, mientras que las cervezas Lager poseen procesos de fermentación de 4 a 9 °C a continuación se describen características detalladas de cada una.

2.5.2.4.1. Cervezas Ale

Durante el proceso de fermentación de las cervezas Ale, la levadura generalmente utilizada es *Saccharomyces cerevisiae* y posee una temperatura óptima de desarrollo en el rango de 15 a 25 °C, permitiendo su elaboración en condiciones ambientales, su tiempo de fermentación es relativamente corto de una a dos semanas, permaneciendo la levadura cerca de la superficie del mosto al final del proceso fermentativo, por esta razón suelen denominarse de fermentación alta. Suelen poseer mayor complejidad que las cervezas Lager y una amplia gama de aromas afrutados producto de su alto contenido de ésteres.

2.5.2.4.2. Cervezas Lager

Este tipo de cervezas se elaboran mediante el empleo de levaduras *Saccharomyces carlsbergensis* (o *pastorianus*). A diferencia de las Ale, estas tienden a descender hasta depositarse en el fondo del tanque es por ello que se utiliza el término “de baja fermentación”. El tipo de levadura empleado fermenta de manera óptima a temperaturas entre 4 °C y 9 °C. Requieren además de almacenamiento prolongado en tanques fríos. Anteriormente esto se realizaba en cavernas de donde viene su nombre originalmente del alemán *Lagern* que significa almacenar.

2.6. Elaboración de cerveza

El proceso de elaboración de cerveza puede resumirse en las siguientes actividades principales:

- Elaboración de malta
- Obtención de azúcar de la malta

- Cocción del mosto (líquido sacarino)
- Fermentación
- Carbonatación

Generalmente los cerveceros artesanos adquieren su propia malta, puesto que la elaboración de la misma suele ser un proceso adicional y extenso; sin embargo, dichas maltas no suelen conseguirse con las características requeridas al no ser libres de gluten.

2.6.1. Malta

La malta constituye el segundo ingrediente más importante usado (por cantidad) en el proceso de elaboración después del agua. La malta aporta los azúcares que posteriormente la levadura fermentará. También es el agente principal que le otorga el color a la cerveza, y uno de los mayores contribuyentes al sabor, el aroma y el cuerpo de la cerveza. Las proteínas de sus granos dan estructura a la espuma, además aportan los nutrientes esenciales que necesita la levadura para desarrollarse.

Para el proceso de malteado, únicamente se seleccionan los granos de la más alta calidad. Esta selección depende entre otras cosas, de un contenido de almidón alto, del tamaño uniforme del grano, un bajo contenido de nitrógeno y un alto poder diastásico. Este último hace referencia a la habilidad de los granos para descomponer las complejas moléculas de almidón en azúcares fermentables.

La malta es por defecto el componente con mayor contenido de gluten en las cervezas tradicionales puesto que suele fabricarse a partir de cebada. La cebada posee una germinación breve, un alto contenido de almidón y un alto

poder diastásico; además, contiene una considerable concentración proteica, hecho que reduce la turbidez de la cerveza.

Suelen utilizarse además maltas elaboradoras a partir de trigo, centeno, y avena con la finalidad de realzar el cuerpo de la cerveza y facilitar la formación y retención de espuma, contribuyendo a la elaboración de cervezas más complejas con sabores únicos; sin embargo, estos cereales también contienen gluten y no formarán parte del presente estudio.

Como se puede observar en la figura 1, se describen las principales características químicas de diferentes cereales utilizados para la fabricación de malta y como granos adjuntos en la producción de cerveza. La composición química del maíz posee cierta semejanza con la cebada en la mayoría de características a excepción de otros hidratos de carbono no identificados.

Figura 1. **Composición química de diferentes cereales**

COMPONENTES	Trigo	Centeno	Maíz	Cebada	Avena	Arroz	Mijo
Agua	13.2	13.7	12.5	11.7	13.0	13.1	12.1
Proteína	11.7	11.6	9.2	10.6	12.6	7.4	10.6
Lípidos	2.2	1.7	3.8	2.1	5.7	2.4	4.1
Almidón	59.2	52.4	62.6	52.2	40.1	70.4	64.4
Otros HCO^b	10.1	16.6	8.4	19.6	22.8	5.0	6.3
Fibra cruda	2.0	2.1	2.2	1.6	1.6	0.7	1.1
Minerales	1.5	1.9	1.3	2.3	2.9	1.2	1.6

(Tomada de Astiasarán y Martínez 1999).
a= Expresado en %.
b= HCO: Hidratos de Carbono.

Fuente: BENÍTEZ, Tomas. *Tesis caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. p. 9.

2.6.1.1. Poder diastásico

El poder diastásico hace mención a la capacidad enzimática de la malta; es decir, al potencial que tiene el grano para convertirse a sí mismo en azúcares fermentables, durante el proceso de macerado.

Se basa en la relación entre el almidón y las enzimas. Cuando una malta tiene suficientes enzimas para modificar todo su almidón, sugiere un alto poder diastásico; por el contrario, si la malta posee un alto contenido de almidón, pero pocas enzimas esta poseerá un bajo poder diastásico.

En consecuencia, granos con pocas o ninguna enzima deben considerar requerimientos especiales, porque podría repercutir en una cerveza sin ningún azúcar para fermentar.

Actualmente los cerveceros artesanales han comprobado que es posible la adición de enzimas amilasas, para las cervezas que poseen una alta cantidad de granos adjuntos. “Se piensa que pueden ser elaboradas cervezas con solo 5 % de malta y 95 % de cebada cruda mediante el empleo de enzimas añadidas”.¹

Las marcas más conocidas de este tipo de productos son L.D Carlson y BSG (Antes Crosby & Baker).

2.6.1.2. Enzimas en la elaboración de cerveza

Son diversas las enzimas utilizadas en la elaboración de cerveza de acuerdo a su acción y propiedades. “En la industria cervecera las enzimas se dividen en cuatro procesos principales que son: germinación, maceración,

¹ GONZÁLEZ, Marcos. *Principios de elaboración de cervezas artesanales*. p. 65.

fermentación y clarificación”². Elaborar cerveza requiere de un gran conocimiento de enzimología ya que cada enzima posee su propia temperatura de activación, y puede inactivarse cuando el medio se encuentra considerablemente lejos de ese punto.

Las cuatro enzimas generalmente utilizadas en la elaboración de cerveza son: beta glucanasa, proteasa, alfa amilasa y beta amilasa. Las enzimas pueden ser endógenas del proceso o externas (comerciales). Las enzimas comerciales pueden ser utilizadas para proporcionar mayores atributos de calidad respecto a clarificación, color, textura o sabor y algunas veces es necesario una fuente externa de enzimas cuando en el macerado no se producen suficientes enzimas, para descomponer e hidrolizar el almidón, lo cual puede producir una cerveza de baja calidad y menor rendimiento.

A continuación, se describe el uso de las enzimas generalmente utilizadas:

Tabla II. **Enzimas en la fabricación de cerveza y sus efectos**

Enzima	Origen	Proceso	Función
α – Amilasa	Endógeno en el grano de cebada. Bacillus licheniformis Bacillus subtilis	Malteado Macerado	Hidrólisis del almidón Mejora de la clarificación
β – Amilasa	Endógeno en el grano de cebada. Grano de trigo Bacillus licheniformis	Malteado Macerado	Hidrólisis del almidón Mejora del malteado Mejora de la sacarificación Aumento del rendimiento de fermentación
β – Glucanasa	Endógeno en el grano de cebada. Trichoderma sp. Orpinomyces sp.	Malteado Macerado Fermentación	Mejora del malteado Baja viscosidad Mejora de la clarificación Ayuda en la producción de una verruga clara.

² GONZÁLEZ, Marcos. *Principios de elaboración de cervezas artesanales*. p. 65.

Continuación de la tabla II.

α – Amilasa fúngica	Aspergillus sp.	Fermentación	Aumentar el rendimiento de fermentación
Proteasa	Endógeno en el grano de cebada. Aperguillus sp. Látex de piña	Maltado Almacenamiento del macerado	Mejora del malteado Mejora de la fermentación Mejorar de la clarificación Mejora en la calidad de refrigeración y almacenamiento
α -acetolactato-descarboxilasa (ALDC)	Bacillus subtilis recombinante	Fermentación	Reduce el tiempo de fermentación
Amiloglucosidasa	Aspergillus niger	Macerado	Aumenta la cantidad de glucosa en el mosto

Fuente: Journal of nutrition and food science forecast. *Application of enzymes in brewing*. p. 4.

2.6.1.2.1. Beta glucanasa

Posee importancia durante los procesos de malteado y macerado, en donde disminuye la viscosidad de las verrugas en los granos y ayuda a las proteasas a la hidrólisis de la matriz de los gránulos de almidón para hacer que el grano se reblandezca durante la germinación. La beta glucanasa comercial de organismos microbianos se utiliza generalmente para la producción de cervezas ligeras y un tiempo de maduración más corto además de sus funciones originales en filtros de malteado y maceración para mejorar la textura y la calidad.

“La cantidad de enzima comercial generalmente utilizada es de 0,3 a 1,0 kg por tonelada de mosto. La beta glucanasa posee un pH y rango de temperatura de 6,0 y 45-50 °C; desnaturalizándose a 60 °C”.³

³ Journal of nutrition and food science forecast. *Application of enzymes in brewing*. p. 4.

2.6.1.2.2. Amilasa

Las amilasas son principalmente utilizadas para romper el almidón (Polisacáridos hechos de un gran número de moléculas de alfa glucosa) en dextrinas, oligosacáridos, maltosa y moléculas de glucosa como parte del proceso de malteado.

Las dos enzimas amilasas poseen diferentes valores de temperatura y pH óptimos; la beta amilasa posee valores óptimos de pH en 5,5 y temperatura de 62,78 °C, mientras que la alfa amilasa tiene valores óptimos mayores en temperatura a 73,89 °C y valores menores de pH en 5,2. Estas dos enzimas pueden trabajar a la misma temperatura; sin embargo, no con una eficiencia tan alta como si lo hicieran en sus valores óptimos de acuerdo a la proporción de azúcares fermentadas y no fermentadas al final del proceso.⁴

2.6.1.2.3. Proteasa

Las proteasas son una clase de enzimas que catalizan la hidrólisis de enlaces peptídicos en proteínas. Las proteasas se utilizan en la elaboración de cerveza para muchos beneficios, siendo las dos más importantes la digestión de proteínas para la clarificación y la facilitación de la maltería. La proteasa aumenta el grado de solubilidad de las proteínas y por lo tanto disminuye la viscosidad de la cerveza, además la proteasa desarrolla buenas condiciones para el crecimiento de la levadura al satisfacer la disponibilidad de nitrógeno amino libre que es necesario para el crecimiento de la levadura.

La temperatura óptima de la proteasa en elaboración de cerveza es de 52 °C y se desactiva a una temperatura de 70 a 75 °C. Aunque se sabe que la proteasa tiene una tendencia a un pH ácido, se descubrió que todavía cataliza hasta pH 10. Como la mayoría de las enzimas de maceración proteolíticas, los

⁴ Journal of nutrition and food science forecast. *Application of enzymes in brewing*. p. 4.

fabricantes recomiendan una dosis de proteasa de 0,3 a 1 Kg por una tonelada de cebada.

2.6.1.2.4. Enzimas adicionales utilizadas en la elaboración de cerveza

Otras enzimas se utilizan actualmente durante la elaboración de la cerveza, durante la fabricación, el almacenamiento y el transporte para optimizar las características de calidad.

Algunas de las enzimas que se utilizan adicionalmente provienen de los mismos grupos de enzimas que se usan habitualmente, como la ficina y la papaína, que pertenece a la familia de las proteasas y otras enzimas que se utilizan de otros grupos de enzimas como la alfa-acetolactato descarboxilasa (ALDC), que pertenece a la familia de las liasas.

Ficina y papaína se utilizan como enzimas a prueba de frío, donde hidrolizan las proteínas que causan la neblina de enfriamiento (proteínas agrupadas al enfriar la cerveza que son capaces de reflejar la luz y crean turbidez).

Otra enzima que se utiliza en el diagrama de flujo de la producción de cerveza es la alfa-acetolactato decarboxilasa. En la producción de cerveza a gran escala es obligatorio reducir el tiempo de producción para obtener más rendimiento, la alfa-acetolactato descarboxilasa se usa para ese propósito, porque reduce el tiempo de fermentación y produce una cerveza más rápida sin alterar la calidad.

2.6.1.3. Maíz

Originario del continente americano, su cultivo se ha extendido en todo el mundo. Dentro de la composición química del maíz, el almidón es el principal constituyente, alcanzando niveles de 80 a 84 % del peso total del grano en base seca. Químicamente, el almidón consiste de una fracción lineal llamada amilosa y una fracción ramificada llamada amilopectina.

2.6.1.3.1. Estructura del grano de maíz

El grano de maíz maduro es un fruto compuesto por cuatro partes principales: pedicelo, pericarpio (cáscara o salvado), endospermo y germen o embrión.

- **Pedicelo:** es la estructura celular mediante la cual el grano se encuentra unida al olote. Está compuesta de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio, consta de una capa exterior de abscisión con la función de sellar la punta del grano maduro. El pedicelo constituye un 0,8 % del peso total del grano.
- **Pericarpio:** formado por una capa exterior dura y fibrosa que encierra al grano. Comprende el pericarpio, la testa y la cofia, en un pequeño casquete que cubre la punta del grano y protege al embrión. En el cereal ya maduro, tiene la función de impedir el ingreso de hongos y bacterias, se encuentra constituido en su gran mayoría de fibra y constituye un 5,3 % del peso total del grano.
- **Endospermo:** constituye la mayor proporción del grano con aproximadamente un 80 a 84 % del peso total. Químicamente el

endospermo está compuesto por 90 % de almidón y 7 % en proteínas acompañadas de aceites, minerales y otros compuestos. En el presente estudio es la parte de mayor importancia para la fabricación de la cerveza puesto que contiene los almidones que posteriormente se convertirán en azúcares fermentables para obtener los grados de alcohol.

El endospermo está compuesto de dos regiones: una harinosa y una córnea; donde generalmente la relación harinosa/córnea es de 2:1. La región harinosa del endospermo se caracteriza por tener células con gránulos de almidón grandes (10 - 30 μm), esféricos y una capa delgada de matriz proteica; en la región periférica o córnea se encuentran células con gránulos de almidón más pequeños (1 – 10 μm).

- Germen: aporta un 9,5 a 12 % del peso total del grano y se localiza en la parte inferior del mismo. Posee dos partes destacables, el eje embrionario y el escutelo. El escutelo constituye cerca del 90 % del germen y es donde se almacenan los nutrientes que utiliza el grano durante la germinación. Químicamente el germen está compuesto por aproximadamente un 35 a 40 % del contenido total de lípidos encontrados en el grano.

A continuación, se describe la composición química del maíz de acuerdo a sus componentes y las regiones en donde se encuentran:

Figura 2. **Composición química de las partes del grano de maíz**

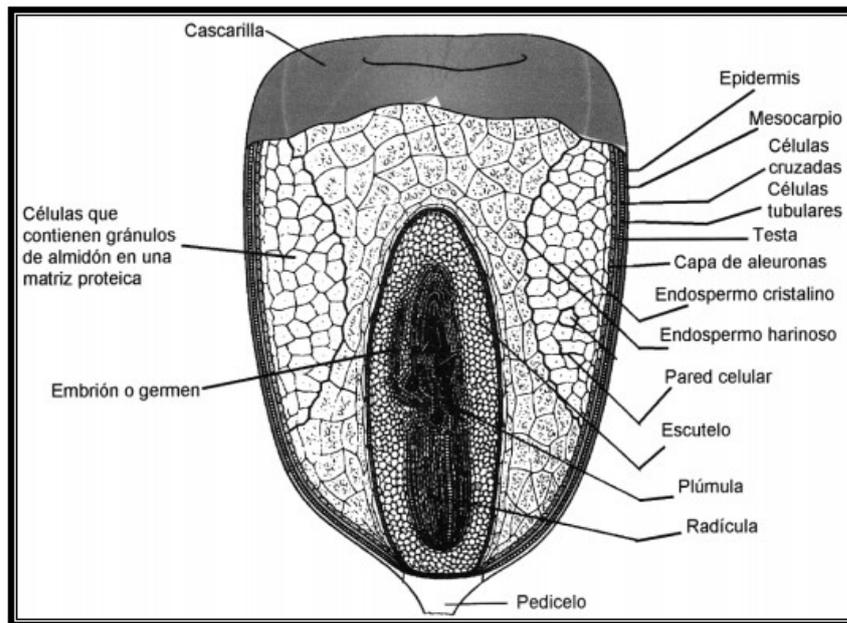
COMPONENTES	Pericarpio	Endospermo	Germen	Total
Proteínas	3.7	8.0	18.4	9.91
Lípidos	1.0	0.8	33.2	4.78
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8	2.66
Cenizas	0.8	0.3	10.5	1.42
Almidón	7.3	87.6	8.3	71.5
Azúcar	0.34	0.62	10.8	2.58

(Tomada de Watson 1987).
a= Expresado como % en base seca.

Fuente: BENÍTEZ, Tomas. *Tesis caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento.* p. 11.

La importancia de la descripción de la estructura del grano de maíz, toma mayor relevancia en el proceso de molido.

Figura 3. Estructura del grano de maíz



Fuente: BENÍTEZ, Tomas. *Tesis caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. p. 7.

2.6.1.4. Tipos de malta

Además de la procedencia del grano, las maltas suelen categorizarse en cuatro tipos dependiendo de la forma y grado de tueste.

2.6.1.4.1. Malta base

Son las maltas más claras debido a las bajas temperaturas y la corta duración del horneado. También recibe el nombre de malta verde la cual posee humedades de 3 % a 5 %. Los horneados a temperaturas elevadas destruyen los almidones de los granos, y desvirtúan las enzimas diastáticas, el horneado a

temperaturas inferiores permite a las maltas base retener la mayor parte de los azúcares potenciales, así como contener el mayor poder diastático de todas las maltas.

Es por esta razón que las maltas base contienen grandes cantidades de azúcares fermentables, además de ser capaces de transformar no sólo sus propios almidones sino también, los de aquellas maltas con menor poder diastático. Es por esta razón que las maltas base se utilizan en cualquier receta y en gran cantidad generalmente al menos en un 85 % de cualquier cerveza.

2.6.1.4.2. Maltas Caramel

También conocidas como malta cristal en Inglaterra, amarilla o ambarina. Para crear este tipo de malta, la malta verde no se seca, sino que pasa directamente a un tostador al finalizar la germinación. Los granos se calientan a una temperatura de 65 a 70 °C con la finalidad de activar las enzimas diastáticas.

Estas enzimas, a su vez, transforman los almidones en azúcares contenidos en el centro del grano, en un estado semilíquido. Posteriormente, los granos se tuestan a temperaturas en el rango de 100 °C a 160 °C, en función del color y el sabor que se desee. Sin embargo, este proceso provoca tanto la caramelización de los azúcares a formas no tan fácilmente fermentables, como la oscuridad de los granos por reacción de Maillard.

2.6.1.4.3. Maltas tostadas/torrefactas

Las maltas tostadas se elaboran a partir de hornear maltas base totalmente secas a temperaturas superiores a 170 °C, pero menores a 270° C debido a la posible formación de nitrosaminas. Cuanto más alta es la temperatura, más se

incremente la reacción de Maillard en detrimento de la caramelización, dando a los granos colores de oscuridad entre media y total, con sabores que recuerdan al mismo tostado a la nuez o a la galleta.

2.6.1.4.4. Maltas oscuras

Las maltas totalmente oscuras con sabores muy potentes, que aportan el color negro y el sabor torrefacto, son elaboradas a partir de malta verde secada en horno a 70 °C de temperatura y con niveles bajo de humedad. Una vez secados los granos, la temperatura debe elevarse poco a poco en el rango de 215 °C a 250 °C. Aunque este proceso genera cierta caramelización, la mayor parte del color y el sabor provienen de la reacción de Maillard. A esta temperatura de hecho, los granos incluso pueden incendiarse; sin embargo, pueden rociarse sutilmente con agua para evitarlo.

2.6.1.5. Elaboración de maltas

La elaboración de cualquier malta, se sustenta a través de 5 procesos fundamentales:

- Selección y preparación del grano
- Remojo/humidificación
- Germinación
- Secado y limpieza
- Tostado

2.6.1.6. Selección y preparación del grano

Únicamente se seleccionan los granos de la más alta calidad. Esta selección depende, entre otras cosas, de un contenido de almidón alto, del tamaño uniforme del grano, el bajo contenido de nitrógeno y un alto poder diastático.

Los cerveceros artesanales debido a que no cuentan con instrumentos para la medición de estas características la selección de los granos suelen realizarse por métodos visuales de acuerdo a su apariencia, además puede utilizarse la diferencia de densidades, en cuanto los granos de mejor calidad se quedarán en el fondo de una cubeta con agua y los granos de menor calidad quedarán suspendidos.

2.6.1.7. Humidificación

Es necesaria la humidificación de los granos, al aumentar la humedad en el grano se despierta su estado latente para dar inicio a la germinación. El agua activa las semillas, una vez en la semilla estimula el embrión para desarrollar nuevas enzimas. Generalmente se utilizan para este proceso proporciones de una parte de grano por tres partes de agua, permitiendo sobrepasar los granos cinco centímetros aproximadamente. Al finalizar las 24 horas deben escurrirse, lavarse y volverse a escurrir, posteriormente es recomendable dejarlas 24 horas más en un proceso de aireación, lavar nuevamente y proceder a germinar.

La temperatura necesaria para la germinación natural del grano influirá en la temperatura óptima de humidificación. En el caso del maíz “La temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre 25 °C a 29 °C a mayor o menor temperatura, la velocidad de crecimiento disminuye”.

2.6.1.8. Germinación

Germinar según la definición de la real academia española, se refiere a la acción de comenzar a desarrollarse desde la semilla respecto a un vegetal. El proceso de la germinación buscará iniciar con los brotes de los granos seleccionados a través de características específicas de temperatura y humedad.

La germinación permitirá la activación de las enzimas que convierten el almidón en azúcar fermentable, o enzimas amilolíticas que permitirán la producción de alcohol en la bebida.

La germinación de manera artesanal y sin la adición de ningún aditivo, deberá realizarse en bandejas cerradas en un lugar oscuro y con procesos de aeración de por medio al menos dos veces al día para evitar la acumulación de calor normal del proceso y favorecer el crecimiento de hongos los cuales se desarrollan a temperaturas mayores a 30 °C. El tiempo aproximado de germinación es de siete días; sin embargo, el punto final estará marcado por el crecimiento del brote al doble del tamaño del grano y estará lista para el proceso de secado.

2.6.1.9. Secado y limpieza

La germinación se termina mediante el proceso de secado puesto que mientras más germinen los granos, más seguirán creciendo y se gastarán las reservas de almidón que se utilizarán para convertirlo en azúcares fermentables y no fermentables.

El nivel de humedad dentro de los granos durante el proceso de secado debería bajar hasta un nivel aproximado de (4 % a 6 %), empleando calor. La

humedad relativa podría ser utilizada también como parámetro de control de proceso la cual iniciaría con porcentajes cercanos al 80 y descendería a 25 % \pm 5 % al finalizar el proceso dentro de recipientes cerrados.

El punto final del proceso de secado estará indicado por las raíces y brotes marchitos, en este punto la malta puede ser llamada Malta Verde o Malta Pálida base. El tiempo del proceso de secado generalmente recomendado es de dos días, a una temperatura de 35 °C a 45 °C. Pudiendo ser utilizados diferentes métodos o equipos como deshidratadores u hornos.

Las raíces y brotes secos necesitan romperse y ser separados de la malta puesto que aportan un amargor desagradable afectando su calidad, por esta razón será indispensable su limpieza antes del tueste. Diferentes métodos pueden ser utilizados para la limpieza del grano; sin embargo, los métodos más comunes suelen ser el mezclado o agitación continua, seguida de un proceso de tamizado.

2.6.1.10. Tostado

La temperatura y el tiempo de tostado son las principales características que proporcionarán a la cerveza su color, olor, sabor y caramelización. El proceso generalmente aceptado es la ascendencia de temperatura progresiva para obtener un mejor control.

En general, las temperaturas bajas y los horneados cortos, suelen dar como resultado granos de color claro, con sabores un tanto sutiles. En cambio, los horneados más largos y a temperaturas más elevadas originan maltas oscuras, con sabores mucho más intensos.

En este desarrollo de los colores y los sabores, hay involucradas dos reacciones químicas: la caramelización y la reacción de Maillard. Por un lado, la caramelización hace referencia a la descomposición del azúcar a temperaturas elevadas, lo que da lugar a sabores dulces como el tofe, la molasa y la pasa.

2.6.2. Fabricación de cerveza

A partir de la obtención de los principales ingredientes se procede con la fabricación de cerveza:

2.6.2.1. Acondicionamiento de la malta

Previo al proceso de maceración existen dos operaciones indispensables para procurar los resultados deseados de fermentación y porcentaje de alcohol; la trituración de granos y la gelatinización.

La trituración de granos es necesaria para exponer al endospermo del maíz el cual contiene la mayor concentración almidón dentro del grano y así pueda estar completamente expuesto al agua.

La gelatinización es el proceso que ocurre en el grano cuando por efecto de la temperatura, éste absorbe agua, se hace soluble y se transforma en un gel. El proceso de gelatinización es de vital importancia puesto que las enzimas diastásicas solo pueden actuar sobre el almidón gelatinizado, por lo que antes de someter las mezclas de granos y enzimas a la temperatura de acción de las mismas, el proceso de gelatinización debe ser estructurado a la temperatura específica para los granos que constituyen la malta.

En el caso del maíz la temperatura de gelatinización generalmente aceptada es de 62 a 74 °C; sin embargo, algunos textos establecen un rango más específico de 70 a 75 °C como una temperatura a la que se gelatiniza del 80 % al 85 % del almidón en los granos de maíz con un tiempo de 30 minutos y un aumento de temperatura gradual.

2.6.2.2. Maceración

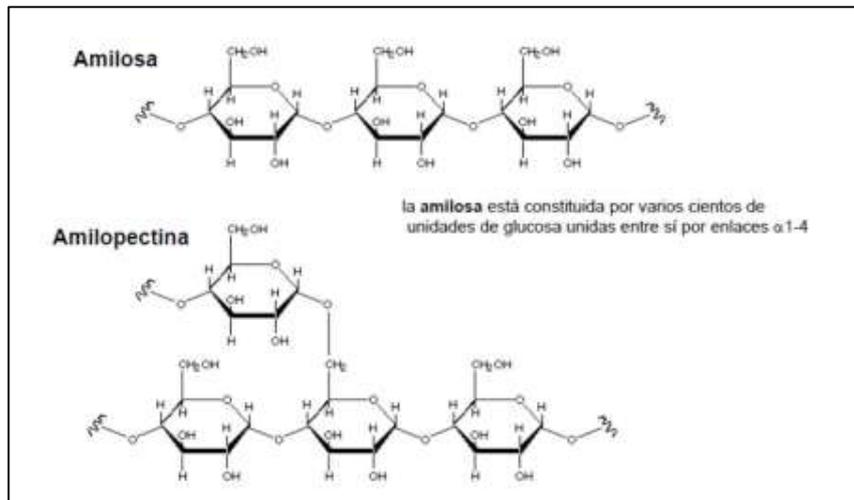
La maceración consiste en el proceso de someter una mezcla de agua y granos malteados a una temperatura determinada y un tiempo específico con el objetivo de lograr que las enzimas presentes en la malta base actúen sobre los cereales y adjuntos no malteados transformando su almidón en azúcares fermentables.

El almidón generalmente conformado por un 25 % de amilosa y un 75 % de amilopectina, debe descomponerse en sus unidades básicas de glucosa para lograr la fermentación dentro de la bebida.

La bibliografía tradicional establece un mínimo de 20 % de malta de cebada sobre el peso total de los granos utilizados para la fabricación de cerveza, esto con la finalidad de que existan suficientes enzimas diastásicas en la mezcla que puedan transformar la mayor cantidad del almidón presente; sin embargo, nuevos estudios proveen información sobre la utilización de enzimas industriales para la optimización del proceso.

En la figura 4 se detalla la composición química del almidón y en la figura 5 la actividad de las enzimas en sus moléculas.

Figura 4. **Composición de amilosa y amilopectina**

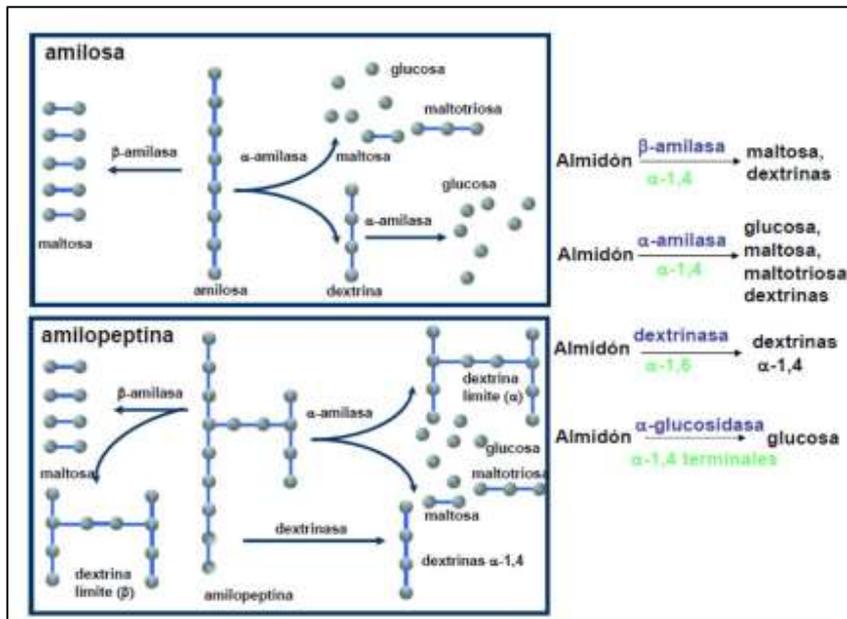


Fuente: GUEVARA, Alberto. *Procesos bioquímicos involucrados en la cerveza*.

https://issuu.com/carlosalbertoguevarabravo/docs/5.bioquimica_de_la_cerveza.pptx. Consulta:

18 de octubre de 2018.

Figura 5. Actividad de enzimas sobre el almidón



Fuente: GUEVARA, Alberto. *Procesos bioquímicos involucrados en la cerveza*.

https://issuu.com/carlosalbertoguevarabravo/docs/5.bioquimica_de_la_cerveza.pptx. Consulta:

18 de octubre de 2018.

La cantidad de agua durante el proceso de maceración suele definirse como de 1 a 1,5 partes de agua para cervezas negras y una mezcla más diluida de 1 a 3 partes para cervezas rubias. Al finalizar el proceso se retira el grano agotado, obteniendo un líquido azucarado llamado mosto.

2.6.2.3. Cocción

La etapa de cocción es necesaria para la esterilización del mosto, la acentuación del color y la coagulación de proteínas. Es en este proceso además se realiza la adición del lúpulo el cual confiere el sabor característicamente

amargo de la cerveza, la sensación refrescante, es además el principal responsable del olor y provee agentes antimicrobianos.

Para la correcta esterilización del mosto es necesario llevar a ebullición la mezcla y permitir su hervor por una hora.

El lúpulo para dar amargor se adiciona al inicio de la ebullición, para aportar características de amargor y aroma denominados mixtos en el transcurso de la etapa de ebullición y para dar aroma se agrega 5 minutos antes de terminar la cocción. Estas condiciones pueden ser reformuladas, dependiendo de las características que se deseen proporcionar y el tipo de lúpulo utilizado.

El lúpulo contiene tres sustancias importantes en los procesos de fabricación de cerveza: Las resinas, los aceites esenciales y los polifenoles. Las resinas constituidas por alfa-ácidos (humulonas) y beta-ácidos (lupulonas), son probablemente los componentes más importantes del lúpulo. A altas temperaturas los alfa-ácidos se transforman a sus formas isoméricas (iso-humulonas), que son las responsables de la acción antibacteriana y el amargor.

El principal polifenol es el tanino, que aporta astringencia, acción antibacteriana, y coadyuva en la precipitación de proteínas en el mosto facilitando así su clarificación.

La capacidad de un lúpulo para impartir amargor suele estar medida por escalas que permiten cuantificar y predecir esta condición a través del contenido de alfa-ácidos. Estos métodos se describirán en secciones posteriores.

Finalizada la cocción es imprescindible el descenso de la temperatura en un rango de (25 °C a 30 °C), en el menor tiempo posible para evitar el desarrollo de contaminación microbiológica y permitir una mejor coagulación de las proteínas que pueden causar turbidez. Es importante además para la etapa siguiente de fermentación con la finalidad de que las levaduras puedan actuar y no mueran debido a las altas temperaturas.

2.6.2.4. Fermentación

El proceso de fermentación es el que permite la descomposición del azúcar en etanol y gas carbónico por medio de levaduras. El tiempo de fermentación requerido suele oscilar entre los 7 y 10 días; sin embargo, el proceso se concluye cuando ya no hay un evidente desprendimiento de gas y la gravedad específica medida con un hidrómetro se mantiene constante por tres días consecutivos.

“Una cantidad de levadura excesiva o deficiente suele producir características negativas en la cerveza”.⁵

- Una tasa deficiente: producción de paradas eventuales de fermentación, aumentos en riesgos de infección y aumento de compuestos azufrados, y diacetilo.
- Una tasa excesiva: fermentación rápida, con autólisis, poco cuerpo y niveles de ésteres muy bajos.

Es importante que el fermentador cuente con válvulas *air-lock* para asegurar la restricción del aire de ingreso y la expulsión del dióxido de carbono producto de la fermentación.

⁵ GONZÁLEZ, Marcos. *Principios de elaboración de cervezas artesanales*, p.124.

2.6.2.5. Clarificación

La turbidez en la cerveza suele ser una característica indeseable y puede estar provocada por tres razones fundamentales:

- Presencia de material vegetal y levaduras empleadas, es una turbidez benigna y de fácil eliminación.
- Condensación de proteínas por el frío, fenómeno conocido como *chill haze* en la industria cervecera.
- Desarrollo de levaduras y bacterias contaminantes, es un velo blanquecino en la cerveza y significa la pérdida completa del lote productivo.

De acuerdo al tipo de turbidez presentada deberá escogerse el aclarante a utilizar, existiendo posibilidades de agentes clarificantes de olla, de fermentador y de botella.

2.6.2.6. Embotellado

Es importante utilizar las botellas adecuadas, generalmente son utilizadas las botellas ámbar o verdes selladas de manera hermética por medio de una taponadora, con tapas tipo corona de 26 mm usadas también para bebidas gaseosas.

2.6.3. Controles de calidad orientados al producto

Independientemente del estilo de cerveza a menos que se indique lo contrario, todas deben poseer una fermentación limpia y estar libre de fallas técnicas, incluyendo acetaldehído, astringencia, clorofenoles, diacetilo, DMS, alcoholes fusel y compuestos fenólicos. Deben estar libres de fallas de envasado

y manipulación, incluyendo oxidación, golpe de luz (*ligh-struck*), acidez y características mohosas.

“Las cervezas deben estar libres de astringencia, no deben ser cremosas, ni tener otras sensaciones en el paladar. Las cervezas con un nivel de alcohol menor o igual al 6 % no deben poseer características de sabor o tibieza por el alcohol. Las cervezas con porcentajes mayores no deben ser ásperas, calientes, ni provocar ardor”.⁶

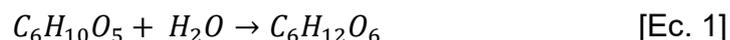
2.6.3.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en la cerveza

Es importante la evaluación de parámetros físico-químicos en la cerveza, con la finalidad de obtener una mayor aceptación del producto, y de orientarse a un estilo propuesto.

2.6.3.1.1. Reacciones elementales del proceso

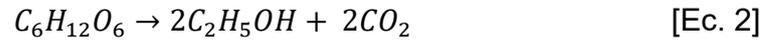
Durante la fabricación de cerveza se llevan a cabo diversos procesos bioquímicos correspondientes al grano; sin embargo, son dos las reacciones de vital importancia en el presente estudio.

La transformación de almidón en glucosa:



⁶ BJCP. *Guía de estilos de cerveza 2015*. p. IX.

La transformación de glucosa en etanol:



Por medio de las reacciones planteadas y los porcentajes teóricos de rendimiento, es posible el cálculo del maíz requerido para un lote de cerveza especificado y un porcentaje alcohólico objetivo al utilizar la estequiometría correspondiente.

Tabla III. **Rendimientos de las operaciones unitarias del proceso de fabricación de cervezas**

Operación	Rendimiento
Acondicionamiento del maíz	95 %
Germinación	30 % - 40 %
Maceración	50 % - 60 %
Primera filtración	95 %
Fermentación	95 %
Segunda filtración	98 %

Fuente: ORE, Guillaume., MIRONOV, Maxim. y SHOOTOV, Alexey. *Design and production of maize beer*. p. 80.

2.6.3.1.2. Cálculo de atenuación

La atenuación es funcional para evaluar el porcentaje de transformación de azúcar en alcohol, además proporciona una idea de la eficacia de las enzimas utilizadas:

Cálculo de atenuación:

$$A = \frac{100 \times (D_i - D_f)}{D_i - 1} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde:

A = porcentaje de atenuación

Di = densidad inicial

Df = densidad final

2.6.3.1.3. Cálculo de alcohol producido

Además del higrómetro de triple escala es posible la determinación del alcohol producido a través de la siguiente fórmula:

Alcohol producido

$$C_2H_5OH = \frac{1000(D_i - D_f)}{7.4} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

Di = densidad inicial

Df = densidad final

2.6.3.1.4. Cálculo de amargor

Es posible la aproximación del nivel de amargor en un lote de cerveza de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Cálculo de unidades de alfa-ácidos

$$AAU = L_{(onz)} * \% AA \quad [Ec. 5]$$

Donde:

AAU= unidades de alfa-ácidos

L= cantidad de lúpulo en onzas

% AA = porcentaje de alfa ácidos presentes en el lote de lúpulo

Cálculo IBU (*International Bitterness Unit*)

$$IBU = \frac{k * L_{onz} * AA\%}{V_{cerveza}} \quad [Ec. 6]$$

Donde:

IBU = unidades internaciones de amargor

K = constante de adición de lúpulo; 18,7 (Lúpulos de amargor), 7,5 (Lúpulos de amargor y aroma) y 0 (Lúpulos aromáticos).

2.6.3.1.5. Cálculo de carbonatación

En la carbonatación, la cervecería artesanal utiliza la siguiente metodología cuando se utiliza azúcar refinada para la determinación de la misma.

Parámetros de importancia:

- Identificar la cantidad de gas CO₂ requerido de acuerdo al estilo a fabricar.
- Registrar la temperatura máxima en el proceso de fermentación.
- Cantidad de gas residual en la cerveza.

Equivalencias utilizadas en la metodología:

- 1 gramo de azúcar = 0,23 volúmenes de CO₂.
- 1 volumen de CO₂ = 1 L de CO₂ - condiciones normales (T=0 °C y P= 1 atm).

Cálculo de azúcar para carbonatación:

$$Vol\ CO_{2\text{Adicionar}} = Vol\ CO_{2\text{Deseados}} - Vol\ CO_{2\text{residuales}} \quad [\text{Ec. 7}]$$

Donde:

- Vol. CO₂ Deseados = volúmenes de CO₂ de acuerdo al estilo de cerveza (Anexos).
- Vol. CO₂ residuales = volúmenes de CO₂ de acuerdo a la temperatura máxima de fermentación.

2.6.3.2. Términos para calidad y sabores extraños

Entre los términos mayormente utilizados para la evaluación de características de calidad se describen los siguientes:

- Adjuntos: características de aroma, sabor y sensación en boca que reflejan altos porcentajes de fermentables no-malta. Se puede presentar como un carácter monótono, con un cuerpo más ligero que un producto todo-malta o como una cerveza ligera.
- Dimetil Sulfuro (DMS): manifestado en las características perceptivas, generalmente inapropiado en cualquier estilo de cerveza; sin embargo, una suave cualidad a maíz cocido puede ser evidente en cervezas con alto niveles de malta pilsner. “Cuando las directrices establecen que algunos niveles DMS son apropiados, se refiere al ligero sabor/aroma a maíz cocido, no a otras características a vegetales cocidos o a otros sabores a DMS”.⁷
- Rústico: carácter grueso, abundante, robusto que recuerda a ingredientes tradicionales antiguos; quizás menos refinados como experiencia sensorial general.
- Elegante: carácter suave, refinado, agradable y de buen gusto que sugiere ingredientes de alta calidad cuidadosamente manejados. Carente de asperezas, sabores pungentes y sensaciones que ataquen al paladar.
- Funky: si es esperado o deseable, a menudo puede tener un carácter a granja, establo, paja húmeda, pelero de montura y ligeramente terroso. Si es demasiado intenso o no esperado puede desarrollar características fecales, a pañal de bebé, o establo de caballos.

⁷ BJCP. *Guía de estilos de cerveza 2015*. p. X.

2.6.3.3. Referencia de color

Generalmente el SRM es una medida de la densidad del color de la cerveza más que de tono o tinte; a continuación, se presenta la designación de colores, en la fabricación de cerveza artesanal suele utilizarse únicamente la asignación como descripción de esta cualidad.

Tabla IV. **Asignación de valores SRM**

Asignación	SRM
Pajizo	2-3
Amarillo	3-4
Dorado	5-6
Ámbar	6-9
Ámbar profundo/cobrizo claro	10-14
Cobrizo	14-17
Cobrizo profundo/marrón claro	17-18
Marrón	19-22
Marrón oscuro	22-30
Marrón muy oscuro	30-35
Negro	30+
Negro, opaco	40+

Fuente: BJCP. *Guía de estilos de cerveza 2015*. p. X.

2.6.3.4. Características de producto

De acuerdo a la guía de estilos de cerveza del BJCP del 2015 la cerveza del presente estudio estaría clasificada como Cerveza con Granos Alternativos. “Una cerveza con fermentables alternativos es una cerveza estándar (estilo clásico o no) con granos adicionales o no, agregados o usados de forma exclusiva”.⁸

⁸ BJCP. *Guía de estilos de cerveza 2015*. p. 73.

Las cervezas sin gluten (GF) elaboradas con ingredientes completamente libres de gluten entran en esta categoría.

- Impresión general: cerveza base, reforzada por o con el carácter del grano o los granos adicionales. El carácter específico, depende en gran medida del carácter de los granos agregados.
- Aroma: igual que el estilo de la cerveza base. el grano añadido presentará un carácter particular, aunque con algunos granos la cerveza lucirá simplemente un poco más granosa o nogada. El grano alternativo debe proveer mayor perfil en aroma.
- Apariencia: igual que el estilo de cerveza base. Aunque puede notarse algo de turbidez adicional.
- Sabor: igual que el estilo de cerveza base. El grano adicional debe ser perceptible en el sabor, aunque puede no ser necesariamente identificable. Sin embargo, el grano alternativo debe proporcionar mayor perfil de sabor para esta cerveza. Diferentes granos deben tener características diferentes; el grano adicional debe mejorar el sabor de la cerveza base. Muchos agregarán un sabor adicional a grano, pan o nuez.
- Sensación en boca: igual que la cerveza base, aunque muchos granos adicionales tenderán a aumentar el cuerpo (avena, centeno) y a aumentar la viscosidad, mientras que algunos pueden disminuir el cuerpo (GF), proporcionando delgadez.
- Comentarios: si el grano alternativo no ofrece un carácter distinguido y notable a la cerveza, ingresarla en el estilo base.

- Instrucciones de entrada: se debe especificar un estilo base, pero el estilo declarado no tiene que ser un estilo clásico. Se debe especificar el grano alternativo utilizado.
- Estadísticas vitales: OG, FG, IBU's, SRM y ABV variarán dependiendo de la cerveza subyacente.
- Etiqueta: cerveza especial.

2.6.3.5. Contaminación microbiológica

Las características de calidad de la cerveza pueden verse afectadas debido a microorganismos contaminantes, que pueden presentarse durante los procesos de malteado, fabricación de la cerveza o almacenamiento. Los microorganismos contaminantes incluyen algunos microorganismos Gram-positivos y Gram-negativos, así como algunas levaduras salvajes y mohos.

De manera general la contaminación microbiológica es un factor desafiante en la industria alimenticia; sin embargo, en la industria cervecera los tipos de microorganismos que pueden encontrarse presentes se encuentran restringidos, debido a sus bajos pH y a diferentes agentes microbianos tal como el lúpulo.

Los efectos de las bacterias de descomposición se extienden desde cambios relativamente menores en la cerveza tales como sabores y defectos de aroma a problemas de turbidez, viscosidad, niveles de atenuación anormales y cultivos de levadura reducidos.

“Los microorganismos contaminantes principales en la cerveza suelen ser bacterias ácido láctico (LAB) por sus siglas en inglés, generalmente *Lactobacillus*

y *Pediococcus* o bien anaerobios de la especie *Pectinatus* y *Megasphaera*; sin embargo, las acetobacterias (BAA) pueden ser ocasionalmente encontradas”.⁹

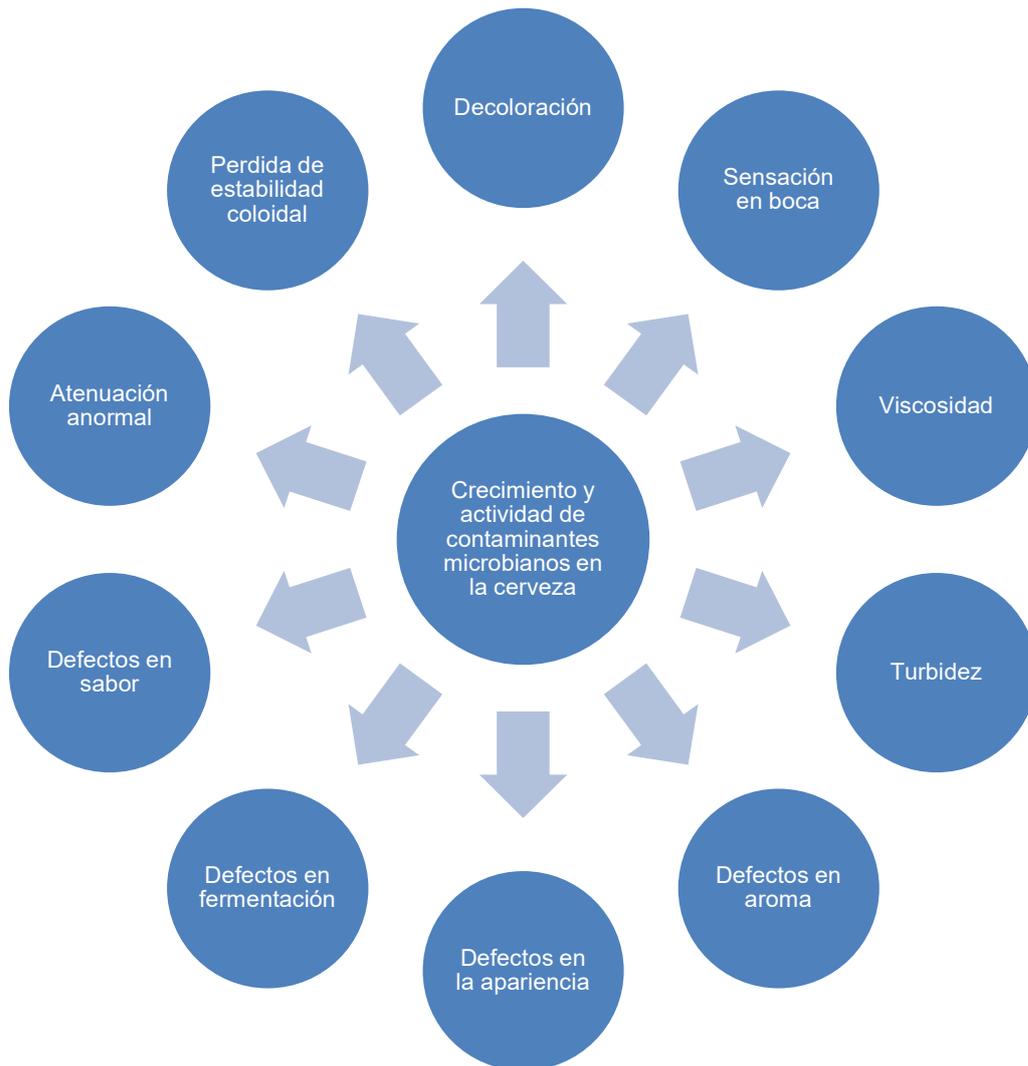
Las bacterias de deterioro más comunes en la cerveza son *Lactobacillus brevis* y *Lactobacillus lindneri*. Además, hay muchos tipos salvajes de levadura que causan deterioro en la cerveza, incluyendo *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida pelliculosa*. También las infecciones por *Fusarium* en granos pueden afectar negativamente a la malta y la cerveza.

La detección de los microorganismos contaminantes suele ser difícil debido a que comúnmente se encuentran presentes en bajas cantidades, la aplicación de medios selectivos y condiciones de incubación siguen siendo los más comunes en la industria cervecera; sin embargo, esta estrategia falla con cierta regularidad en proveer la especificidad requerida y sensibilidad. Sumado a esto, en la actualidad no se posee ningún medio que sea capaz de detectar todas las especies de bacterias contaminantes de la cerveza.

A continuación, se presentan los efectos que pueden provocar la contaminación microbiológica en el producto final.

⁹ Technical University of Cluj Napoca. *Carpathian journal of food science and technology*. p. 66.

Figura 6. **Principales desventajas producidas por el crecimiento y la actividad de los microorganismos que descomponen la cerveza**



Fuente: Technical University of Cluj Napoca. *Carpathian journal of food science and technology*. p. 68.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

De acuerdo la revisión bibliográfica de los procesos regulares de fabricación de cerveza, se determinaron las variables de entrada a modificar para medir el efecto sobre los resultados, y los factores a mantener constantes durante el estudio.

Tabla V. **Variables de control en el suministro de agua de fabricación**

Requisito	Cumple
Proveedor certificado para la distribución de agua potable	Si / Proveedor agua salvavidas

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Variables de control en el proceso de malteado**

Variable	Independientes	Dependientes
Uniformidad de grano	X	
Temperatura de germinación (°C)	X	
Humedad relativa de germinación (%)	X	
Tiempo de germinación (d)	X	
Longitud de brotes (mm)	X	
Temperatura de secado (°C)	X	
Humedad relativa de secado (%)	X	
Tiempo de secado (Días)		X
Temperatura de tostado (°C)	X	
Tiempo de tostado (min)		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Variables de control en el proceso de fabricación de cerveza**

Variable	Operación	Independiente	Dependiente
Temperatura (°C)	Maceración	X	
Tiempo (min)	Maceración	X	
Volumen de agua (L)	Maceración	X	
Cantidad de enzimas diastáticas (g)	Maceración	X	
Temperatura (°C)	Cocción	X	
Cantidad de Lúpulo (g)	Cocción		X
Alfa – ácidos de lúpulo (%)	Cocción	X	
Temperatura (°C)	Enfriamiento	X	
Tiempo (min)	Enfriamiento		X
Cantidad de levadura (g)	Fermentación	X	
Temperatura (°C)	Fermentación	X	
Tiempo (d)	Fermentación		X
Gravedad específica	Fermentación	X	
Atenuación aparente (%)	Fermentación		X
Turbidez	Clarificación	X	
Cantidad de clarificante (g)	Clarificación		X
Tiempo de sedimentación (min)	Clarificación	X	
Cantidad de azúcar (g)	Carbonatación		X
Cantidad de CO ₂ requerido (L)	Carbonatación		X
Temperatura máxima de fermentación (°C)	Carbonatación	X	
Volumen de CO ₂ a adicionar (L)	Carbonatación		X

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Variables de control de calidad de cerveza**

Variable	Determinación	Independiente	Dependiente
Color de líquido	Visual	X	
Turbidez de líquido	Visual	X	
Densidad de espuma	Visual	X	
Cremosidad de espuma	Prueba orientada al producto	X	
Adherencia de espuma	Visual	X	
Persistencia de espuma (min)	Visual	X	
Aroma	Prueba orientada al producto	X	
Sabor	Prueba orientada al producto	X	
Cuerpo	Prueba orientada al producto	X	
Amargor IBU	Prueba orientada al producto	X	
Porcentaje de alcohol	Higrómetro de triple escala	X	
Gravedad específica	Higrómetro de triple escala	X	
Contaminación microbiológica	Servicios contratados de laboratorio	X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- Industria: cervecería artesanal.
- Proceso: elaboración de cerveza a partir de malta obtenida en su totalidad con granos de maíz, libre de gluten y características similares al estilo tipo *Blonde Ale*. La omisión de los granos de cebada que generalmente confieren el poder diastásico en una malta, será sustituido por la adición de enzimas amilasas en el proceso de maceración, con la finalidad de

transformar el almidón presente en los granos de maíz en azúcares fermentables, obteniendo así el grado de alcohol deseado.

- Operaciones unitarias: malteado, maceración, cocción, enfriamiento, fermentación, clarificación, carbonatación y embotellado.
- Ubicación: el maíz es cultivado en mayor proporción en la zona del altiplano, en el occidente del país; sin embargo, debido a que en Guatemala el maíz fue declarado Patrimonio Cultural Intangible de la nación y posee 13 de las 14 razas clasificadas, con infinidad de variedades por raza; el presente estudio es realizado con granos blancos y amarillos obtenidos localmente en el mercado central “La terminal” ubicado en zona 4 de la ciudad capital. El proceso artesanal se realiza en un domicilio ubicado en la zona 5 capitalina.
- Clima: las condiciones ambientales de temperatura y humedad serán controladas durante la mayor parte del proceso en concordancia con los requerimientos de la operación unitaria en curso.

3.3. Recursos humanos disponibles

A continuación, se describen los recursos humanos disponibles.

3.3.1. Investigador

- Nombre: Paula Andrea Boiton Escobar
- Correo electrónico: paula.boiton.escobar@gmail.com
- Fecha de nacimiento: 18 de junio de 1988
- Nacionalidad: guatemalteca

- Profesión: estudiante de Ingeniería Química USAC
- Experiencia de relevancia: jefe de validaciones del área de garantía de calidad en período 2013 – 2018. Farmacéutica Unipharm S. A.

3.3.2. Asesor

- Nombre: Walter Armando Mansilla González.
- Correo electrónico: wmansillag@hotmail.com.
- Fecha de nacimiento: 24 de noviembre de 1987.
- Nacionalidad: guatemalteco.
- Profesión: Ingeniero Químico.
- Colegiado Activo No. 1916.
- Experiencia de relevancia: Inspector de alimentos y coordinador programa de agua pura y bebidas en período del 2013 a la fecha. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

3.4. Recursos materiales

A continuación, se describen los recursos materiales utilizados.

3.4.1. Insumos y materia prima

- Granos de maíz blanco
- Granos de maíz amarillo
- Levadura libre de gluten (Familia Ale)
- Lúpulo
- Agua potable
- Agua destilada
- Hielo

- Azúcar refinada

3.4.2. Equipos y accesorios de producción

- Contenedores de germinación
 - Descripción: contenedores plásticos modificados para recirculación de agua y aireación a temperaturas determinadas.
 - Capacidad: 20 L.
 - Material: plástico.
- Bandejas
 - Descripción: perforadas con una altura de borde de 2 cm
 - Capacidad: 10 L
 - Material: plástico
- Botella de spray
 - Capacidad: 250 mL
 - Material: plástico
- Deshidratador de alimentos
 - Tipo: solar
 - Modelo: artesanal
 - Material: madera y cartón reciclados
 - Capacidad: 10 kg

- Horno
 - Descripción: horno de convección natural
 - Marca: Mabe
 - Rangos de operación: 0 a 250 °C

- Macerador
 - Descripción: recipiente aislador de calor modificado para control de temperaturas, circulación y filtrado primario.
 - Material: polietileno, acero inoxidable y cobre.
 - Capacidad: 49 L.

- Fermentador
 - Descripción: contenedor de agua potable, certificado FDA para alimentos, modificado con tapón hermético y válvula *air-lock* para salida de gases de fermentación.
 - Material: policloruro de vinilo.
 - Capacidad: 5 galones.

- Ollas
 - Material: acero inoxidable
 - Capacidad: 20 L

- Molino artesanal
 - Marca: Corona

- Material: recubierto de estaño puro
- Tipo: molino tradicional para granos

- Quemadores
 - Descripción: gas stove Burner con válvulas, manguera y conexión para gas propano.
 - Peso: 2,1 Kg.

3.4.3. Instrumentos y cristalería control de calidad

- Balanza
- Potenciómetro
- Termohigrómetro
- Higrómetro de triple escala
- Cronómetro
- Pipeta
- Probeta

3.4.4. Reactivos necesarios de acuerdo al perfil del agua de fabricación

- Sulfato de calcio
- Cloruro de calcio
- Sulfato de magnesio
- Yeso
- Tiza
- Cloruro de sodio
- Metabisulfito de sodio o metabisulfito de potasio

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Serán utilizadas ambas técnicas cualitativas y cuantitativas durante la manufactura de cerveza artesanal de maíz, siendo clasificadas de la siguiente manera.

3.5.1. Variables cuantitativas

A continuación, se presenta en la tabla IX las variables cuantitativas.

Tabla IX. Variables cuantitativas

Variable	Proceso	Determinación
Temperatura de germinación (°C)	Malteado	Visual/tamizado
Humedad relativa de germinación (%)	Malteado	Temperatura
Tiempo de germinación (d)	Malteado	Termohigrómetro
Longitud de brotes (mm)	Malteado	Cronómetro
Temperatura de secado (°C)	Malteado	Regla
Humedad relativa de secado	Malteado	Termohigrómetro
Tiempo de secado (d)	Malteado	Termohigrómetro
Temperatura de tostado (°C)	Malteado	Cronómetro
Tiempo de tostado (min)	Malteado	Termómetro
Temperatura (°C)	Maceración	Termómetro
Tiempo (min)	Maceración	Cronómetro
Volumen de agua (L)	Maceración	Contenedor de 10 L
Cantidad de enzimas diastásicas (g)	Maceración	Balanza
Temperatura (°C)	Cocción	Termómetro
Cantidad de Lúpulo (g)	Cocción	Balanza
Temperatura (°C)	Enfriamiento	Termómetro
Tiempo (min)	Enfriamiento	Cronómetro
Cantidad de levadura (g)	Fermentación	Balanza
Temperatura (°C)	Fermentación	Termómetro
Tiempo (d)	Fermentación	Cronómetro
Gravedad específica	Fermentación	Higrómetro de triple escala
Atenuación aparente (%)	Fermentación	Fórmula matemática
Cantidad de clarificante (g)	Clarificación	Balanza
Tiempo de sedimentación (min)	Clarificación	Cronómetro

Continuación de la tabla XII.

Cantidad de azúcar (g)	Carbonatación	Balanza
Cantidad de CO2 requerido (L)	Carbonatación	Referencias bibliográficas
Temperatura máxima de fermentación (°C)	Carbonatación	Termohigrómetro
Volumen de CO2 a adicionar (L)	Carbonatación	Fórmula matemática
Porcentaje de alcohol	Control de calidad cerveza	Fórmula matemática
Gravedad específica	Control de calidad cerveza	Higrómetro de triple escala
Contaminación microbiológica	Control de calidad cerveza	Servicios contratados de laboratorio

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Variables cualitativas

A continuación, se presenta en la tabla X las variables cualitativas.

Tabla X. **Variables cualitativas**

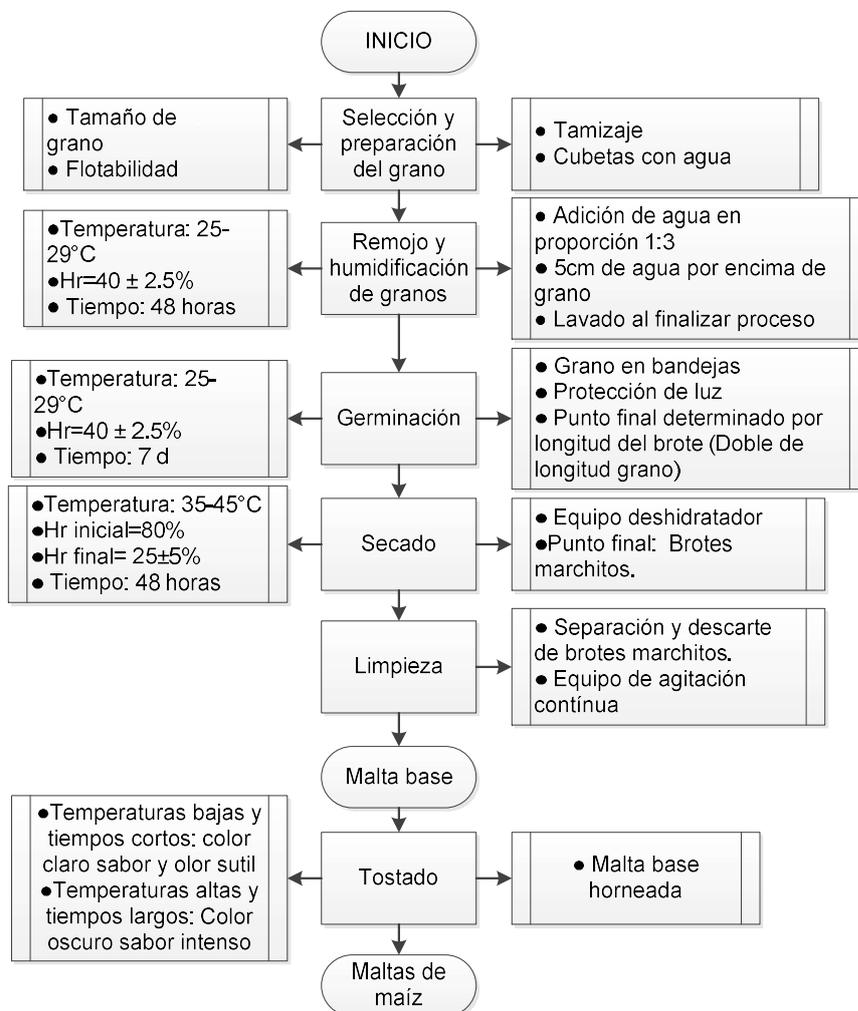
Variable	Proceso	Determinación
Uniformidad de grano	Malteado	Visual/tamizado
Turbidez	Clarificación	Visual
Color de líquido	Control de calidad cerveza	Visual
Turbidez de líquido	Control de calidad cerveza	Visual
Densidad de espuma	Control de calidad cerveza	Visual
Creosidad de espuma	Control de calidad cerveza	Prueba orientada al producto
Adherencia de espuma	Control de calidad cerveza	Visual
Persistencia de espuma	Control de calidad cerveza	Visual
Aroma	Control de calidad cerveza	Prueba orientada al producto
Sabor	Control de calidad cerveza	Prueba orientada al producto
Cuerpo	Control de calidad cerveza	Prueba orientada al producto
Amargor IBU	Control de calidad cerveza	Prueba orientada al producto

Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

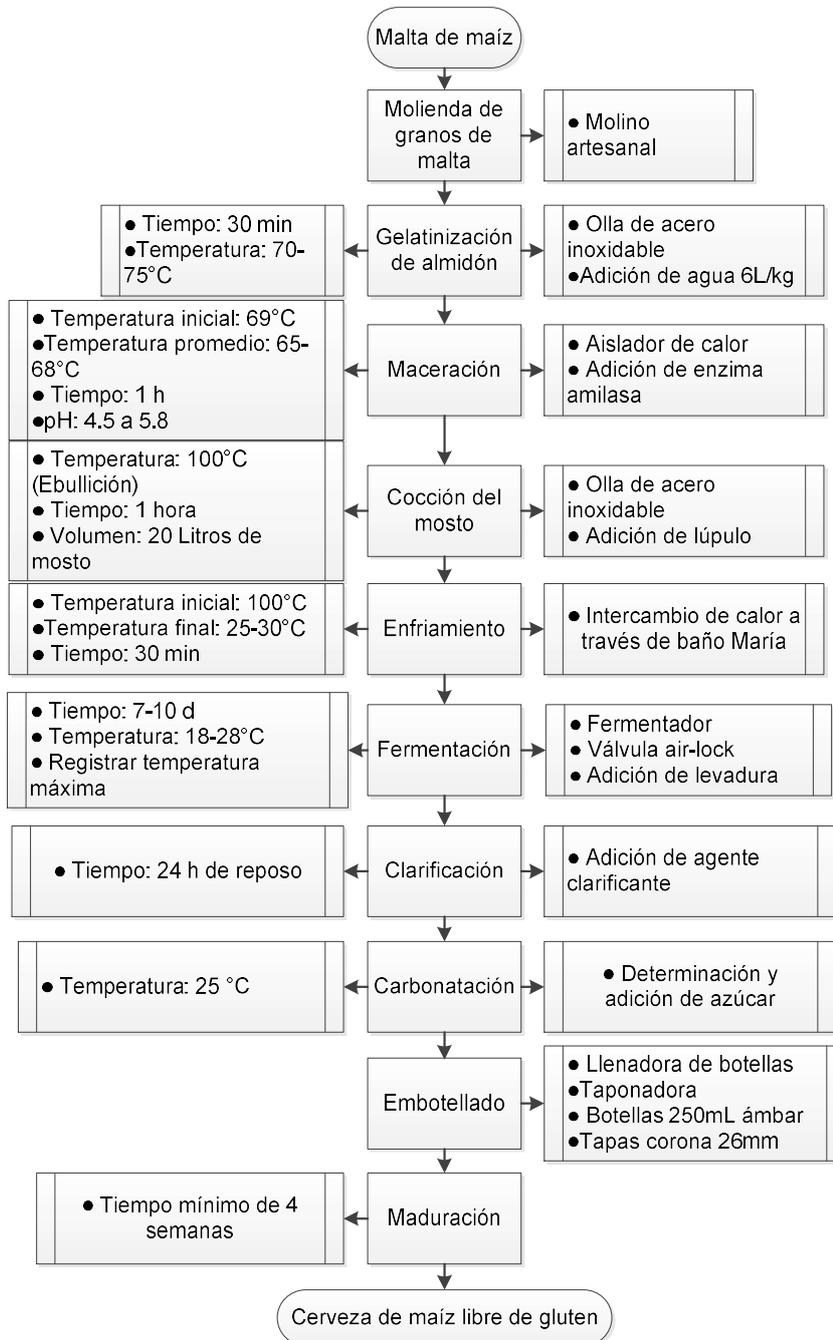
La elaboración de cerveza sin gluten consta de dos procesos fundamentales. El primero es la elaboración de malta a base de maíz, el segundo es la fabricación de cerveza sin gluten.

Figura 7. **Elaboración de malta base y maltas de maíz**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Figura 8. **Fabricación de cerveza de maíz libre de gluten**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación, se presentan los resultados de la primera y segunda corrida en las fabricaciones de cerveza utilizando maíz blanco y amarillo.

Tabla XI. **Selección y preparación de granos de maíz blanco**

Criterio		Cumple	
El grano visualmente presenta uniformidad y se encuentra libre de partículas contaminantes		Sí	
No se observan granos flotantes en la selección final		Sí	
Peso de granos		Primera corrida	Segunda Corrida
Maíz inicial (Kg)		11,34	11,48
Maíz al finalizar el malteado (Kg)		9,21	8,96

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Selección y preparación de granos de maíz amarillo**

Criterio		Cumple	
El grano visualmente presenta uniformidad y se encuentra libre de partículas contaminantes		Sí	
No se observan granos flotantes en la selección final		Sí	
Peso de granos		Primera corrida	Segunda Corrida
Maíz inicial (Kg)		11,52	11,43
Maíz al finalizar el malteado (Kg)		10,11	10,82

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Proceso de malteado maíz blanco**

Operación		Remojo y humidificación		Germinación		Secado		Tostado	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Número de lote		1	2	1	2	1	2	1	2
Temperatura (°C)	Objetivo	25 -29 °C		25 -29 °C		35-45 °C		No aplica	
	Mínima	23	21	25	26	26	24	80	80
	Máxima	26	26	29	30	71	67	140	145
Humedad relativa (%)	Objetivo	No aplica		40± 2,5 %		25 ± 5 %		No aplica	
	Mínima	NA	NA	41	39	27	30	NA	NA
	Máxima	NA	NA	45	43	70	65	NA	NA
Tiempo (h)	Objetivo	48		168		48		No aplica	
	Real	48	48	60	60	48	48	1,5	1,5
Observaciones: NA- No aplicable.									

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Proceso de malteado maíz amarillo**

Operación		Remojo y humidificación		Germinación		Secado		Tostado	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Número de lote		1	2	1	2	1	2	1	2
Temperatura (°C)	Objetivo	25 -29 °C		25 -29 °C		35-45 °C		No aplica	
	Mínima	20	22	25	26	24	22	80	80
	Máxima	26	25	29	28	69	65	144	143
Humedad relativa (%)	Objetivo	NA		40 ± 2,5 %		25 ± 5 %		No aplica	
	Mínima	NA	NA	37	36	31	29	NA	NA
	Máxima	NA	NA	41	42	60	57	NA	NA
Tiempo (h)	Objetivo	48		168		48		No aplica	
	Real	48	48	60	60	48	48	1,5	1,5
Observaciones: NA – No aplicable									

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Proceso de gelatinización de almidón maíz blanco**

Número de lote		1	2
Parámetro	Objetivo	Valor	
Peso inicial de malta (kg)	4,01	7,66	7,94
Volumen de agua (L)	20 L	18,93	22,00
Temperatura (°C)	70 - 75 °C	74,00	84,00
Tiempo (min)	30 min	30,00	30,00
Peso final de malta gelatinizada (kg)		26,59	29,94

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Proceso de gelatinización de almidón maíz amarillo**

Número de lote		1	2
Parámetro	Objetivo	Valor	
Peso inicial de malta (kg)	4,01	7,17	8,71
Volumen de agua (L)	20 L	18,93	18,93
Temperatura (°C)	62-74 °C	73,00	75,00
Tiempo (min)	30 min	30,00	30,00
Peso final de malta gelatinizada (kg)		26,10	27,64

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Proceso de maceración maíz blanco**

Número de lote		1	2
Parámetro	Objetivo	Valor	
Temperatura inicial (°C)	75 °C	70,0	69,0
Temperatura promedio de operación	65-68 °C	68,0	68,0
Tiempo (min)	60 minutos	60,0	60,0
pH	4,5 -5,8	5,2	4,7
Cantidad de enzimas diastáticas (g)		15,0	15,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Proceso de maceración maíz amarillo**

Número de lote		1	2
Parámetro	Objetivo	Valor	
Temperatura inicial (°C)	75 °C	71,0	70,0
Temperatura promedio de operación	65-68 °C	68,0	69,0
Tiempo (min)	60 minutos	60,0	60,0
Ph	4,5 -5,8	5,5	5,3
Cantidad de enzimas diastáticas (g)		15,0	15,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Procesos de cocción y enfriamiento en maíz blanco**

Número de lote		1	2
Parámetro	Objetivo	Valor	
Temperatura de ebullición (°C)	100 °C	92,0	92,0
Tiempo de ebullición (min)	60 min	60,0	60,0
Cantidad de Lúpulo (g) (20 min)		14,2	14,2
Cantidad de Lúpulo (g) (60 min)		14,2	14,2
Alfa – ácidos de lúpulo (%)		7,5	7,5
UAA		3,8	3,8
IBU		5,6	5,6
Enfriamiento			
Temperatura inicial (°C)	100 °C	92,0	92,0
Temperatura final (°C)	25 - 30 °C	27,0	23,0
Tiempo de enfriamiento	< 30 min	25,0	27,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Procesos de cocción y enfriamiento maíz amarillo**

Número de lote		1	2
Parámetro	Objetivo	Valor	
Temperatura de ebullición (°C)	100 °C	91,0	92,0
Tiempo de ebullición (min)	60 min	60,0	60,0
Cantidad de Lúpulo (g) (20 min)		14,2	14,2
Cantidad de Lúpulo (g) (60 min)		14,2	14,2
Alfa – ácidos de lúpulo (%)		7,5	7,5
UAA		3,8	3,8
IBU		5,6	5,6
Enfriamiento			
Temperatura inicial (°C)	100 °C	91,0	92,0
Temperatura final (°C)	25 – 30 °C	27,0	25,0
Tiempo de enfriamiento	< 30 min	26,0	25,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Proceso de hidratación de la levadura maíz blanco**

Número de lote		1	2
Parámetro		Valor	
Microorganismo de levadura		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
Cantidad de levadura (g)		11,5	11,5
Volumen de agua (mL)		35,0	35,0
Temperatura de hidratación (°C)	25 – 29 °C	25,0	23,0
Tiempo de activación	30 min	30,0	30,0
Cantidad de levadura (g/hl)	50-80 g/hl	57,5	60,5
Células viables al envasado (células/g)		>6x10 ⁹	>6x10 ⁹

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Proceso de hidratación de la levadura maíz amarillo**

Número de lote		1	2
Parámetro		Valor	
Microorganismo de levadura		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
Cantidad de levadura (g)		11,5	11,5
Volumen de agua (mL)		35,0	35,0
Temperatura de hidratación (°C)		25 – 29 °C	
Tiempo de activación		30 min	30,0
Cantidad de levadura (g/hl)		76,7	54,8
Células viables al envasado (células/g)		>6x10 ⁹	>6x10 ⁹

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Proceso de fermentación**

Tipo de maíz		Blanco				Amarillo			
Número de lote		1	2	1	2	1	2	1	2
Día	Temperatura objetivo	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)						
1	18-28 °C	21,1	22,2	26,1	25,3	19,2	21,0	25,5	26,2
2	18-28 °C	21,8	20,6	26,9	26,5	20,1	20,8	26,3	27,2
3	18-28 °C	20,5	21,1	25,8	25,1	22,1	21,3	26,4	25,6
4	18-28 °C	21,7	21,5	24,1	24,6	23,2	20,8	27,1	26,3
5	18-28 °C	19,9	20,3	25,3	25,8	21,9	21,3	25,2	27,2
6	18-28 °C	21,6	19,9	25,2	25,3	19,4	23,0	26,4	27,9
7	18-28 °C	20,8	21,2	25,8	26,2	20,1	21,2	25,8	26,8
8	18-28 °C	20,3	20,7	26,1	24,2	20,8	19,7	27,2	25,1
9	18-28 °C	21,1	19,9	26,5	23,9	21,9	22,1	26,9	26,5
10	18-28 °C	23,1	21,3	27,8	26,2	22,3	20,2	28,0	26,9
11	18-28 °C	21,7	20,9	26,8	25,3	22,0	21,1	25,9	27,5
12	18-28 °C	20,5	21,2	26,2	25,2	21,2	22,2	24,6	27,3
13	18-28 °C	21,4	19,9	27,1	24,3	19,8	21,8	23,9	26,9
14	18-28 °C	19,8	21,3	24,2	26,8	19,7	20,1	24,1	25,9
15	18-28 °C	21,2	18,9	26,9	24,3	20,1	21,0	24,5	26,9
Tiempo de fermentación (d)		15				15			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Proceso de clarificación para ambos tipos de maíz**

Tipo de maíz	Blanco		Amarillo		
	Número de lote	1	2	1	2
Presencia de turbidez	Si	Si	Si	Si	Si
Agente clarificante utilizado	Irish Moss		Irish Moss		
Cantidad de agente clarificante (g)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Tiempo de reposo (d)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Proceso de carbonatación para ambos tipos de maíz**

Tipo de maíz	Blanco		Amarillo		
	Número de lote	1	2	1	2
Temperatura máxima de fermentación (°C)	27,8	26,8	28,0	27,9	
Cantidad de sacarosa agregada (g)	8,6	8,6	8,6	8,6	
Cantidad de CO ₂ requerido (L)	2,7	2,7	2,7	2,7	
CO ₂ residual (L)	0,72	0,73	0,72	0,72	
Volumen de CO ₂ a adicionar (L)	1,98	1,97	1,98	1,98	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en etapa de maduración**

Tipo de maíz	Número de lote	Porcentaje de alcohol	Gravedad específica final	Contaminación microbiológica*
Blanco	1	5,0 %	1 020	< 10 UFC/mL
	2	3,4 %	1 025	< 10 UFC/mL
Amarillo	1	4,9 %	1 025	< 10 UFC/mL
	2	5,0 %	1 020	< 10 UFC/mL

Observaciones: * Unidades formadoras de colonias de bacterias ácido lácticas mesofílicas.

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Los parámetros de control durante el proceso de malteado de los granos y de la fabricación de la cerveza son orientativos debido a que no se poseen estudios preliminares que aseguren los rangos de operación; sin embargo, las variables de interés se encuentran en los atributos de calidad de la cerveza final.

Para esto se realizó un análisis estadístico descriptivo en escala ordinal por medio de atributos o variables de desempeño con una muestra de 30 personas; utilizando tablas, representaciones gráficas y valores numéricos de mediana muestral y desviación estándar.

La relación entre los valores de las variables de desempeño se expresó mediante el símbolo relacional mayor que “>” en el siguiente orden:

Me gusta mucho>Me gusta>No me gusta ni me disgusta>Me disgusta>Me disgusta Mucho

Sustituyendo *Me gusta mucho* con cinco de manera sucesiva hasta *Me disgusta mucho* con uno para la aceptación del producto. Se obtuvieron las frecuencias relativas de cada calificación; con base en los resultados obtenidos se determinó la independencia entre la aceptación del producto y el tipo de maíz utilizado para la fabricación; a través de las pruebas de Ji-cuadrado y una estimación de intervalos para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales en caso de muestras grandes.

La clasificación o evaluación de adaptación del estilo se realizó por medio del análisis de los datos proporcionados por un panel de diez expertos, utilizando pruebas de hipótesis sobre las medias de dos distribuciones normales con

varianzas desconocidas, determinando además una variación en el estilo de cerveza independiente del tipo de maíz y el lote mayormente aceptado.

3.8.1. Análisis estadístico en pruebas de aceptación del producto

- Gráficas de barras: las gráficas de barras son útiles para describir datos generalmente de nivel nominal u ordinal; las categorías y sus frecuencias se representan por barras cuya longitud denota la frecuencia. Estas se utilizaron para una representación y evaluación visual de la aceptación del producto en la población normal y de expertos, así como en la evaluación de los aspectos individuales del estilo.
- Gráficas circulares o de pastel: gráfica especialmente útil para mostrar la división de una cantidad total en sus partes o componentes. Fue utilizada para determinar un orden de preferencia entre los lotes fabricados en ambas poblaciones.

Ji cuadrada – pruebas de tablas de contingencias: generalmente utilizadas para conocer si dos métodos o experimentos de clasificación son estadísticamente independientes, se prueba la hipótesis de que los métodos de clasificación de renglón y columna son independientes. Si se rechaza dicha hipótesis se concluye que hay cierta interacción entre los dos criterios de clasificación.

La hipótesis nula en este problema establece que las poblaciones son homogéneas con respecto a las categorías. El cálculo de las frecuencias esperadas, la determinación de los grados de libertad y el cálculo de la estadística

de la ji cuadrada para la prueba de homogeneidad son idénticas a la prueba para la independencia.

$$X_0^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad [\text{Ec. 8}]$$

Donde:

O_{ij} = frecuencia observada (experimento 1)

E_{ij} = frecuencia esperada (experimento 2)

Debido a que se manejan los cuadrados de las diferencias de frecuencias, la distribución toma sólo valores positivos. La gráfica de la distribución X_0^2 es sesgada a la derecha y, al igual que la distribución t de Student, es una familia de curvas cuya forma y valores dependen de los grados de libertad (gl).

$$gl = k - q - 1 \quad [\text{Ec. 9}]$$

Donde:

k = número de categorías

q = número de parámetros poblacionales

Ésta posee el criterio de rechazo de hipótesis de independencia si:

$$X_0^2 > X_{\alpha, gl}^2$$

Donde:

α = Es el nivel de confianza asignado, en el presente 95 %.

- Media ponderada (\bar{x}_p): se denomina media ponderada de un conjunto de datos al resultado de multiplicar cada uno de los datos por un valor particular para cada uno de ellos llamado su peso, obteniendo entonces la suma de estos productos y dividiendo el resultado de esta suma de productos entre los pesos.

Es decir, es un promedio en el que cada valor u observación se pondera con algún factor de acuerdo con su importancia.

En el presente estudio se utilizaron los datos ordinales como una medida absoluta (100 % de aprobación) dividida entre el total de categorías posibles (cinco) de la siguiente manera:

“Me gusta mucho” una aceptación del 100 %, “Me gusta” 80 %, “No me gusta ni me disgusta” 60 %, “Me disgusta” 40 %, “Me disgusta mucho” 20 %. En el caso de los datos por atributos la frecuencia es generalmente utilizada como el peso.

Además, se asignó un valor de importancia de acuerdo a los atributos evaluados en las pruebas de aceptación del producto como se muestra a continuación:

- 20 % color
- 20 % olor
- 40 % sabor

- 20 % amargor

$$\bar{x}_p = \frac{x_1 f_1 (1+w_a) + x_2 f_2 (1+w_a) + \dots + x_i f_i (1+w_a)}{f_1 + f_2 + \dots + f_i} \times 100 \quad [\text{Ec. 10}]$$

Donde:

\bar{x}_p = media ponderada

x_i = ponderación del dato ordinal

f_i = frecuencia absoluta

w_a = ponderación de acuerdo al atributo evaluado

- Varianza (s^2) y Desviación Estándar (s): son las medidas de variabilidad respecto a la media más ampliamente utilizadas; se basan en la suma de las desviaciones, pero elevándolas al cuadrado, porque al multiplicar una desviación negativa por sí misma, da un número positivo.

Para aproximar la varianza de datos organizados en una distribución de frecuencias, al igual que en el caso de la media, se representan las observaciones de cada clase (f_i) por la marca de la clase correspondiente (x_i).

Las ecuaciones se representan de la siguiente manera:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad [\text{Ec. 11}]$$

Donde

s^2 = varianza

f_i = frecuencia absoluta

x_i = ponderación del dato ordinal

\bar{x} = media

n = tamaño de muestra (frecuencia acumulada final)

De manera similar se realiza el cálculo de la desviación estándar, cuya definición se resume a la raíz cuadrada de la varianza:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad [\text{Ec. 12}]$$

- Estimación de intervalo para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales

Los intervalos de propuestos, conocidos como estimaciones de intervalo de una media, representan una posición de mayor confianza respecto a una estimación puntual. Con la finalidad de establecer los dos límites del intervalo de confianza formalmente y darle un peso o una probabilidad a la “confianza” y al “error” de tales estimaciones, se parte de la consideración del caso de muestra grande, ya que de esa manera se puede recurrir al teorema del límite central.

Al trabajar con una muestra grande ($n \geq 30$), se puede usar la desviación estándar de la muestra s para estimar σ .

Al determinar si dos poblaciones son diferentes, se puede realizar la comparación de la diferencia de sus medias o de sus proporciones poblacionales. Para ello se pueden usar muestras de las “probablemente distintas” poblaciones y construir intervalos de confianza para la diferencia entre parámetros poblacionales.

“La forma de la distribución muestral de $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ es aproximadamente normal si ambos tamaños de muestra son grandes $n_1 \geq 30$ y $n_2 \geq 30$ ”.

El intervalo de confianza para $\mu_1 - \mu_2$ se plantea:

$$P\left((\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - Z_\gamma \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + Z_\gamma \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}\right) \quad [\text{Ec. 13}]$$

Expresando los límites por separado se obtiene:

$$LCI = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - Z_\gamma \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad [\text{Ec. 14}]$$

$$LCS = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + Z_\gamma \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad [\text{Ec. 14}]$$

Donde:

LCI = límite de confianza inferior

LCS = límite de confianza superior

\bar{x}_1 = media población experimental 1

\bar{x}_2 = media población experimental 2

Z_γ = valor crítico

σ_1^2 = varianza poblacional experimento 1 (para muestras grandes $\sigma_1^2 \approx s_1^2$)

σ_2^2 = varianza poblacional experimento 2 (para muestras grandes $\sigma_2^2 \approx s_2^2$)

n_1 = tamaño de muestra

n_2 = tamaño de muestra

Tabla XXVII. **Resultados estadística general de preferencia**

Tipo de maíz	Media ponderada	Varianza (s ²)	Desviación estándar (s)
Amarillo 1	81,7 %	0,0663	0,2574
Amarillo 2	91,6 %	0,0726	0,2694
Blanco 1	86,9 %	0,0682	0,2611
Blanco 2	73,3 %	0,0640	0,2530

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Resultados de pruebas estadísticas en lotes mayormente aceptados**

Tipo de prueba	Parámetro	Resultado
Ji-cuadrado	χ_0^2	4,3
	$\chi^2_{(0,05,4)}$	9,4
	Resultado	$\chi_0^2 < \chi^2_{(0,05,4)}$
Ji-cuadrado	Conclusión	Con un nivel de confianza del 95 %; la preferencia del gusto es independiente del tipo de maíz.
Estimación de intervalo para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales	Nivel de significancia	0,1
	Valor observado Z_0	1,645
	Límite de control inferior LCI	- 0,134
	Límite de control superior LCS	0,040
	Hipótesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq 0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$
	Resultado	$-0,134 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 0,040$
	Conclusión	Con un nivel de confianza del 90 %, no se posee evidencia suficiente para indicar que el gusto difiera debido al tipo de maíz.

Fuente: elaboración propia.

3.8.2. Análisis estadístico en pruebas de adaptación del estilo

Las pruebas de adaptación al estilo propuesto se realizaron con base en la evaluación de las características principales propuestas en la guía BJCP, por un panel de 10 expertos.

Estadísticamente hablando, es indispensable analizar si los tipos de maíz utilizados producen variaciones significativas de acuerdo al estilo planteado. Para ello se utilizó las pruebas de hipótesis para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales en el caso de muestras independientes pequeñas, donde no se conocen las varianzas poblacionales σ_1^2 y σ_2^2 y se asume un caso dos $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ debido a las particularidades de la prueba.

- Pruebas de hipótesis para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales.

Suponiendo que las muestras con medias representadas como \bar{x}_1 y \bar{x}_2 , provienen de dos poblaciones normales o aproximadamente normales, se puede considerar que la distribución de la diferencia de medias muestrales sigue aproximadamente una distribución t de *student*.

El modelo estadístico se plantea de la siguiente manera a través de las hipótesis descritas a continuación:

H_0 = no existen diferencias significativas entre el uso de maíz blanco y maíz amarillo en el estilo de cerveza propuesto.

H_1 = existen diferencias significativas entre el uso de maíz blanco y maíz amarillo en el estilo de cerveza propuesto.

Con base en la hipótesis alternativa se plantea la siguiente prueba estadística en notación tradicional (Con el uso del parámetro μ) de dos colas:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Proponiendo que $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ debido a las características de la prueba, la t de student y los grados de libertad se han calculado con base en la fórmula de *Satterwhaite*.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad [\text{Ec. 15}]$$

$$gl \approx \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{1}{n_1 - 1} \left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2 + \frac{1}{n_2 - 1} \left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2} \quad [\text{Ec. 16}]$$

Donde:

t = T de student

\bar{x}_1 = media muestral experimento 1

\bar{x}_2 = media muestral experimento 2

$\mu_1 = \mu_2$ (la resta de ambas = 0)

s_1^2 = varianza muestral experimento 1

s_2^2 = varianza muestral experimento 2

n_1 = tamaño de muestra experimento 1

n_2 = tamaño de muestra experimento 2

Tabla XXIX. **Resultados estadística general de la evaluación de estilo por expertos**

Tipo de maíz	Media ponderada	Varianza (s ²)	Desviación estándar
Maíz amarillo 1	5 645	3 127	1 7684
Maíz amarillo 2	7 355	2 545	1 5952
Maíz blanco 1	7 050	1 819	1 3487
Maíz blanco 2	5 265	2 797	1 6723

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Resultados de pruebas estadísticas en evaluación de estilo entre lotes mayormente aceptados**

Tipo de prueba	Pruebas de hipótesis para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales
Hipótesis	H ₀ : $\mu_1 - \mu_2 \geq 0$ H ₁ : $\mu_1 - \mu_2 < 0$
t ₀	-1,03
Grados de libertad (gl)	95,36
t _(0,05,95)	-1,61
Resultado	t ₀ > t _(0,05,95)
Conclusión	Con un nivel de confianza del 95 % se afirma que las medias de aceptación del estilo no difieren entre la cerveza producida con maíz blanco y con maíz amarillo.

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

Tabla XXXI. **Resultados proceso de malteado maíz blanco**

Número de lote Variable	1		2	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Temperatura de germinación (°C)	25	29	26	30
Humedad relativa de germinación (%)	41	45	39	43
Tiempo de germinación (d)	60		60	
Longitud de brotes (mm)	13	18	15	19
Temperatura de secado (°C)	26	71	24	67
Humedad relativa de secado (%)	27	70	30	65
Tiempo de secado (h)	48		48	
Temperatura de tostado (°C)	80	140	80	145
Tiempo de tostado (min)	90		90	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Resultados proceso de malteado maíz amarillo**

Número de lote Variable	1		2	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Temperatura de germinación (°C)	25	29	26	28
Humedad relativa de germinación (%)	37	41	36	42
Tiempo de germinación (d)	60		60	
Longitud de brotes (mm)	9	18	11	19
Temperatura de secado (°C)	24	69	22	65
Humedad relativa de secado (%)	31	60	29	57
Tiempo de secado (h)	48		48	
Temperatura de tostado (°C)	80	144	80	143
Tiempo de tostado (min)	90		90	

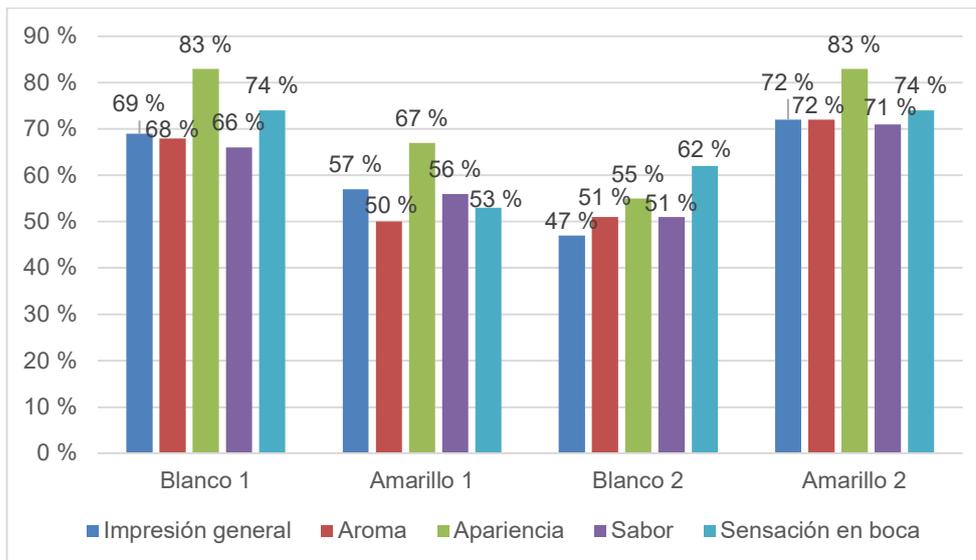
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Resultados parámetros fisicoquímicos

Tipo de maíz	Lote	OG	FG	ABV	Atenuación	IBU
Blanco	1	1 057	1 020	5,0 %	65 %	5,6
	2	1 050	1 025	3,4 %	50 %	5,6
Amarillo	1	1 061	1 025	4,9 %	59 %	5,6
	2	1 057	1 020	5,0 %	65 %	5,6

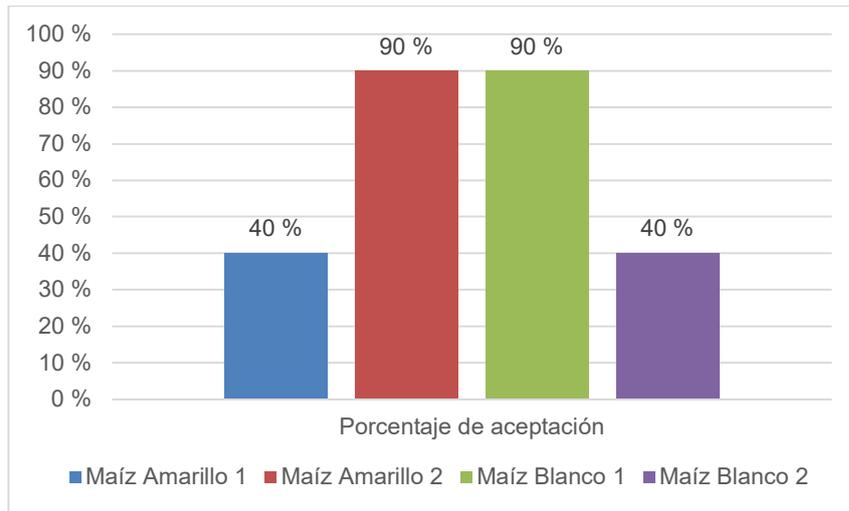
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Evaluación del estilo de cerveza en pruebas con expertos



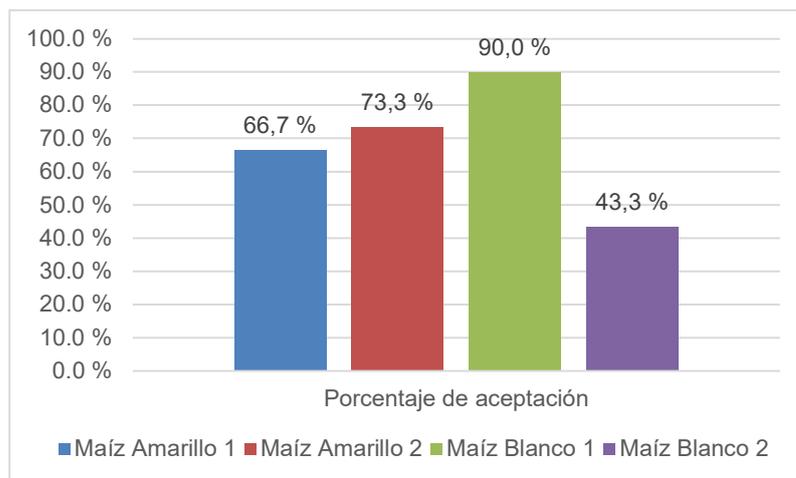
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Porcentaje de aceptación del producto en pruebas con expertos**



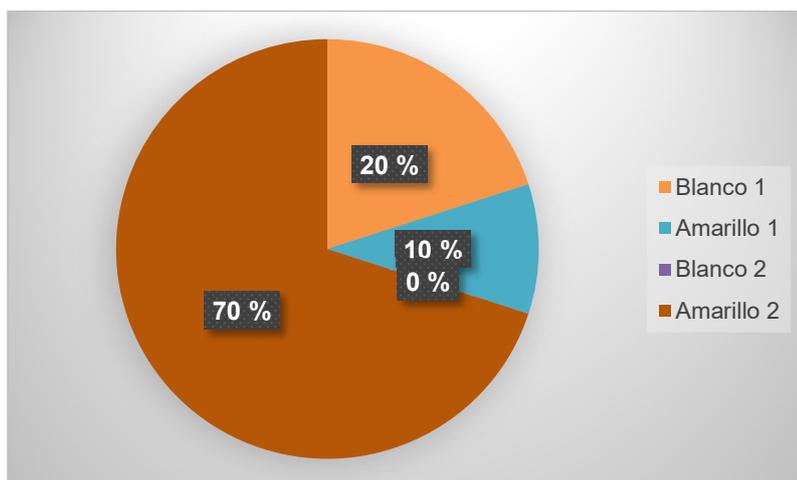
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Porcentaje de aceptación del producto en pruebas con población normal**



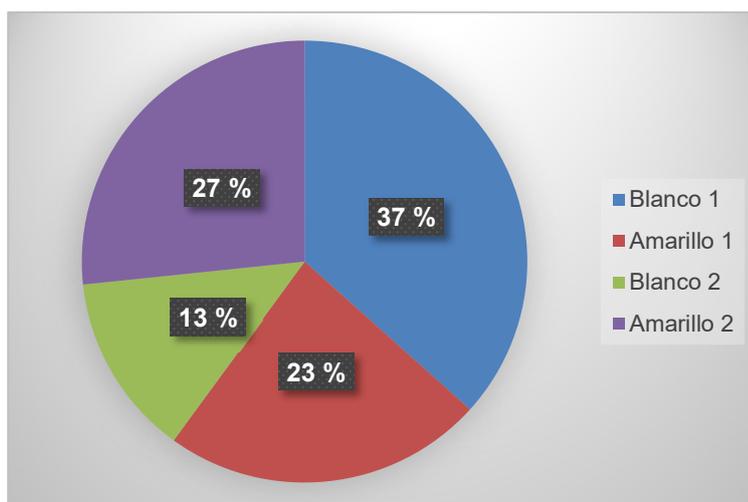
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Orden de preferencia expertos de acuerdo a lotes producidos**



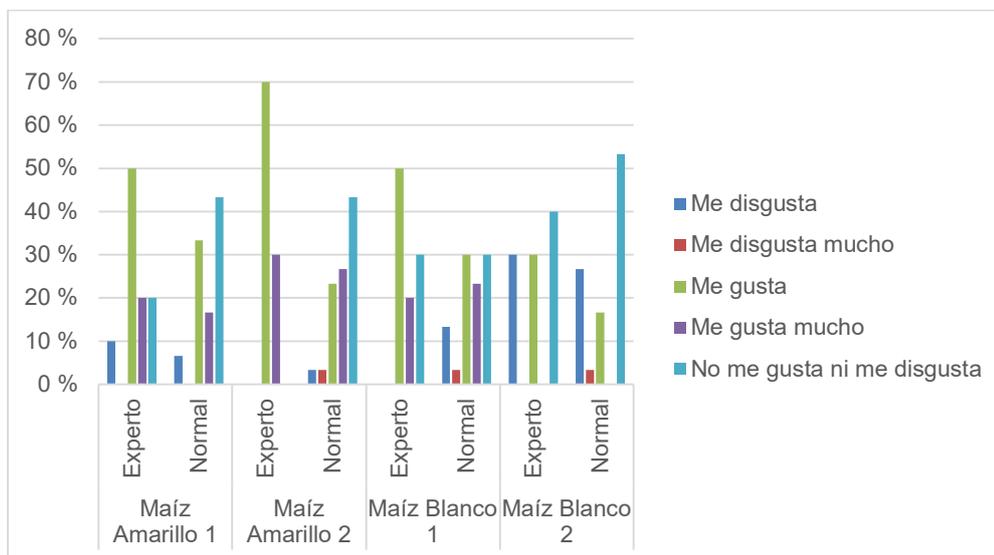
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Orden de preferencia población normal de acuerdo a lotes producidos**



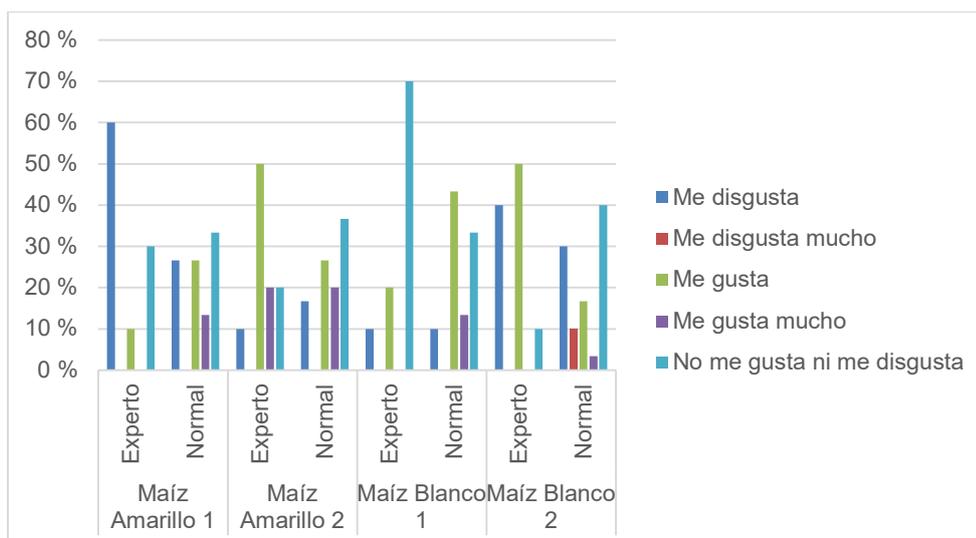
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Resultados evaluación características de color



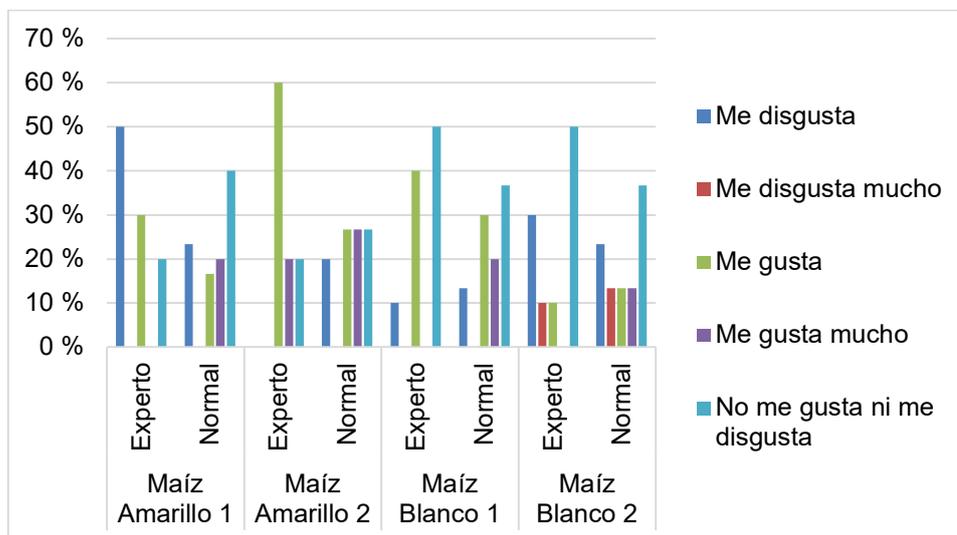
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Resultados evaluación características de olor



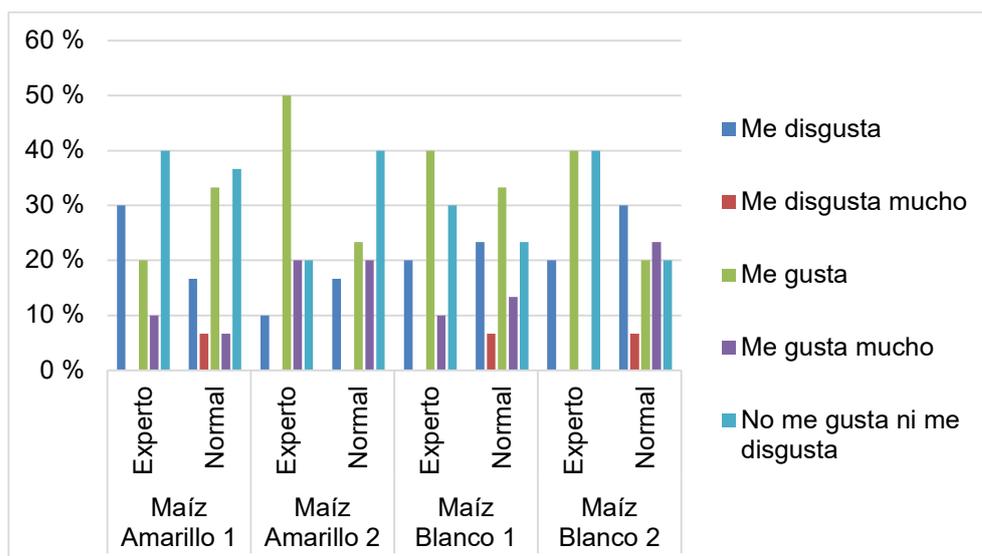
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Resultados evaluación características de sabor



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Resultados evaluación características de amargor



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Resultados análisis microbiológico**

Microorganismo evaluado		Bacterias ácido lácticas mesofílicas		
Laboratorio		LAMIR / USAC Facultad CC. QQ y Farmacia		
Metodología de análisis		ISO 15214		
Tipo de maíz	Número de lote	Código de muestra	Tiempo de envasado	Resultado
Blanco	1	MB1	> 30 días	< 10 UFC/mL
	2	MB2	> 30 días	< 10 UFC/mL
Amarillo	1	MA1	> 30 días	< 10 UFC/mL
	2	MA2	> 30 días	< 10 UFC/mL

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el estudio en cuestión, se desarrolló una malta fabricada exclusivamente de maíz para elaborar una cerveza libre de gluten, puesto que la cebada utilizada en la fabricación regular aporta las enzimas necesarias para la transformación de azúcares en alcohol; sin embargo, no puede ser ingerida por el sector de consumidores enfermos celíacos.

Además de la malta, todos los demás insumos utilizados fueron libres de gluten y el proceso se ejecutó en equipos dedicados, conformando una línea de proceso de cerveza artesanal libre de trazas de gluten.

El tipo y estilo de cerveza planteado fue de una cerveza de granos alternativos utilizando la base del estilo Blonde Ale, a través de una fermentación alta utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae*, certificada libre de gluten de la marca Fermentis, lúpulo y enzimas industriales.

El estudio se realizó por duplicado utilizando maíz blanco y maíz amarillo, con la finalidad de observar posibles variaciones; sin embargo, durante el proceso de malteado, en la fabricación y los porcentajes de aceptación tanto del panel de experto y de la población normal las diferencias fueron casi imperceptibles.

La elección del grano de maíz, se basó en la similitud de las propiedades químicas con la cebada como puede observarse en la figura 1, incluyendo un mayor contenido de almidón; sin embargo, teóricamente la cebada es el único

grano con el suficiente poder diastásico para producir cerveza, mientras que el uso de otros granos queda restringido a la categorización de “granos adjuntos”.

Los granos adjuntos, pueden ser malteados o no y son únicamente utilizados para proporcionar características específicas en los diferentes tipos de cerveza; toda vez, exista un equilibrio con la cantidad de cebada utilizada por su aporte de enzimas durante el proceso de fabricación.

El malteado de maíz consta de cinco procesos básicos: la selección y preparación de grano, la humidificación, la germinación y el secado para la fabricación de una malta base. Otros tipos de malta como la malta caramelo, torrefactas u oscuras, poseen un proceso adicional de tostado bajo condiciones de temperatura, tiempo y humedad inicial determinadas.

El proceso de malteado suele ser general para cualquier grano, lo que se busca es que exista una germinación, que provoque un brote o raíz y la misma alcance una longitud promedio de 1,5 veces la longitud del grano. Bajo este concepto y utilizando enzimas industriales, se puede fabricar cerveza de casi cualquier tipo de grano, toda vez las condiciones de humedad y temperatura adecuadas para la germinación se cumplan.

Durante la germinación es especialmente importante mantener una adecuada limpieza y selección de granos, esto con la finalidad de evitar la presencia de mohos o bacterias que degraden la calidad final de la malta. En el presente, la temperatura de humidificación y germinación se mantuvo por encima de los límites teóricos; sin embargo, con el suficiente control para evitar crecimiento de mohos.

Bajo las condiciones de estudio se observó una reducción en el tiempo de germinación teórica de 168 horas (7 días) a 60 horas (2 días y medio) en ambos casos para el maíz blanco y el maíz amarillo.

Posteriormente, al alcanzar la longitud deseada en los brotes, los granos deben secarse hasta el punto en que los brotes puedan ser removidos con facilidad. Las tablas XII y XIII de los procesos de malteado para ambos tipos de maíz, se muestran las humedades máximas por encima del límite establecido, esto se debe a que representan las humedades iniciales, y las humedades mínimas representan las finales en la malta base respectivamente.

En el presente estudio se confeccionaron deshidratadores solares fabricados con material reciclado; en tal caso, las condiciones de temperatura y humedad dependen del clima, por tal razón bajo los mismos tiempos de deshidratación se observaron temperaturas más altas de lo esperado registradas a través de un termohigrómetro, esto provocó variaciones en el color de la malta por los ligeros grados de tueste; dichas variaciones también se percibieron en el color de la cerveza.

Posteriormente, al obtener la malta base libre de gluten el proceso de fabricación de cerveza fue muy similar a los procesos de fabricación regulares tomando en cuenta dos premisas adicionales de importancia; el poder diastásico necesario para elaborar cerveza y el proceso de solubilización del almidón presente en el grano.

En el caso de la cebada el almidón presente en el grano solubiliza a temperaturas normales de maceración y es simultáneamente convertido en azúcares simples por sus enzimas diastásicas, estas operan efectivamente en los mismos rangos de temperatura.

En el caso del maíz el almidón puede obtenerse únicamente a temperaturas mayores, aproximadamente de 70 °C a 75 °C por un período mínimo de 30 minutos, utilizando un proceso llamado “gelatinización”, y puede ser gradual hasta llegar al punto de ebullición para obtener eficiencias cercanas al 100 %.

Posteriormente se reduce la temperatura hasta los valores regulares de proceso para la etapa de maceración es decir de 65 °C a 68 °C en donde las enzimas industriales son agregadas y se dejan actuar por un tiempo de 60 minutos. Para esto se construyó un macerador con sistema de recirculación continua, utilizando un aislador de calor, tubería de cobre y una bomba de desplazamiento positivo.

Hasta este punto, se puede deducir que, si las condiciones de proceso no se han llevado a cabo de acuerdo a procedimientos básicos de buenas prácticas de manufactura, la proliferación de microorganismos contaminantes es de mayor riesgo, independientemente, que en la etapa de ebullición puedan ser eliminados.

Las etapas de cocción, fermentación, clarificación y embotellado son realizadas de manera regular, obteniendo finalmente cuatro lotes de cerveza libres de gluten.

Debido a que en Guatemala no se cuenta con la instrumentación necesaria para analizar la calidad de maltas, las características de calidad del producto se evaluaron en la cerveza final a través de dos grupos de estudio; un panel de diez expertos que evaluaron la adaptación al estilo de cerveza planteando, siendo este una *Blonde Ale*, y una población normal de 30 personas para la aceptación general y la evaluación del gusto por los atributos de color, olor, sabor, amargor y orden de preferencia.

Los lotes de mayor aceptación maíz blanco 1 (MB1), y maíz amarillo 2 (MA2), estadísticamente no difirieron en aceptación de estilo a través de la prueba de hipótesis para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales, así como la preferencia por el gusto mostró una independencia del tipo de maíz utilizado con un nivel de confianza del 95 % a través de la prueba de ji-cuadrado. Además, una estimación de intervalo para las diferencias de medias y de proporciones poblacionales confirmó con un 90 % de confianza que no se evidencia una preferencia general por encima uno del otro.

De los cuatro lotes evaluados, los lotes de maíz amarillo 1 (MA1), y maíz blanco 2 (MB2), obtuvieron porcentajes de aceptación general y adaptación de estilo por debajo de lo esperado y menor al 50 %; sin embargo, las características de rechazo suelen estar relacionadas a errores de fabricación normales en la industria cervecera.

Los atributos de rechazo del lote de maíz amarillo 1, se atribuyen a errores del personal operativo; debido a la falta de experiencia y capacitación al realizar un lavado ineficiente de botellas que resultaron con trazas perceptibles de jabón, y una carbonatación insuficiente al realizar la solución de *priming* para carbonatar.

Los atributos de rechazo del lote de maíz blanco 2 se atribuyen a una típica contaminación microbiológica de la industria. Es necesario recalcar que la contaminación microbiológica en la cerveza se encuentra restringida a microorganismos específicos, debido a su bajo pH y agentes antimicrobianos como el lúpulo, y aunque no pueden desarrollarse microorganismos patógenos en este medio, la contaminación afecta las características de calidad descritas en la figura 6.

Por esta razón se realizó el análisis microbiológico más común en la industria; un recuento de bacterias ácido lácticas, y aunque en los cuatro lotes se obtuvieron resultados menores a 10 unidades formadoras de colonias por mililitro, no se descarta la presencia de microorganismos de otro tipo tales como acetobacterias que también pueden propiciar las características de acidez, turbidez, aumento de viscosidad y menor porcentaje de alcohol observadas, en el lote en mención.

Dentro de las causas posibles se observa además que en la etapa de fermentación se alcanzaron temperaturas máximas cercanas al límite superior sugerido por el proveedor de 28 °C; y aunque se encuentran dentro de rango, el crecimiento bacteriano se desarrolla a temperaturas entre 22 y 25 °C. Por ese motivo es recomendable mantener este tipo de fermentación a temperaturas menores a 22 °C, pero superiores al límite inferior recomendado por el proveedor con la finalidad de no aumentar las probabilidades de una contaminación microbiológica ni de demorar el proceso de fermentación.

CONCLUSIONES

1. La elaboración de malta base fabricada con granos de maíz fue exitosa para los lotes de maíz amarillo y maíz blanco respectivamente.
2. Es posible la fabricación de una cerveza que cumpla las características de estilo y tipo *Blonde Ale*, empleando maltas de maíz blanco y maíz amarillo.
3. El máximo porcentaje de alcohol alcanzado a través de la utilización de enzimas industriales fue de 5 % y el menor de 3,4 %, en concordancia con el porcentaje de alcohol de cervezas tipo *Blonde Ale*.
4. Los lotes de cerveza mayormente aceptados de maíz blanco 1 y maíz amarillo 2 demuestran estadísticamente independencia en el tipo de maíz utilizado durante su fabricación, para la evaluación de estilo y aceptación general con un nivel de confianza del 95 %.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar otros tipos de estilos de cerveza utilizando además diferentes granos alternativos para comparar los resultados.
2. El aseguramiento de la calidad durante los procesos debe ser efectiva, tanto para las operaciones como para los equipos y el personal ejecutor, con la finalidad de producir resultados cuya variación dependa únicamente de los parámetros de estudio.
3. Realizar un perfil microbiológico más amplio incluyendo otros tipos de bacterias gram-positivos y gram-negativos menos comunes en la industria cervecera.
4. Las etapas con mayor probabilidad de contaminación son la maceración, cocción, fermentación y el filtrado; razón por la que estas deben ser mayormente controladas independientemente de la obtención exitosa de malta libre de gluten en procesos previos.
5. Procurar condiciones ambientales de temperatura máxima en el proceso de fermentación, más rigurosas que las recomendadas por el proveedor, esto con la finalidad de disminuir la probabilidad de contaminación microbiológica.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, Edith. *Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis*. México: Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, 2012. 247 p.
2. APAZA, Miriam. *Tecnología para la elaboración de una cerveza Artesanal tipo ale, con sustitución parcial de malta (*Hordeum vulgare*) por guiñapo de maíz morado (*Zea mays*)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú: 2017. 287 p.
3. BAILLYA, Rogerio. *An Economically Viable Way to Produce Beer from the Maize Malt*. Santana. Chemical engineering transactions. Vol 38, 2014.
4. BALCELLS, Luis. *Cerveza la bebida de la felicidad*. España: Planeta, 2014. 15 p.
5. Carpathian journal of food science and technology faculty of Nutrition Sciences, food science and technology. *The common spoilage microorganisms of beer: occurrence, defects, and determination -a review*, Iran: Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, 2015. 246 p.
6. Cerveza Artesana. *La guía definitiva de la malta*. [en línea]. <<https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-de-la-malta.html>>. [Consulta: 13 de agosto de 2018].

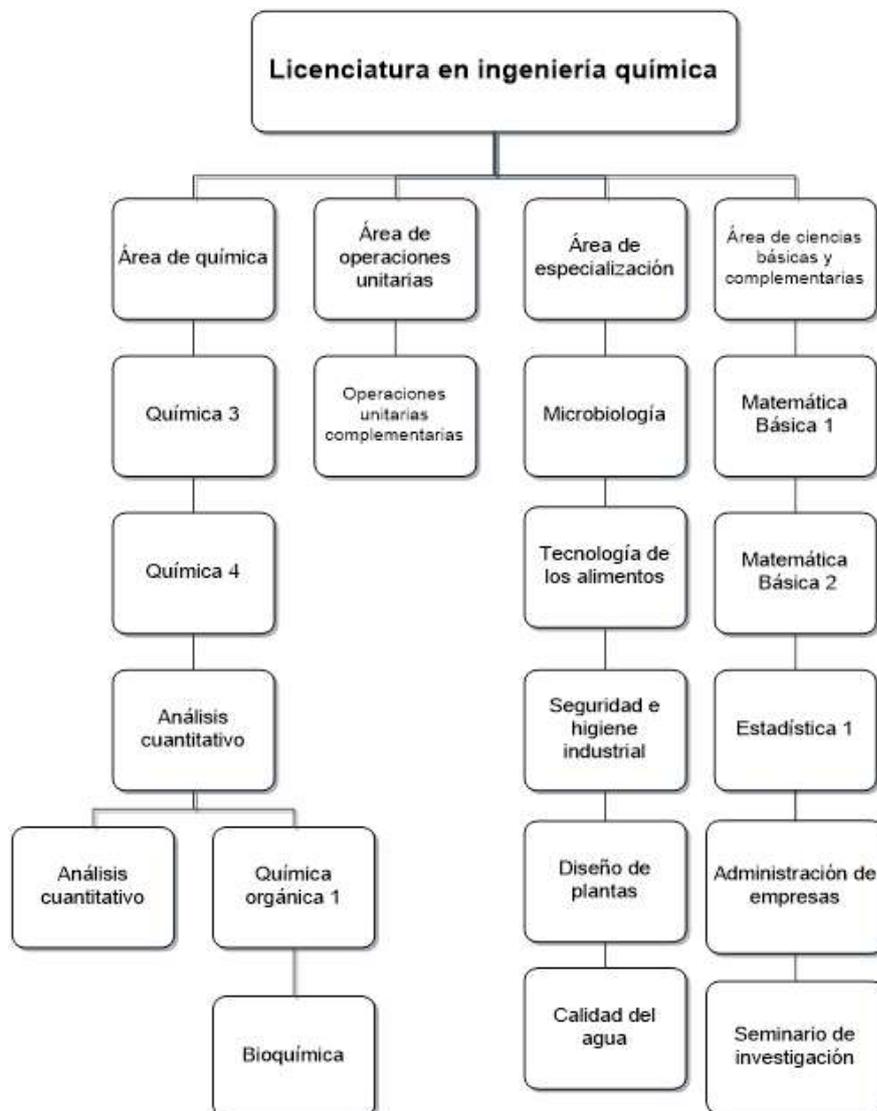
7. FLORES, Julio. *Optimización del rendimiento en la etapa de filtración con base en la obtención del extracto de cereales contenido en el mosto cervecero mediante la aplicación de una combinación de variantes de operación*. Trabajo de graduación de Ing. en Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2014. 77 p.
8. GOMA, Ahmed. *Application of enzymes in brewing*. Estados Unidos: Journal of nutrition and food science forecast, 2018. 5 p.
9. GONZÁLEZ, Marcos. *Principios de elaboración de cervezas artesanales*. Estados Unidos: Lulu Enterprises, 2017. 139 p.
10. HINES, William. y MONTGOMERY, Douglas. *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. 2a ed. México: Continental, 1993. 198 p.
11. HORNSEY, Ian. *A History of beer and Brewing*. UK Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2003. 5 p.
12. LÓPEZ GARCÍA, María José. *Manual de laboratorio en las enfermedades autoinmunes digestivas*. España: Omnia Science, 2013. 217 p.
13. LURO, Pedro. *Cultivo de Maíz con riego, análisis y evaluación económica de una hectárea*. Tomo VII. Argentina: Vademécum, 1982. 230 p.

14. MALHOTRA, Naresh. *Investigación de mercados un enfoque aplicado*. 4a ed. México: Pearson, 2004. 444 p.
15. MCGILVERY, Robert. *Conceptos bioquímicos*. España: Reverté S.A, 1977. 103 p.
16. MENCIA, Gustavo. *Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (Zea mays), cebada (Hordeum vulgare), carbonatada con azúcar y miel de abeja*. Honduras: Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, 2016. 146 p.
17. NIEVES, Antonio. y DOMÍNGUEZ Federico. *Probabilidad y estadística para ingeniería un enfoque moderno*. México: McGraw-Hill, 2010. 415 p.
18. ORE, Guillaume. *Design and production of maize beer*. Institute of Chemical Engineering. Russia: Ural Federal University, 2016. 203 p.
19. PÉREZ, Ricardo. *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. México: Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Hidalgo, 2008. 180 p.
20. ROSALES, David. *El poder diastásico de la malta*. [en línea]. <<http://cervezodromo.blogspot.com/2017/02/poder-diastastico-malta.html>>. [Consulta: 27 de agosto de 2018].

21. Universidad Autónoma Metropolitana. *Cra la UAM cerveza artesanal con propiedades antioxidantes*, México: Semanario de la UNAM, 2017. 88 p.
22. VIDAL LARRADAGOITIA, Lourdes. *Anatomofisiología y patología básicas*. España: Paraninfo S.A., 2012. 303 p.

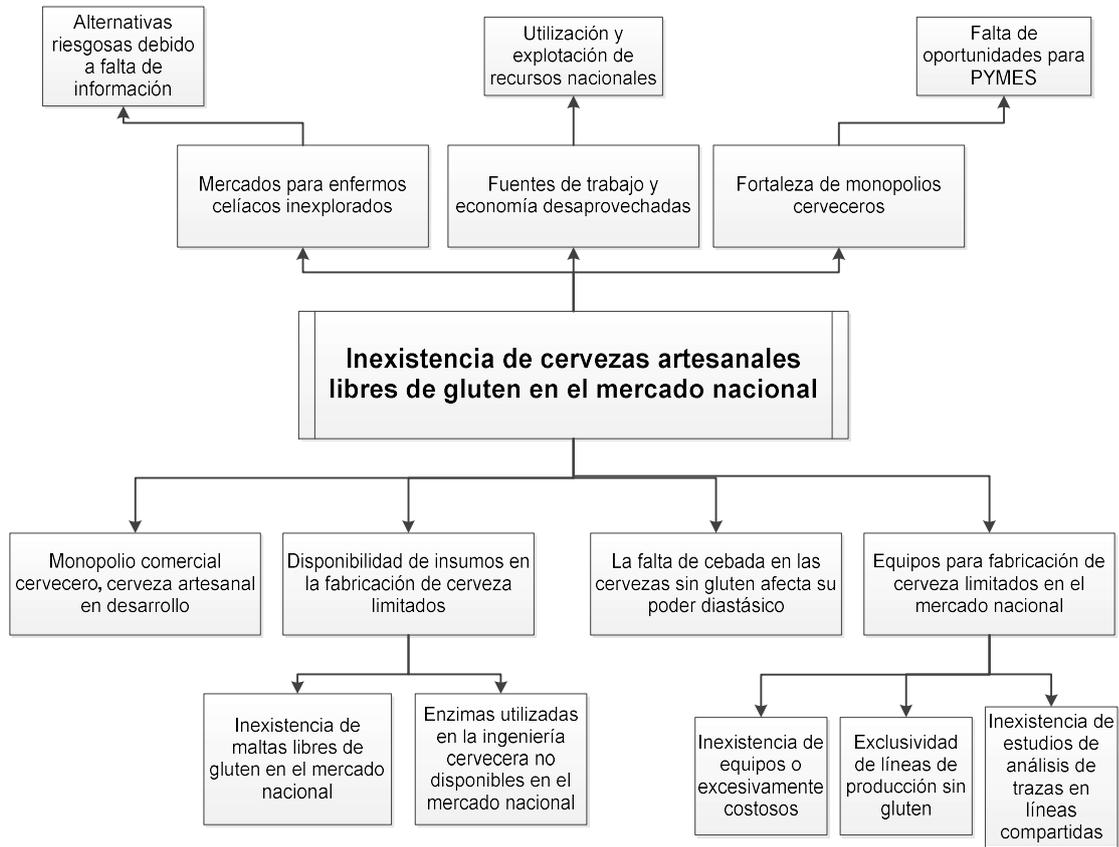
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Apéndice 2. Diagrama de árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

Apéndice 3. **Pruebas orientadas al producto**

- El análisis orientado hacia el producto se ejecutará por diez panelistas expertos por duplicado para ambas cervezas, el esquema se ejecutará tipo encuesta. A continuación, se presenta el formato propuesto para una cerveza con granos alternativos y base Blonde Ale de maíz.

Edad		Sexo		Fecha	
Código de muestra			Temperatura de muestra		
Atributo	Característica deseable			Valoración (1-10)	
Impresión general	Una cerveza artesanal americana fácil de beber y accesible, orientada a la malta, frecuentemente con interesantes notas a fruta, lúpulo o carácter de malta. Bien balanceada y limpia, es una cerveza refrescante sin sabores agresivos.				
Aroma	Ligero a moderado aroma a malta dulce, posiblemente con una ligera nota a pan o caramelo. Baja a moderada frutalidad es opcional, pero aceptable. Puede tener un aroma a lúpulo de bajo a medio y puede reflejar casi cualquier variedad de lúpulo, aunque son comunes notas cítricas, florales, frutales y especiadas. El maíz puede proveer mayor perfil.				
Apariencia	Color amarillo suave a dorado profundo. Clara a brillante. Espuma blanca baja a media con regular a buena retención. Puede notarse algo de turbidez adicional.				

Continuación de apéndice 3.

Sabor	Suave dulzor maltoso inicial, pero opcionalmente con algún carácter ligero de sabor a malta; por ejemplo, pan tostado, bizcocho o trigo pueden también estar presentes. Sabores a caramelo típicamente ausentes; si están presentes, son típicamente notas a caramelo pálido. Ésteres frutales de bajos a medios son opcionales, pero bienvenidos. Sabor a lúpulo ligero a moderado (cualquier variedad), pero no debería ser demasiado agresivo. Amargor medio-bajo a medio, pero el balance es normalmente hacia la malta o aún entre malta y lúpulo. Final medio-seco a ligeramente dulce maltoso. La impresión de dulzor es frecuentemente una expresión del bajo amargor más que del dulzor residual.	
Sensación en boca	Cuerpo medio-ligero a medio. Carbonatación media a alta. Delicado sin ser intenso. El maíz puede disminuir el cuerpo y proporcionar delgadez.	

- El análisis de aceptación se realizó a través de una muestra poblacional de 30 panelistas, continuando con el esquema de encuesta. Las características a evaluar serán:

Código de muestra:	
Edad:	
Sexo:	
Fecha:	

Continuación de apéndice 3.

Temperatura de muestra:	
Atributo	Me disgusta extremadamente- Me gusta extremadamente (1 - 5)
Color	
Olor	
Sabor	
Volverías a consumirla	
Orden de preferencia	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Datos tabulados encuestas

Color	Maíz Amarillo 1		Maíz Amarillo 2		Maíz Blanco 1		Maíz Blanco 2	
Categorías	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal
Me disgusta	1	2	0	1	0	4	3	8
Me disgusta mucho	0	0	0	1	0	1	0	1
Me gusta	5	10	7	7	5	9	3	5
Me gusta mucho	2	5	3	8	2	7	0	0
No me gusta ni me disgusta	2	13	0	13	3	9	4	16
Total general	10	30	10	30	10	30	10	30

Continuación de apéndice 4.

Olor	Maíz Amarillo 1		Maíz Amarillo 2		Maíz Blanco 1		Maíz Blanco 2	
Categorías	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal
Me disgusta	6	8	1	5	1	3	4	9
Me disgusta mucho	0	0	0	0	0	0	0	3
Me gusta	1	8	5	8	2	13	5	5
Me gusta mucho	0	4	2	6	0	4	0	1
No me gusta ni me disgusta	3	10	2	11	7	10	1	12
Total general	10	30	10	30	10	30	10	30

Sabor	Maíz Amarillo 1		Maíz Amarillo 2		Maíz Blanco 1		Maíz Blanco 2	
Categorías	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal
Me disgusta	5	7	0	6	1	4	3	7
Me disgusta mucho	0	0	0	0	0	0	1	4
Me gusta	3	5	6	8	4	9	1	4
Me gusta mucho	0	6	2	8	0	6	0	4
No me gusta ni me disgusta	2	12	2	8	5	11	5	11
Total general	10	30	10	30	10	30	10	30

Amargor	Maíz Amarillo 1		Maíz Amarillo 2		Maíz Blanco 1		Maíz Blanco 2	
Categorías	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal	Experto	Normal
Me disgusta	3	5	1	5	2	7	2	9
Me disgusta mucho	0	2	0	0	0	2	0	2
Me gusta	2	10	5	7	4	10	4	6
Me gusta mucho	1	2	2	6	1	4	0	7
No me gusta ni me disgusta	4	11	2	12	3	7	4	6
Total general	10	30	10	30	10	30	10	30

Continuación de apéndice 4.

- Tabulación aceptación general por lote de cerveza:

Todos	No	Si	Total
Maíz Amarillo 1	16	24	40
Maíz Amarillo 2	9	31	40
Maíz Blanco 1	4	36	40
Maíz Blanco 2	23	17	40
Total	52	108	160

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Muestra de cálculo

- Estequiometría para la determinación del contenido de almidón requerido
 - Para la producción de 20 L de cerveza y una cerveza con gravedad final relativa en el rango de (1,008 a 1,012) y un porcentaje de alcohol del 5 % ABV.

$$20L_{cerveza} = \frac{1,008 \text{ kg}_{cerveza}}{1L_{cerveza}} = 20,16 \text{ kg}_{cerveza}$$

$$20.16(kg)_{cerveza} = \frac{5kg_{C_2H_5OH}}{100kg_{cerveza}} = 1,008 \text{ kg}_{C_2H_5OH}$$

$$1,008kg_{C_2H_5OH} * \frac{1 \text{ mol } C_2H_5OH}{46 (kg)_{C_2H_5OH}} * \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{2 \text{ mol } C_2H_5OH} * \frac{1 \text{ mol } C_6H_{10}O_5}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} * \frac{162 (kg)_{C_6H_{10}O_5}}{1 \text{ mol } C_6H_{10}O_5} = 1,775kg_{C_6H_{10}O_5}$$

Continuación de apéndice 5.

- Cálculo de maíz requerido

Con un porcentaje de almidón teórico del 62,6 %:

$$1,774 \text{ kg } C_6H_{10}O_5 = \frac{100 \text{ (kg) maíz}}{62,6 \text{ (kg) } C_6H_{10}O_5} = 2,835 \text{ kg maíz}$$

Asumiendo una eficiencia teórica del proceso total del 20,16 %

$$2,835 \text{ kg maíz} * \frac{100 \%_{\text{proceso ideal}}}{20,16 \%_{\text{proceso real}}} = 14,06 \text{ kg maíz requerido}$$

- Cálculo de atenuación

Para la primera corrida de maíz blanco presentando las siguientes características: gravedad inicial 1,057 y una gravedad final posterior a la fermentación de 1,020. Los demás datos se calcularon de la misma manera.

$$A = \frac{100 \times (D_i - D_f)}{D_i - 1}$$

$$A = \frac{100 \times (1,057 - 1,020)}{1,057 - 1} = 65 \%$$

Donde:

A = porcentaje de atenuación

Di = densidad inicial

Df = densidad final

Continuación de apéndice 5.

- Cálculo de alcohol producido

Prosiguiendo con el ejemplo del primer lote de cerveza fabricado con maíz blanco al calcular su ABV se obtiene:

$$C_2H_5OH = \frac{1\,000(D_i - D_f)}{7.4}$$

$$C_2H_5OH = \frac{1\,000(1,057 - 1,020)}{7,4} = 5,0 \%$$

Donde:

Di = densidad inicial

Df= densidad final

- Cálculo de amargor

La aproximación del nivel de amargor en los cuatro lotes de cerveza producido utilizando el mismo tipo de lúpulo.

Cálculo de unidades de alfa-ácidos

$$AAU = L_{(onz)} * \% AA$$

$$AAU = 0,5_{onz} * \% 7,5 = 3,75$$

Continuación de apéndice 5.

Donde:

AAU= unidades de alfa-ácidos

L= cantidad de lúpulo en onzas

% AA = porcentaje de alfa ácidos presentes en el lote de lúpulo

Cálculo IBU (*International Bitterness Unit*)

$$IBU = \frac{k * L_{onz} * AA\%}{V_{cerveza}}$$

$$IBU = \frac{7,5 * 0,5_{oz} * 7,5\%}{5_{gal}} = 5,6_{oz/gal}$$

Donde:

IBU = unidades internaciones de amargor

K = constante de adición de lúpulo; 18,7 (Lúpulos de amargor), 7,5 (Lúpulos de amargor y aroma) y 0 (Lúpulos aromáticos).

- Cálculo de carbonatación

Para el cálculo de la carbonatación del primer lote de cereza de maíz amarillo y tomando en cuenta las equivalencias teóricas se obtiene:

- 1 gramo de azúcar = 0,23 volúmenes de CO₂
- 1 volumen de CO₂ = 1 L de CO₂ - condiciones normales (T=0 °C y P= 1 atm).

Continuación de apéndice 5.

$$Vol CO_{2Adicionar} = Vol CO_{2Deseados} - Vol CO_{2residuales}$$

$$Vol CO_{2Adicionar} = 2,7 L - 0,72 L = 1,98 L_{CO_2}$$

Donde:

- Vol. CO₂ Deseados = Volúmenes de CO₂ de acuerdo al estilo de cerveza (anexos).
- Vol. CO₂ residuales = Volúmenes de CO₂ de acuerdo a la temperatura máxima de fermentación (temperatura máxima = 28 °C).

$$Gramos de azúcar = 1,98 L_{CO_2} * \frac{1 g_{azúcar}}{0,23L_{CO_2}} = 8,61g$$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Fotografías

- Germinación maíz amarillo



- Germinación maíz blanco



Continuación de apéndice 6.

- Deshidratadores solares y deshidratación malta



Continuación de apéndice 6.

- Maltas maíz blanco y maíz amarillo



- Ejemplos de defectos en calidad de malta



Continuación de apéndice 6.

- Diferencias entre proceso de gelatinización de almidón y cocción de mosto.



- Estructura del macerador y proceso de maceración.



Continuación de apéndice 6.

- Proceso de fermentación; válvula *air-lock* en actividad e hidratación de la levadura.



- Proceso de embotellado y chapado.



Continuación de apéndice 6.

- Controles de calidad e instrumentación.



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Contenido de CO₂ de acuerdo al tipo de cerveza

Estilo de cerveza	Volúmenes CO ₂
Ales británicas	1,5-2,0
Porter, stout	1,7-2,3
Ales belgas	1,9-2,4
Lagers europeas	2,2-2,7
Ales y lager americanas	2,2-2,7
Lambic	2,4-2,8
Lambic de frutas	3,0-4,5
Cerveza de trigo alemana	3,3-4,5

Fuente: GONZÁLEZ, Marcos. *Principios de elaboración de cervezas artesanales*. p. 199.

Anexo 2. Dióxido de carbono residual según temperatura de fermentación

Temperatura (°C)	Gas residual Vol. CO ₂
1	1,65
2	1,59
3	1,54
4	1,48
5	1,43
6	1,38
7	1,33
8	1,29
9	1,24
10	1,20
11	1,16
12	1,12
13	1,08
14	1,04
15	1,01

Temperatura (°C)	Gas residual Vol. CO ₂
16	0,98
17	0,94
18	0,92
19	0,89
20	0,86
21	0,84
22	0,81
23	0,79
24	0,77
25	0,76
26	0,74
27	0,73
28	0,72
29	0,71
30	0,70

Fuente: GONZÁLEZ, Marcos. *Principios de elaboración de cervezas artesanales*. p. 200.

