



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

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS QUE APORTA EL
MAÍZ NEGRO (*Zea mays L.*) EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA
A TRES DIFERENTES TEMPERATURAS DE FERMENTACIÓN**

Nicolás Roberto De León Bobadilla

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales

y por el Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS QUE APORTA EL
MAÍZ NEGRO (*Zea mays L.*) EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA
A TRES DIFERENTES TEMPERATURAS DE FERMENTACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NICOLÁS ROBERTO DE LEÓN BOBADILLA

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES
Y POR EL ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herbert de León Morales
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS QUE APORTA EL
MAÍZ NEGRO (*Zea mays L.*) EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA
A TRES DIFERENTES TEMPERATURAS DE FERMENTACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha julio de 2014.



Nicolás Roberto De León Bobadilla



Guatemala, 27 de abril de 2016

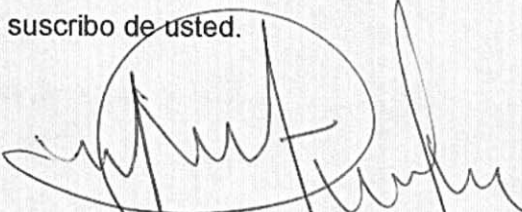
Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Wong:


Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR Que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del Trabajo de Graduación "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS QUE APORTA EL MAÍZ NEGRO (*Zea mays* L.) EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA A TRES DIFERENTES TEMPERATURAS DE FERMENTACIÓN", del estudiante de Ingeniería Química Nicolás Roberto De León Bobadilla quien se identifica con el carné número 2009-15752.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,


Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
JEFE
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales -LIXVE-
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor




Inga. Qca. Telma Marcela Cano Morales
Profesora Investigadora Titular IX
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC
Asesora





Guatemala, 26 de mayo de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.031.2016.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **048-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Nicolás Roberto De León Bobadilla**.
Identificado con número de carné: **2009-15752**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

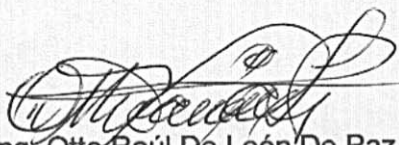
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS QUE APORTA EL MAÍZ NEGRO (*Zea mays* L.) EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA A TRES DIFERENTES TEMPERATURAS DE FERMENTACIÓN

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales y Mario José Mérida Meré**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Otto Raúl De León De Paz
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.036.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de el estudiante, **NICOLÁS ROBERTO DE LEÓN BOBADILLA** titulado: **"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS QUE APORTA EL MAÍZ NEGRO (ZEA MAYS L.) EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA A TRES DIFERENTES TEMPERATURAS DE FERMENTACIÓN"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



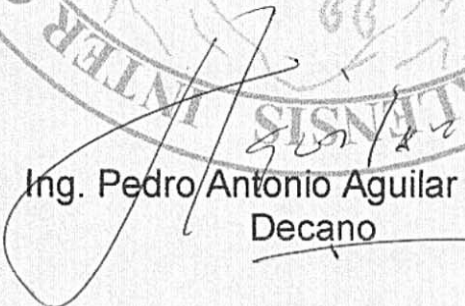
Guatemala, junio 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale



El Decano 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: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS QUE APORTA EL MAÍZ NEGRO (Zea mays L.) EN LA ELABORACIÓN DE CERVEZA A TRES DIFERENTES TEMPERATURAS DE FERMENTACIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Nicolás Roberto De León Bobadilla**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, junio de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su sabiduría e inteligencia que me ha brindado en todo momento.
- Mis padres** Nicolás Eradio De León Morales e Hilda Olivia Bobadilla de De León, por su apoyo incondicional y por darme todo lo que tengo.
- Mis hermanas** Hilda María, Claudia Arelí y Estefanie Marilís De León Bobadilla, por ser un constante apoyo, tanto emocional como motivacional y sus ejemplos.
- Mis abuelos** Roberto Bobadilla (q. e. p. d.), Berta Meléndez de Bobadilla (q. e. p. d), Natalio De León (q. e. p. d.) y Ana Morales de León, por ser ángeles en mi vida.
- Mi familia en general** Por siempre estar a mi lado y estar pendientes de mí.
- Mis amigos** Por acompañarme siempre en las buenas y en las malas y ser apoyo en mi formación y crecimiento personal.

Compañeros de carrera

Por acompañar mi camino de formación académica y compartir este camino conmigo.

AGRADECIMIENTOS A:

Pueblo de Guatemala	Por el financiamiento de la formación de muchos profesionales a través del pago de los impuestos y por ser el país a la que todo le debemos.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me ha permitido formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme todas las herramientas necesarias para llegar hasta aquí.
Mis asesores	Por su tiempo dedicado a mí y para la realización de este trabajo de graduación.
LIEXVE	Por abrirme las puertas en la utilización de sus instalaciones en la realización de este trabajo.
Mis tíos de Huehuetenango	Por apoyarme con la obtención de la materia prima utilizada para este estudio.
Mis catedráticos	Por compartir sus conocimientos y enseñanzas para ser mejores profesionales.
Mis compañeros de la universidad	Por compartir tantos momentos, conocimientos y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Fundamento teórico de la fabricación de la bebida fermentada	3
2.1.1. Materias primas	3
2.2. La fermentación.....	6
2.2.1. Reacción de las fermentaciones con levaduras.....	8
2.2.2. Condiciones necesarias para realizar una fermentación alcohólica	8
2.3. Factores a controlar en la fermentación alcohólica	9
2.3.1. Concentración inicial de azúcares	9
2.3.2. Aireación.....	10
2.3.3. Concentración de alcohol	10
2.3.4. pH.....	11
2.3.5. Temperatura	11
2.4. Proceso	11

2.4.1.	Malteo.....	11
2.4.1.1.	Remojo.....	12
2.4.1.2.	Germinación.....	12
2.4.1.3.	Tostado.....	13
2.4.2.	Preparación del mosto.....	14
2.4.2.1.	Molienda de la malta.....	14
2.4.2.2.	Maceración.....	14
2.4.2.3.	Cocción y adición de lúpulo al mosto ...	15
2.4.2.4.	Enfriamiento.....	16
2.4.2.5.	Carbonatado y envasado.....	16
2.5.	Cerveza.....	16
2.5.1.	Clases de cerveza.....	17
2.5.1.1.	Cervezas de fermentación alta.....	17
2.5.1.2.	Cervezas de fermentación baja.....	18
2.5.2.	Compuestos inorgánicos en la cerveza.....	19
2.5.3.	Análisis microbiológico de la cerveza.....	19
2.6.	El maíz negro.....	20
2.6.1.	Origen.....	20
2.6.2.	Composición química de la semilla del maíz.....	20
2.6.2.1.	Almidón.....	21
2.6.2.2.	Proteína.....	21
2.6.2.3.	Extracto etéreo.....	21
2.6.2.4.	Fibra dietética.....	22
2.6.2.5.	Minerales.....	22
2.6.2.6.	Vitaminas.....	22
2.6.3.	Efectos beneficiosos en el organismo humano.....	23
2.6.3.1.	Efecto en el sistema circulatorio.....	23
2.6.3.2.	Efecto en la actividad antiinflamatoria.....	24

	2.6.3.3.	Efecto en la regeneración del tejido.....	24
3.		METODOLOGÍA.....	25
	3.1.	Localización.....	25
	3.2.	Variables.....	25
	3.3.	Delimitación de campo de estudio.....	26
	3.4.	Recursos humanos disponibles.....	26
	3.5.	Recursos materiales disponibles.....	27
	3.5.1.	Material vegetal.....	27
	3.5.2.	Equipo y materiales de laboratorio.....	27
	3.6.	Metodología.....	27
	3.7.	Técnica cuantitativa.....	28
	3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	29
	3.9.	Análisis estadístico.....	30
	3.10.	Plan de análisis de los resultados.....	31
	3.10.1.	Métodos y modelos de los datos.....	31
	3.10.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	31
4.		RESULTADOS.....	33
5.		INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
	5.1.	Rendimiento volumétrico de las cervezas.....	42
	5.2.	Determinación del pH respecto a la temperatura de fermentación.....	42
	5.3.	Determinación de los sólidos totales en suspensión respecto a la temperatura de fermentación.....	42
	5.4.	Determinación del grado alcohólico respecto a la temperatura de fermentación.....	43

5.5.	Determinación de las proteínas totales respecto a la temperatura de fermentación	43
6.	VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESTADÍSTICA	45
6.1.	Resultado de los análisis de varianza para las pruebas físicoquímicas.....	45
6.2.	Resultado del análisis de varianza de las pruebas sensoriales	45
6.3.	Conclusiones de la validación de las hipótesis	46
	CONCLUSIONES.....	47
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	APÉNDICES.....	55
	ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de las condiciones para la fermentación alcohólica.....	9
2.	Determinación del pH respecto a la temperatura de fermentación	33
3.	Determinación de sólidos en suspensión	34
4.	Determinación del grado alcohólico	36
5.	Determinación de proteínas totales.....	37
6.	Determinación de la acidez titulable.....	38
7.	Curva de titulación de ácido acético 0,1 N	39
8.	Determinación de azúcares (°Brix).....	39

TABLAS

I.	Componentes químicos del cono femenino del lúpulo	5
II.	Compuestos inorgánicos en el grano de cebada y en la cerveza	19
III.	Clasificación taxonómica del maíz	20
IV.	Composición química de los granos de maíz (porcentaje).....	23
V.	Propiedades fisicoquímicas encontradas en las cervezas fermentadas a 10 °C de maíz negro y cebada	29
VI.	Propiedades fisicoquímicas encontradas en las cervezas fermentadas a 15 °C de maíz negro y cebada	30
VII.	Propiedades fisicoquímicas encontradas en las cervezas fermentadas a 25 °C de maíz negro y cebada	30
VIII.	Rendimiento volumétrico de las cervezas	33

IX.	Determinación del pH respecto a la temperatura de fermentación	34
X.	Análisis del pH de las muestras de cerveza	34
XI.	Determinación de sólidos en suspensión.....	35
XII.	Análisis de los sólidos en suspensión.....	35
XIII.	Determinación del grado alcohólico	36
XIV.	Análisis del grado alcohólico de las muestras de cerveza	37
XV.	Determinación de proteínas totales	38
XVI.	Determinación de la acidez titulable	38
XVII.	Determinación de azúcares (°Brix)	40
XVIII.	Análisis de azúcares en las muestras de cerveza	40
XIX.	Datos tabulados sobre encuestas para el análisis sensorial.....	40
XX.	Resultado de los análisis de varianza para las pruebas fisicoquímicas..	45
XXI.	Resultado del análisis de varianza de las pruebas sensoriales	46

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
pH	Coeficiente de acidez o basicidad de una solución acuosa.
N	Concentración normal
R²	Correlación
F	Factor probabilístico F de Fischer
°C	Grado centígrado
g	Gramos
mg	Miligramos
mL	Mililitro
SS	Sólidos en suspensión
T	Temperatura

GLOSARIO

Antocianinas	Pigmentos hidrosolubles de las células vegetales.
ATP	Adenosín trifosfato (fuente energética para todas las formas de trabajo biológico).
°Brix	Medida alimentaría, mide el coeficiente total de sacarosa disuelta.
Cepa	Una variante fenotípica de una especie con cualidades definitorias.
CHON	Proteínas.
Enzima	Proteína soluble producida por las células del organismo, que favorece y regula las reacciones químicas en los seres vivos.
Espectrofotometría	Medición de la cantidad de energía radiante que absorbe o transmite un sistema químico en función de la longitud de onda.
Fenoles	Alcoholes aromáticos compuestos de moléculas con un grupo -OH unido a un átomo de carbono de un anillo bencénico.

Fermentación	Proceso bioquímico por el que una sustancia orgánica se degrada en otra más simple por la acción de microorganismos.
°Gay-Lussac	Relación que se establece entre la presión de un gas y su temperatura. Describe el contenido alcohólico.
Hidrólisis	Descomposición o alteración química por efecto del agua.
Maillard	Reacción de oscurecimiento o caramelización producidas por proteínas o azúcares de los alimentos que mejora el sabor y el color.
NaOH	Hidróxido de sodio.
<i>Pellet</i>	Pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar las propiedades fisicoquímicas que aporta el maíz negro (*Zea mays L.*), aprovechando sus propiedades antioxidantes y por su gran contenido de compuestos fenólicos especialmente antocianinas y taninos, empleándolo en la elaboración de cerveza artesanal. Como materia prima se utilizaron los granos secos de maíz negro (*Zea mays L.*), los cuales fueron cosechadas en el municipio de Chiantla del departamento de Huehuetenango.

Asimismo, se utilizó como agente antiséptico, que además cumple con la función de saborizante, los conos femeninos de la planta de lúpulo (*Humulus lupulus*) de la variación "Crystal". Se elaboraron nueve mostos con una misma fórmula, utilizando maíz negro, cebada, lúpulo y en algunas, se utilizó nuez moscada. Se hidrataron los mostos durante 24 horas para luego dejar germinando los granos por 7 días, luego se dejaron secando por 24 horas a 65 °C en el secador eléctrico de bandejas del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (Liexve).

Posteriormente, se sometieron a infusión en agua a 70 °C por 90 minutos. Luego de esperar a que los mostos estuvieran fríos, se dejaron fermentar por 9 días variando las temperaturas (tres mostos por temperatura).

Finalmente, al haber terminado las fermentaciones, se evaluaron las características fisicoquímicas como pH, grado alcohólico, acidez, proteínas, entre otros, de la bebida. Este proceso se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

Se comprobó que todas las propiedades de la cerveza utilizando este tipo de cereal tienden a disminuir al reducir la temperatura a la cual se realiza el proceso fermentativo etanólico.

OBJETIVOS

General

Determinar las características fisicoquímicas que aporta la utilización del maíz negro de las regiones del occidente guatemalteco en la elaboración de nueve cervezas artesanales, con la misma receta, fermentadas a diferentes temperaturas para compararlas entre sí.

Específicos

1. Elaborar nueve mostos de cerveza artesanal con la misma receta, utilizando el maíz negro, para fermentar por grupos de tres, a tres diferentes temperaturas.
2. Determinar las propiedades fisicoquímicas que presenta cada una de las cervezas terminadas de los nueve mostos.
3. Comparar las propiedades fisicoquímicas que presentan entre sí las cervezas de los diferentes mostos.
4. Analizar las propiedades sensoriales aportadas por los diferentes tipos de maíz negro en la elaboración de cerveza artesanal.

Hipótesis

Hipótesis estadística

Hipótesis nula

No habrá cambios significativos entre las propiedades fisicoquímicas encontradas entre los nueve mostos fermentados a las tres diferentes temperaturas.

Hipótesis alternativa

Habrán cambios significativos entre las propiedades fisicoquímicas encontradas entre los nueve mostos fermentados a las tres diferentes temperaturas.

Hipótesis nula

No habrá cambios perceptibles entre las propiedades sensoriales calificadas por encuestados entre los nueve mostos fermentados a las tres diferentes temperaturas.

Hipótesis alternativa

Habrán cambios perceptibles entre las propiedades sensoriales calificadas por encuestados entre los nueve mostos fermentados a las tres diferentes temperaturas.

INTRODUCCIÓN

“La cerveza se ha caracterizado por ser un producto de alta aceptación y consumo dentro del mercado nacional e internacional. En Guatemala se tiene un registro de ventas de 128 millones de litros tan solo en el primer semestre del 2013, teniendo un aumento del 46 % en comparación con el registro del mismo período en el 2012, siendo un equivalente de casi 9 litros per cápita en dicho semestre”¹.

La producción de esta bebida alcohólica está dirigida exclusivamente para el consumo del público mayor de edad, que tiene mayor incidencia en el consumo de estos productos elaborados de forma industrial, debido a su bajo costo y una calidad bastante alta debido a la tecnología con la que cuentan las cervecerías industriales. La cerveza es elaborada con base en la mezcla de varios cereales como cebada, ya sea tostada o blanca, maíz blanco, arroz, trigo, afrecho, entre otros, los cuales, al estar en las condiciones adecuadas, se da una fermentación del almidón presente en dichos granos.

En Guatemala existe una gran variedad de especies de granos, debido a su variedad de climas, alturas y minerales presentes en la tierra, que pueden servir como materia prima para la elaboración de esta bebida, tales como las diferentes especies que existen en el maíz, los cuales son fáciles de identificar por su variedad de colores, entre estos el maíz de color negro.

¹ SAT. *Estadísticas de la Superintendencia de Administración Tributaria*, agosto de 2013.

Estos granos son recogidos por los agricultores y son pocas las empresas que se dedican a usar estas materias, para la obtención de almidón u otras substancias que los granos del maíz puedan ofrecer.

La producción del maíz negro está dedicada principalmente al consumo para la elaboración de tortillas en especial en el occidente del país, y no se han buscado alternativas a nivel nacional para darle un valor agregado.

Lo mencionado anteriormente, son algunos de los factores fundamentales que dieron base para el presente trabajo de investigación, en la cual se buscará determinar las propiedades fisicoquímicas que puede aportar el uso del maíz negro en la elaboración de cerveza de modo artesanal, con fermentación a diferentes temperaturas.

1. ANTECEDENTES

Dentro de la ingeniería química y otras ramas afines a esta, se han realizado estudios con respecto a las fermentaciones, la cual es una operación unitaria y en este caso ampliamente utilizada para la industria alimenticia, y como operación antecesora a la destilación de alcoholes para diferentes usos.

Según un trabajo de investigación publicado en la revista *SCI Euphytica*, llevado a cabo en colaboración de la empresa Promotora Orxeira, Galicia, España, indica que cuanto más color tiene el maíz más compuestos antioxidantes posee.

Esta investigación, que se inició en el 2009, tenía como fin último avanzar en el conocimiento del potencial antioxidante del maíz utilizando la diferente variedad de colores del mismo. Para el cual, el maíz negro presentó un contenido antioxidante más alto, seguido del morado y rosado, mientras que las diferencias entre el amarillo y blanco fueron las mínimas.

En otro estudio realizado en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos y en el Centro Experimental del Valle de México en el 2011, se describen las características físicas y químicas que presenta el maíz negro (*Zea mays L.*) y describe el efecto que tiene su contenido de antocianinas con respecto al color obscuro del grano, y en la morfología que presenta su almidón una vez desactivada su enzima amilasa, ya que las antocianinas son muy benéficas para los humanos.

En Ecuador se realizó también un estudio similar al mencionado para este trabajo de graduación, en el cual se desarrollo una investigacion de las propiedades que presenta el maíz negro de la sierra de los Andes². Ya que es utilizada una variedad diferente a la que presenta el maíz negro guatemalteco, como refiere el documento de la FAO³. En este experimento realizado en Ecuador se trabajó únicamente con una temperatura de fermentación, variando en tres fórmulas diferentes.

En Guatemala, el maíz negro se utiliza en casi su totalidad en la producción y consumo propio, o bien en micronegocios, en la elaboración de las tortillas negras, lo cual no da un valor agregado a esta variedad de grano. Artesanalmente algunos pobladores indígenas del altiplano guatemalteco se especializan en la elaboración de la “*cusha*”, pero este tipo de maíz es utilizado rara vez.

² HARO, C. *Bebidas fermenades en base a “maíz negro” zea mays L. Poaceae; con el eco tipo “Racimo de uva” y la variedad “Mishca” de la serranía ecuatoriana.* p. 20.

³ FAO. *El papel de la mujer en la conversación de los recursos genéticos del maíz en Guatemala.* p. 16.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamento teórico de la fabricación de la bebida fermentada

El fundamento teórico de la fabricación de la bebida fermentada es el siguiente.

2.1.1. Materias primas

“La materia prima fundamental para la fermentación es la malta, ya que proporciona sustratos y enzimas apropiados para obtener un extracto soluble o mosto. La malta debe proporcionar este extracto fácilmente y de forma barata; también debe proporcionar cascarilla, que forma un eficaz lecho filtrante para la clarificación del mosto. El almidón es el más valioso constituyente de la malta. Cuanto más almidón exista en el grano, más extracto total se puede esperar en la malta. Las enzimas más importantes en el malteado y en la elaboración de cerveza son las amilasas α y β . Los productos de la α amilasa son fundamentalmente carbohidratos complejos denominados dextrinas, ramificadas y lineales. La β amilasa libera también dextrinas ramificadas, pero su principal producto es la maltosa. A la α amilasa se la denomina con frecuencia, enzima dextrinizante y a la β amilasa enzima sacarificante”⁴.

Para el fabricante de cerveza, la maltosa es un azúcar fácilmente fermentable y el principal constituyente del mosto. La β amilasa se encuentra ya en la cebada antes de su germinación, aunque gran parte de ella es inactiva. Por el contrario, la amilasa se sintetiza cuando comienza la germinación, desencadenada por acción de las giberelinas.

⁴ HOUGH, J. *Biotecnología de la cerveza y de la malta*. p. 15.

- Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta trepadora dioica, de usos múltiples, pertenece a la familia de los *Cannabaceae*, pariente cercano del cáñamo, guarda cierto parecido con este y sus tallos se usan en la fabricación de fibras textiles. El lúpulo es también usado en medicina. La industria cervecera elevó la producción de esta planta a nivel industrial, pues el hombre eligió al lúpulo entre todas las otras hierbas con las que experimentó en la historia de sus cervezas, por sus extraordinarias capacidades aromáticas, saborizantes y antisépticas, ya que el uso del lúpulo en el mosto, previene las infecciones indeseables en el estado inicial de la fermentación⁵.

La sustancia que produce el sabor amargo es la lupulina. Esta se localiza en unas pequeñas glándulas ubicadas en la base de los pétalos de la flor. Además, el lúpulo es rico en aceites esenciales que dan el perfume o aroma característico a una cerveza bien elaborada y lupulada con generosidad, en la que se han utilizado cultivares finos o nobles. La industria del lúpulo ha logrado presentar el producto en cuatro clases, que van desde la flor entera, pasando por la flor pulverizada y peletizada, hasta llegar al lúpulo en pasta y los aceites destilados de la flor. El lúpulo peletizado conserva en altos porcentajes el aroma, sabor y en general la calidad estable del producto⁶.

Como clarificador contribuye a la precipitación de las proteínas del mosto, modifica el carácter de este hacia un aroma específico y sabor amargo, contribuye a la conservación de la cerveza en virtud de las sustancias antibióticas que contiene y, debido a su contenido en pectina, favorece la formación de espuma.

- Composición química de los conos femeninos

Los componentes más importantes del lúpulo son las sustancias amargas. En el lúpulo fresco están presentes preferentemente en forma de ácidos alfa-amargos (humulona; cohumulona; adhumulona) y ácidos beta-amargos (lupulona, colupulona y adlupulona). Dependiendo de la variedad, este contenido de

⁵ CARVAJAL, J. *Curso elaboración de cerveza, sidra y vinagre en forma casera*. p. 30.

⁶ *Ibíd.*

ácidos alfa puede ser mayor o menor, normalmente se utilizan aquellos lúpulos con mayor porcentaje de alfa ácidos para conferir el amargor y aquellos con menor porcentaje para el aroma final⁷. En la tabla 1 se muestran los componentes químicos del cono femenino.

Tabla I. **Componentes químicos del cono femenino del lúpulo**

SUSTANCIA	CANTIDAD (%)
Agua	10.0
Resinas totales	15.0
Aceites esenciales	0.5
Taninos	4.0
Monosacáridos	2.0
Pectina	2.0
Aminoácidos	0.1
Proteína	15.0
Lípidos y ceras	3.0
Cenizas	8.0
Celulosa y lignina	40.4

Fuente: HOUGH, J. *Biología de la cerveza y de la malta*. p. 154.

- Levadura de cerveza

Según Ward, como levadura de cerveza se utilizan exclusivamente especies de *Saccharomyces*. Se distinguen las levaduras de fermentación alta, que actúan a temperaturas mayores a 10 °C, y las de fermentación baja, que pueden utilizarse hasta 0 °C. Las levaduras de fermentación alta, que permanecen largo tiempo suspendidas como “levaduras en polvo” y proporcionan un alto grado de fermentación, como por ejemplo *Saccharomyces cerevisiae* Hansen, se depositan en el curso de la fermentación en el fondo y fermentan por completo la rafinosa, además de la mayoría de los demás azúcares. La levadura es un microorganismo unicelular que está involucrado en los procesos de

⁷ HOUGH, J. *Biología de la cerveza y de la malta*. p. 21.

transformación del mosto azucarado hasta la cerveza terminada. Es la que realmente “fabrica” la cerveza, siguiendo los parámetros que el maestro cervecero le imponga.

Así se consigue que la “hacedora de alcohol” produzca también otros subproductos que contribuyen a darle características especiales de aroma y sabor a una buena cerveza. El trabajo de la levadura es netamente fisiológico: las levaduras para su reproducción emplean todos los nutrientes disueltos en el mosto cervecero. Al metabolizar la glucosa, la levadura desprende sus desechos del proceso que no son otra cosa que el gas carbónico y el alcohol, presentes en toda cerveza. Pero la levadura también está involucrada en el proceso de maduración que se traduce en la pérdida de ciertos sabores indeseables a cambio de otros que un maestro cervecero busca en su producto⁸.

2.2. La fermentación

En términos generales, la fermentación implica el empleo de microorganismos para llevar a cabo transformaciones de la materia orgánica catalizadas por enzimas. La fermentación se puede llevar a cabo de formas diferentes dependiendo de las condiciones con las cuales se lleva a cabo el proceso y puede darse de forma anaerobia o aerobia, esto llevará consigo el tipo de fermentación que puede ser de una forma acética, etanólica, malónica, cítrica o láctica, teniendo estos los nombres por los productos que se generan.

La fermentación ha sido realizada como un arte durante muchos siglos, por ejemplo, la elaboración del vino se cree que se practicaba ya al menos 10 000 años a.C, mientras que los historiadores creen que los egipcios

⁸ CARVAJAL, J. *Curso elaboración de cerveza, sidra y vinagre en forma casera*. p. 30.

producían cerveza en los años 5000-6000 a.C. dejando germinar la cebada en vasijas de barro y después estrujándola, amasándola y finalmente remojándola con agua para obtener la bebida. Hacia el 4000 a.C. los egipcios utilizaron las levaduras de la cerveza para la producción de dióxido de carbono para el hinchamiento de la masa del pan.

Las bebidas alcohólicas se producen a partir de diversas materias primas, pero especialmente a partir de cereales, frutas y productos azucarados. Entre ellas hay bebidas no destiladas, como la cerveza, el vino, la sidra y el sake, y destiladas, como el whisky y el ron, que se obtienen a partir de cereales y melazas fermentadas, respectivamente, en tanto que el brandy se obtiene por destilación del vino. Otras bebidas destiladas, por ejemplo, el vodka y la ginebra, se elaboran a partir de bebidas alcohólicas neutras obtenidas por destilación de melazas, cereales, patatas o lacto suero fermentados. Además, también se obtienen una gran variedad de vinos de alta graduación mediante adición de alcohol⁹.

Existe también los alimentos fermentados, estos se caracterizan por varias clases de desdoblamiento de carbohidratos. Existe casi siempre una mezcla compleja de proteínas, grasas, entre otros, que están experimentando modificaciones simultáneamente, bajo la acción de una variedad de tipos de microorganismos y enzimas. A las reacciones que toman parte los carbohidratos se llaman fermentativos. Los cambios en los materiales proteicos son designados como proteolíticos, los desdoblamientos de sustancias grasas son calificados de lipolíticos¹⁰.

⁹ WARD, O. *Biotecnología de la fermentación*. p. 36.

¹⁰ *Ibíd.*

2.2.1. Reacción de las fermentaciones con levaduras

Aproximadamente el 96 % de la fermentación de azúcares para producir alcohol se lleva a cabo mediante cepas de *Saccharomyces cerevisiae* o especies relacionadas, particularmente *S. uvarum*. El etanol se produce en la ruta de Embden-Meyerhof-Parnas (EMP), en la que el piruvato producido durante la glicosilación se convierte en acetaldehído y etanol. La reacción global es la siguiente:



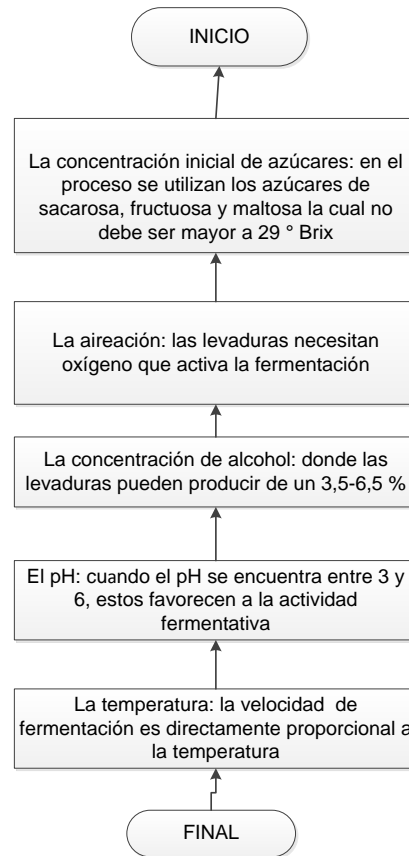
El rendimiento teórico de 1 g de glucosa es de 0,51 g de etanol y 0,49 g de CO₂. Sin embargo, en la práctica, aproximadamente el 10 % de la glucosa se transforma en biomasa y el rendimiento en etanol y alcanzan el 90 % del valor teórico. El ATP formado se utiliza para las necesidades energéticas de la célula¹¹.

2.2.2. Condiciones necesarias para realizar una fermentación alcohólica

A continuación se presenta el diagrama de las condiciones para realizar una fermentación alcohólica.

¹¹ WARD, O. *Bioteología de la fermentación*. p. 37.

Figura 1. **Diagrama de las condiciones para la fermentación alcohólica**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2010.

2.3. Factores a controlar en la fermentación alcohólica

A continuación se presentan los factores a controlar en la fermentación alcohólica.

2.3.1. Concentración inicial de azúcares

No se puede pensar en fermentar un mosto con una concentración muy elevada de azúcares. En estas condiciones osmófilas las levaduras se deshidratarían al salir bruscamente el agua de su interior para equilibrar las

concentraciones de solutos en el exterior y en el interior de la célula, es decir, lo que se conoce como una plasmólisis. En la fermentación las levaduras (*S. cerevisiae*) utilizan los azúcares sacarosa, fructosa, maltosa y maltotriosa en este orden. La sacarosa es hidrolizada primeramente por la invertasa. Todas las levaduras *Saccharomyces* son incapaces de hidrolizar el almidón y las dextrinas, y por consiguiente, el empleo de materiales basados en almidón para la fermentación alcohólica requieren la acción de enzimas exógenos como las α y β -amilasas de la malta o enzimas microbianos como α -amilasa, amiloglicosidasa (glucoamilasa) y pululanasa. Los azúcares mayoritarios del mosto son la glucosa y la fructosa¹².

2.3.2. Aireación

“Aunque las fermentaciones alcohólicas son en gran medida anaerobias, las levaduras si necesitan oxígeno que es el desencadenante inicial de la fermentación, ya que las levaduras lo van a necesitar en su fase de crecimiento para sintetizar algunos esteroides y ácidos grasos insaturados componentes de la membrana”¹³.

2.3.3. Concentración de alcohol

“Muchas cepas de *S. cerevisiae* pueden producir concentraciones de etanol de hasta el 3,5–6,5 %. Existe un cierto interés en el empleo de levaduras tolerantes de cantidades elevadas de alcohol. Existen cepas seleccionadas capaces de producir hasta un 18-20 % de alcohol, aunque la velocidad de fermentación se ve muy reducida cuando la concentración de etanol aumenta”¹⁴.

¹² WARD, O. *Bioteología de la fermentación*. p. 38.

¹³ Op. Cit. p. 37.

¹⁴ *Ibíd.*

2.3.4. pH

“En las levaduras los valores de pH comprendidos entre 3 a 6 son la mayoría de las veces favorables al crecimiento y actividad fermentativa; esta última es mayor cuanto mayor sea el pH y se produce una caída notable a valores de pH de 3 a 4. El pH influye en la formación de subproductos; por ejemplo, a valores de pH elevados se incrementa la formación de glicerol”¹⁵.

2.3.5. Temperatura

“La velocidad de fermentación aumenta generalmente con la temperatura entre los 15 y los 35 °C. La formación de niveles elevados de alcohol también depende de la temperatura. Así, a menor temperatura es más fácil conseguir un mayor grado alcohólico, ya que las altas temperaturas que hacen fermentar más rápido a las levaduras llegan a agotarlas antes”¹⁶.

2.4. Proceso

A continuación se presenta el proceso.

2.4.1. Malteo

El malteo es un proceso fisicoquímico controlado, durante el cual los granos desarrollan y activan sus sistemas enzimáticos y modifican suficientemente sus reservas alimenticias. Su finalidad es la obtención de malta, lo que se puede hacer a partir de cualquier grano que se someta a una germinación controlada, la cual se suspende con una etapa adecuada de secado. El proceso de malteado comprende tres operaciones: remojo, germinación y tostado, en las que se controla la humedad, la temperatura y la aireación¹⁷.

¹⁵ I WARD, O. *Biotecnología de la fermentación*. p. 37.

¹⁶ Op. Cit. p. 40.

¹⁷ FIGUEROA, J. *Metodos para evaluar la calidad maltera en cebada*. p. 25.

2.4.1.1. Remojo

“El objetivo del remojo es aumentar el contenido inicial de humedad del cereal de aproximadamente 10 a 13,5 %, con el propósito de disolver las sustancias solubles que se encuentran en el grano y promover así el desarrollo del embrión”¹⁸.

En la etapa inicial del remojo, la absorción de agua es rápida, y va disminuyendo conforme transcurre el tiempo. En esta fase del proceso las sustancias nutritivas son transportadas por ósmosis al embrión, el cual disgrega las hormonas que activan sistemas enzimáticos destinados a hidrolizar sustancias insolubles y convertirlas en solubles y asimilables. La calidad de una buena malta está influenciada por la cantidad de agua absorbida durante el remojo, siendo perjudicial un excesivo aumento o disminución del 45 %. Las temperaturas del agua de remojo próximas al límite fisiológico de la cebada (aproximadamente 40 °C) deben evitarse, debido a la poca solubilidad del oxígeno en el agua a esta temperatura y al desarrollo de microorganismos. Por ello, es preferible hacer el remojo a temperaturas bajas, más o menos 16 °C¹⁹.

2.4.1.2. Germinación

“Durante la germinación se producen las enzimas comenzando en las proximidades del *scutellum*, o asiento del germen del grano bajo la piel. Las citinas se difunden a través del endospermo y lo modifican, solubilizando las paredes de las células. Se producen también otros sistemas de enzimas capaces de hidrolizar las proteínas y almidones, formando azúcares y aminoácidos que actúan como alimentos de la levadura”²⁰.

“Al aumento de actividad enzimática acompaña un considerable aumento de la actividad respiratoria del grano, proceso en el que el almidón o sus derivados se convierten en dióxido de carbono y agua. Para que la germinación

¹⁸ FIGUEROA, J. *Metodos para evaluar la calidad maltera en cebada*. p. 25.

¹⁹ *Ibíd.*

²⁰ FERRÁN, J. *Manual de cultivo, mejora de cebadas y fabricación de cerveza, cabada; variedades cervceras y cerveza*. p. 17.

sea completa y uniforme, el grano debe estar maduro. Es conveniente realizar las germinaciones a temperaturas bajas para evitar el desarrollo de hongos y a la vez obtener mayor formación de enzima. La temperatura media ideal de germinación es 16 °C²¹.

“Tanto por la alta concentración de enzima y buena modificación del grano, como por la mínima pérdida de sustancias extractables, la germinación alcanza su mejor etapa cuando el acróspiro o plúmula se ha desarrollado de una a tres cuartas partes el tamaño del grano y las raicillas 1,5 veces el mismo tamaño. Otro aspecto importante en el proceso germinativo es la ventilación, ya que una disminución de esta, implica una menor respiración, crecimientos reducidos de plúmula y raicillas”²².

2.4.1.3. Tostado

El cereal germinado, denominado malta verde, con un contenido de agua del 42 al 45 %, se convierte por la operación de tostado en malta seca, con el 2-5 % de agua. Simultáneamente se forman el aroma y color del tostado debido a la reacción de Maillard.

“Cuando el grano ha sufrido la modificación necesaria se le seca en un horno de malta, primero a baja temperatura y después a una temperatura lo suficientemente elevada como para suspender la actividad enzimática pero sin destruir los enzimas”²³.

²¹ WARD, O. *Biología de la fermentación*. p. 40.

²² FIGUEROA, J. *Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada*. p. 27.

²³ KENT, N. *Tecnología de los cereales*. p. 11.

2.4.2. Preparación del mosto

La preparación del mosto es la siguiente:

2.4.2.1. Molienda de la malta

La molienda tiene por objetivo triturar la malta. Es necesario que la cáscara permanezca tan entera como sea posible, y el endospermo se muele hasta un tamaño de partícula que permita la fácil liberación del extracto. Si se desintegra mucho, la cascarilla no puede formar un filtro suficientemente eficaz y permeable durante la recuperación del mosto. Por otra parte, la cascarilla rota libera más sustancias tánicas de las deseables. En cuanto a la trituración del endospermo, es preciso que las partículas del mismo se hidraten bien y liberen fácilmente sus enzimas y otros constituyentes celulares para "que puedan degradarse rápidamente". Desde este punto de vista, serían ideales partículas de tamaño muy reducido porque incrementa el rendimiento de extracción, pero estas tienden a empaquetarse apretadamente y a formar un lecho impermeable, que libera muy lenta e incompletamente el mosto²⁴.

2.4.2.2. Maceración

"Para proceder a la maceración, la malta triturada se mezcla con agua y debido a la degradación por las enzimas propias de la malta, se solubiliza. Se disuelve así el almidón sacarificado y muchos compuestos nitrogenados de la malta y los adjuntos, quedando el salvado, que se puede utilizar como abono para las plantas"²⁵.

El control de la temperatura en el macerado reviste importancia decisiva para la composición de las sustancias aromáticas y para la clase y calidad del producto fermentado. Las amilasas de la malta tienen una actividad óptima entre 72–76 °C, las β amilasas a temperaturas entre 60–65 °C, y las proteinasas a 55–65 °C.

²⁴ HOUGH, J. *Biotecnología de la cerveza y de la malta*. p. 35.

²⁵ JAGNOW, G. *Biotecnología, introducción con experimentos modelo*. p. 18.

2.4.2.3. Cocción y adición de lúpulo al mosto

“El jarabe de malta obtenido por infusión y lavado es una disolución totalmente dulzona. Es por esto que se debe equilibrar este dulzor con un sabor amargo, por ejemplo. En los últimos tiempos se empezó a generalizar el uso de las flores de una familia de plantas que se conocen como lúpulos. El hervido no debe ser demasiado intenso para que no sigan produciéndose melanoidinas y aumentando el color. Por otro lado, el hervido debe ser suficiente para que haya una buena formación del coágulo (burbujas grandes en el hervido)”²⁶.

Según Ferrán, los principales objetivos que se pretenden con el cocido son:

- Destrucción de las enzimas: de otra forma, su acción en los procesos siguientes daría lugar a la formación de dextrinas y maltosas fermentables de "bajo grado".
- Esterilización del caldo.
- Concentración del mosto: es un reajuste del agua a la cantidad de extracto que convenga dejar el mosto. Se suele reducir el volumen de agua entre un 4 y un 10 %.
- Precipitación de proteínas y otras sustancias: al enfriarse el mosto, los taninos forman precipitados con las proteínas.
- Disolución de los constituyentes del lúpulo: se extraen ácidos y resinas amargas, que contribuyen al sabor y estabilización de la cerveza y aceites esenciales, que proporcionan un poco más de aroma.
- Caramelizar ligeramente los azúcares.

²⁶ JAGNOW, G. *Biotecnología, introducción con experimentos modelo*. p. 21.

- Proporcionar sustancias antisépticas (principalmente alfa-resinas, humulona, cohumulona y adhumulona) al mosto. Estas resinas son efectivas contra las bacterias Gram-positivas.

“El material de desecho tiene algún valor como fertilizante del suelo. Los restos de lúpulo ejercen una acción esponjante, pero los precipitados por ellos retenidos proporcionan nitrógeno, calcio, fósforo y otros minerales”²⁷.

2.4.2.4. Enfriamiento

“Luego de clarificado se enfría y airea el mosto, convirtiéndose en un medio ideal para el crecimiento de las levaduras y para la fermentación”²⁸.

2.4.2.5. Carbonatado y envasado

La bebida madura se gasifica con dióxido de carbono de 99,5 % de pureza hasta alcanzar un 0,45 % a 0,52 %, casi siempre con el mismo gas recogido durante el proceso fermentativo. Este gas reemplaza en parte al oxígeno mejorando la estabilidad. El envasado se puede realizar en dos tipos de envases, la botella marrón o un barril. Lo importante para mantener las características propias de la bebida es que debe ser de un buen vidrio, tintado de color marrón o de color verde y no deben presentar ninguna rotura.

2.5. Cerveza

Hay diferentes tipos de cervezas y a continuación se presentan algunos ejemplos.

²⁷ HOUGH, J. *Biotecnología de la cerveza y de la malta*. p. 42.

²⁸ *Ibíd.*

2.5.1. Clases de cerveza

Según Jagnow, dependiendo del tipo de cereal y de agua, pero sobre todo de las diferencias en cuanto a tostado, concentración del mosto, cantidad de levadura añadida y cambios de temperatura, se obtienen los tipos de cerveza más conocidos.

Se distinguen dos clases de cervezas, las de fermentación alta y las de fermentación baja. Dentro de cada uno de estos tipos básicos existen subtipos de diferentes características cuya nomenclatura es variable y confusa²⁹.

2.5.1.1. Cervezas de fermentación alta

Son bebidas de malta a las que se añade lúpulo y son fermentadas con levaduras altas. Las levaduras altas son aquellas que al final de la fermentación flotan en la superficie formando un velo. Se utilizan para elaborar las cervezas denominadas "Ale"³⁰.

La especie típica de la fermentación alta es la *Saccharomyces cerevisiae*. Cervezas fabricadas en Alemania mediante fermentación a alta temperatura. Son, por ejemplo, la cerveza blanca de Berlín, con un 7–8 % de extracto seco en el mosto original, elaborada a partir de malta de cebada y de trigo, con levadura y bacterias acidolácticas. La fermentación alta se lleva a cabo a temperaturas altas (18–25 °C).

Se acorta así el tiempo de fermentación a 2-7 días. Muchas veces existe además una posfermentación, aunque se realiza tanto en tanque como en

²⁹ García y col. *Historia de la cerveza*. p. 24.

³⁰ *Ibíd.*

botella. Las cervezas resultantes pueden servirse a los pocos días de finalizar la primera fermentación.

2.5.1.2. Cervezas de fermentación baja

Según Hough, son aquellas bebidas de malta a las que se añade lúpulo y son fermentadas con levaduras bajas. Las levaduras bajas son aquellas que al final de la fermentación se hunden y van al fondo; se emplearon por primera vez en Baviera.

La especie típica es la *Saccharomyces carlsbergensis* que fermenta por completo la rafinosa, además de la mayoría de los demás azúcares. Las células de un cultivo de tres días son ovals u oviformes, a veces también tienen forma de salchichas cortas; se encuentran casi siempre aisladas o en cadenas cortas. Su tamaño varía bastante, con 4 μ de anchura y 15 μ de longitud. Rinden un producto de calidad superior, sabores más finos y refrescantes a los generados por las levaduras altas. Se utilizan para producir las cervezas llamadas "Lager".

En la fermentación baja se distinguen la fermentación principal y la pos-fermentación. Tienen un plazo de conservación considerablemente mayor, y pueden ser claras, de coloración intermedia u oscuras. La cerveza tipo Pilsen es el prototipo de la cerveza clara de calidad; tiene abundante cantidad de lúpulo, con un 11,8–12,7 % de extracto seco en el mosto original, en contraste a la de tipo Dortmund, que se cuece más intensamente, se fermenta con más fuerza y por ello es una cerveza rica en alcohol. Las cervezas reposadas "lager" se asemejan a la Dortmund en la cantidad de lúpulo y a la Pilsen en la cantidad de extracto seco.

2.5.2. Compuestos inorgánicos en la cerveza

En la tabla II, se indica el contenido de minerales en la cerveza (bebida fermentada) según datos reportados por Sendra y Carbonell.

Tabla II. **Compuestos inorgánicos en el grano de cebada y en la cerveza**

Elemento	Cebada (mg/kg <small>sólido seco</small>)	Cerveza (mg/L)
Calcio	300 – 4 100	35
Fosforo	2 000 – 9 200	319
Potasio	4 900 – 9 900	518
Magnesio	100 – 2 300	98
Hierro	40 – 100	0,12
Cobre	1,3 – 20	0,1
Manganeso	2,4 - 30	0,16
Sodio	100 – 600	33
Azufre	1 000 – 3 500	
Cloro	900 – 1 700	
Cobalto	0,0 – 0,32	
Zinc	11,9 – 20,9	0,06

Fuente: SENDRA, J.; CARBONELL, J. *Evaluación de las propiedades funcionales, nutritivas y sanitarias de la cerveza en comparación con otras bebidas*. p. 120.

2.5.3. Análisis microbiológico de la cerveza

Los valores admisibles determinados se enmarcan en las normas sugeridas por la Oficina de Normas y Procedimientos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en el Acuerdo Gubernativo No. 969-99 para cerveza y bebidas fermentadas.

En referencia a las normas Coguanor, por parte del Ministerio de Economía, se tiene el criterio microbiológico que la cerveza no deberá tener microorganismos en cantidades que representen un riesgo para la salud del consumidor.

2.6. El maíz negro

A continuación se presenta una descripción detallada del maíz negro.

2.6.1. Origen

El maíz negro (*Zea mays L*) es una mutación genética del maíz (*Zea mays*). Florece cultivado o en estado silvestre en diversos lugares de América. El maíz negro (*Zea mays L*) se cultivaba en Perú desde épocas prehispánica, al igual que los indígenas de Mesoamérica y Yucatán y las tribus indígenas Hopi y Navajos en los actuales Estados Unidos. En la tabla 3 se muestra la clasificación taxonómica del maíz.

Tabla III. **Clasificación taxonómica del maíz**

Reino	Vegetal
División	Angiosperme
Clase	Monocotylrdoneae
Orden	Cereales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	Mays
Nombre científico	<i>Zea mays. L</i>

Fuente: *Enciclopedia Agropecuaria Terranova*. p. 257.

2.6.2. Composición química de la semilla del maíz

La composición química de la semilla del maíz consta de almidón, proteína, extracto etéreo, fibra dietética, minerales y vitaminas.

2.6.2.1. Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 60-85 % del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos, en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 5 % del grano. En el maíz, el 98 % de almidón del grano se encuentra en el endospermo, y el 70 % de los azúcares libres en el germen.

2.6.2.2. Proteína

La proteína más importante en el maíz es la zeína (40 – 50 % de las totales) siendo su baja calidad debido al poco contenido de lisina y triptófano, en las variedades comunes, el contenido de proteína puede variar entre el 8 y el 11 % del peso del grano y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos de maíz están formadas por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18 % del total del nitrógeno, con proporciones del 7, 5 y 6 %, respectivamente.

2.6.2.3. Extracto etéreo

“El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen, con valores que van del 3 al 18 %. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11 y el 2 %, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24 %”³¹.

³¹ FAO. *Origen del maíz*. <http://www.fao.org>. Consulta: 14 de marzo de 2014.

2.6.2.4. Fibra dietética

La celulosa abunda en el pericarpio y en el germen de los cereales, como constituyente estructural de las paredes celulares. La celulosa es el constituyente principal de la fibra, de los granos, constituye el 1–4 % en peso.

2.6.2.5. Minerales

Los minerales constituyen el 1–3 % del peso del grano. Estos constituyentes se localizan, en su mayor parte, en el pericarpio del grano. Los más abundantes son fósforo y potasio (0,3-0,4 %), seguidos, en general, por el magnesio (0,1-0,2 %). En menor proporción, se encuentran el silicio, el sodio y el calcio. Entre los micronutrientes, el más abundante es el hierro (30-80 mg/kg), seguido por el manganeso, el cobre y el zinc³².

2.6.2.6. Vitaminas

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro. El β -caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco. La otra vitamina liposoluble, la vitamina E, que es objeto de cierta regulación genética, se halla principalmente en el germen³³.

³² FAO. *Origen del maíz*. <http://www.fao.org>. Consulta: 14 de marzo de 2014.

³³ *Ibíd.*

En la tabla 4 se muestra la composición química de las partes principales de los granos de maíz.

Tabla IV. **Composición química de los granos de maíz (porcentaje)**

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: *Enciclopedia Agropecuaria Terranova*. p. 258.

2.6.3. Efectos beneficiosos en el organismo humano

Los efectos beneficiosos en el organismo humano se presentan a continuación.

2.6.3.1. Efecto en el sistema circulatorio

- Las antocianinas presentes en el maíz morado pueden promover la circulación sanguínea, estabilizando y protegiendo los vasos sanguíneos en general y los capilares en particular, del daño oxidativo, mejorando así la micro circulación. Los resultados de varios estudios epidemiológicos indican que el consumo regular de alimentos ricos en compuestos polifenólicos, está asociado con una reducción en el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares.
- El maíz morado puede ser empleado para controlar la presión sanguínea elevada.

2.6.3.2. Efecto en la actividad antiinflamatoria

- La principal antocianina presente en el maíz morado es C3G, la cual ha demostrado tener actividad antiinflamatoria, que proveen de una base bioquímica para el uso de C3G como un factor de alimento funcional, y también puede tener implicaciones importantes para la prevención de males inflamatorios provocados por medio del óxido nítrico.

2.6.3.3. Efecto en la regeneración del tejido

- Las antocianinas presentes en maíz morado pueden estimular la regeneración del tejido conectivo y promover la formación del colágeno.
- Cuando el maíz morado es añadido a la dieta puede suprimir las enzimas del cuerpo que ayudan a sintetizar ácidos grasos, lo cual podría ser beneficioso para prevenir la diabetes y la obesidad.
- Recientemente, se ha reportado que la materia morada obtenida de maíz morado puede disminuir la carcinogénesis en el colon. También, se dice que este pigmento tiene una capacidad antioxidante y una cinética anti radical mayor que las moras, y una cantidad mayor o similar en contenido antocianínico y fenólico.

3. METODOLOGÍA

3.1. Localización

La parte experimental de la investigación se realizó en las Universidades de San Carlos de Guatemala y del Valle de Guatemala; específicamente en los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Bioquímica, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala.

3.2. Variables

- Variables independientes
 - Tipo de cereal utilizado: para este estudio, el maíz, el tipo de maíz y el lugar en donde fue cosechado.
 - Temperatura aplicada en el proceso fermentativo: (10, 15, 25 °C).
- Variables dependientes
 - Rendimiento de fermentación del maíz negro (*Zea mays L.*)
 - Contenido de azúcares

- Tiempo óptimo de fermentación
- Variables de respuesta
 - La variable de respuesta para cada tratamiento fue la obtención del rendimiento fermentativo, rendimiento volumétrico y contenidos de sólidos en suspensión y sólidos disueltos en función de la temperatura de fermentación.

3.3. Delimitación de campo de estudio

El estudio se redujo al campo de la industria alimenticia, ya que se trataba de la elaboración de una bebida fermenta. Dicho estudio buscó darle un valor agregado al maíz negro de Guatemala en el mismo campo de alimentos, ya que es cultivado y cosechado en su mayoría, al consumo propio de los hogares, en especial en la región del occidente del país, donde existe mayor diversidad del grano.

El estudio se realizó en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIECVE) de la Facultad de Ingeniería, debido al equipo que se utiliza en dicho laboratorio y los análisis fisicoquímicos pertinentes se realizaron en el Laboratorio de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

3.4. Recursos humanos disponibles

Investigador:	Br. Nicolás Roberto De León Bobadilla
Laboratorista de la UVG:	Licda. Patricia Palomo
Asesor:	Inga. Telma Maricela Cano Morales
Asesor:	Mario José Mérida Meré

3.5. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales disponibles se explican a continuación.

3.5.1. Material vegetal

- Maíz negro (*Zea mays L.*)
- Cebada
- Variedad de lúpulo
- Nuez moscada
- Agua purificada
- Azúcar
- Levadura de cerveza

3.5.2. Equipo y materiales de laboratorio

Erlenmeyer, pipetas volumétricas, balanza analítica, papel filtro, balones aforados, estufa con agitador magnético, secador, molienda, refrigeradora, tanque de acero inoxidable, botellas de vidrio, sifón, trampas de aire, termómetros, reactivos varios.

3.6. Metodología

El proceso consistió en la germinación y malteo de los granos de maíz negro (*Zea mays L.*) durante un período de 7 días, para luego pasar por el secador de bandejas del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, (LIEXVE), por 24 horas a 65 °C.

Los granos luego de secados se sometieron a un proceso de cocción a una temperatura de 120 °C durante una hora. Luego de esto, se procedió a la separación entre los granos y el agua de cocción, a la cual se le añadió como parte de su formulación, azúcar, levadura y lúpulo.

Esta mezcla fue depositada en el fermentador acoplado con una trampa de aire para los gases producidos en la fermentación y evitar la entrada de aire ambiental con propiedades no inocuas.

Tras un período fermentativo de 7 días, se filtró el contenido del fermentador y la cerveza resultante de la filtración se empacó y se llevó para sus análisis fisicoquímicos, al Laboratorio de Alimentos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

3.7. Técnica cuantitativa

Entre las técnicas cuantitativas que se utilizaron para el análisis fisicoquímico están la titulación ácido base, utilizando una alícuota de 1 mL de la cerveza y como titulante, una solución de hidróxido de sodio con una concentración 0,1 N para la medición de la acidez titulable, siendo esta medida por la cantidad de mililitros requeridos para neutralizar su acidez.

Durante el mismo procedimiento anteriormente mencionado, se fue midiendo el pH con la lectura de un potenciómetro digital.

También se utilizaron métodos ópticos espectrofotométricos para el cálculo de sólidos en suspensión y concentraciones, este procedimiento consistió en irradiar una celda llena con un ml la solución con un haz de luz

calibrado para cierta longitud de onda, para tener una respuesta de la absorbancia y transmitancia de la solución como respuesta a la irradiación.

También el método gravimétrico se utilizó para el cálculo de las masas orgánicas que presentaron las diferentes cervezas producidas, como los contenidos de proteínas y carbohidratos, y la determinación del contenido alcohólico en grados Gay-Lussac, consistió en medir los componentes de la muestra que eran volátiles para los cuales se evaporaron 10 ml de las cervezas, y se pasaron a través de una sustancia absorbente que había sido previamente pesada, así la ganancia de peso correspondería al de la cerveza.

Para la realización de todos los análisis se aplicaron las buenas prácticas de manufactura para cumplir con las especificaciones para la industria alimenticia, para garantizar que el producto obtenido fuera inocuo.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En la siguiente tabla se presenta las propiedades fisicoquímicas encontradas en las cervezas fermentadas a 10 °C de maíz negro y cebada.

Tabla V. **Propiedades fisicoquímicas encontradas en las cervezas fermentadas a 10 °C de maíz negro y cebada**

Propiedad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH			
Sólidos en suspensión			
Grados de alcohol			
Porcentaje de acidez			
Gravedad específica			
Proteínas totales			
Carbohidratos			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Propiedades fisicoquímicas encontradas en las cervezas fermentadas a 15 °C de maíz negro y cebada**

Propiedad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH			
Sólidos en suspensión			
Grados de alcohol			
Porcentaje de acidez			
Gravedad específica			
Proteínas totales			
Carbohidratos			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Propiedades fisicoquímicas encontradas en las cervezas fermentadas a 25 °C de maíz negro y cebada**

Propiedad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH			
Sólidos en suspensión			
Grados de alcohol			
Porcentaje de acidez			
Gravedad específica			
Proteínas totales			
Carbohidratos			

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis estadístico

Se aplicó el análisis de varianza Anova para la validación de la hipótesis estadística, comparando las propiedades fisicoquímicas y sensoriales que presentan las cervezas de los diferentes mostos fermentados a diferentes temperaturas.

3.10. Plan de análisis de los resultados

El plan de análisis de los resultados a utilizar y desarrollar se presenta a continuación.

3.10.1. Métodos y modelos de los datos

Para las determinaciones de las diferentes propiedades fisicoquímicas de las diferentes muestras, se hizo uso de los servicios del Laboratorio de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala. Los productos terminados se cataron por diferentes personas, a las cuales se les solicitó que llenaran una encuesta para calificar las cervezas a base de maíz negro, en las cuales anotaron sus análisis sensoriales, por mencionar algunos, olor, sabor y textura.

3.10.2. Programas a utilizar para análisis de datos

- Excel 2016
- Complementos para Excel 2016

4. RESULTADOS

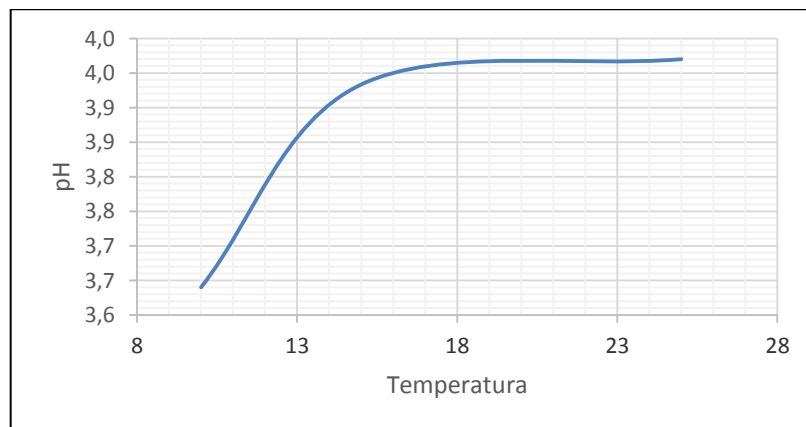
A continuación se presenta la tabla de rendimiento volumétrico de las cervezas.

Tabla VIII. Rendimiento volumétrico de las cervezas

Temp (°C)		Volumen de agua utilizada (mL)	Volumen de cerveza producida (mL)	Rendimiento %
10	Cerveza 1	1 000	412,55	41,26
	Cerveza 2	1 010	356,44	35,29
	Cerveza 3	1 010	366,87	36,32
15	Cerveza 4	1 000	469,63	46,96
	Cerveza 5	1 050	463,14	44,11
	Cerveza 6	1 050	427,00	40,67
25	Cerveza 7	1 050	567,20	54,02
	Cerveza 8	1 050	453,60	43,20
	Cerveza 9	1 050	572,45	54,52

Fuente: datos tomados en LIEXVE.

Figura 2. Determinación del pH respecto a la temperatura de fermentación



Fuente: elaboración propia, con base en los resultados del apéndice 3, Laboratorio de Alimentos, UVG.

Tabla IX. **Determinación del pH respecto a la temperatura de fermentación**

Color	Modelo matemático	R ²	Y _{máx} [Adimensional]	Intervalo de validez [°C]
	$\text{pH} = -0,0037T^2 + 0,1503T + 2,5033$	1	4,1	10-25

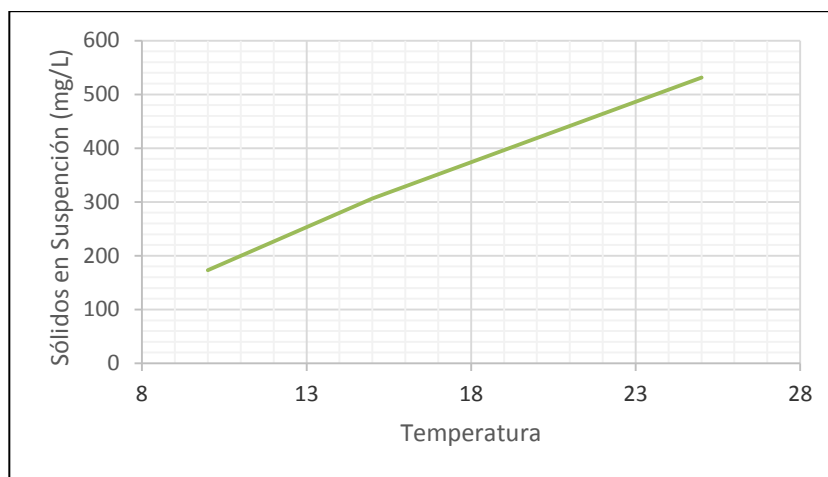
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 2.

Tabla X. **Análisis del pH de las muestras de cerveza**

		Temperatura 10 °C			Temperatura 15 °C			Temperatura 25 °C		
		pH	pH promedio	Desviación estándar	pH	pH promedio	Desviación estándar	pH	pH promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	3,68	3,68	0,00	3,84	3,84	0,00	3,67	3,67	0,00
	B	3,68			3,84			3,67		
Muestra 2	A	3,58	3,58	0,00	4,12	4,12	0,00	4,25	4,25	0,01
	B	3,58			4,12			4,24		
Muestra 3	A	3,65	3,66	0,01	3,95	3,95	0,01	3,88	3,88	0,00
	B	3,66			3,94			3,88		

Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Figura 3. **Determinación de sólidos en suspensión**



Fuente: elaboración propia, con base en los datos del apéndice 7, Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Tabla XI. **Determinación de sólidos en suspensión**

Color	Modelo matemático	R ²	Y _{máx} [mg/L]	Intervalo de validez [°C]
	SS = 23,69T – 57,619	0,9981	530	10-25

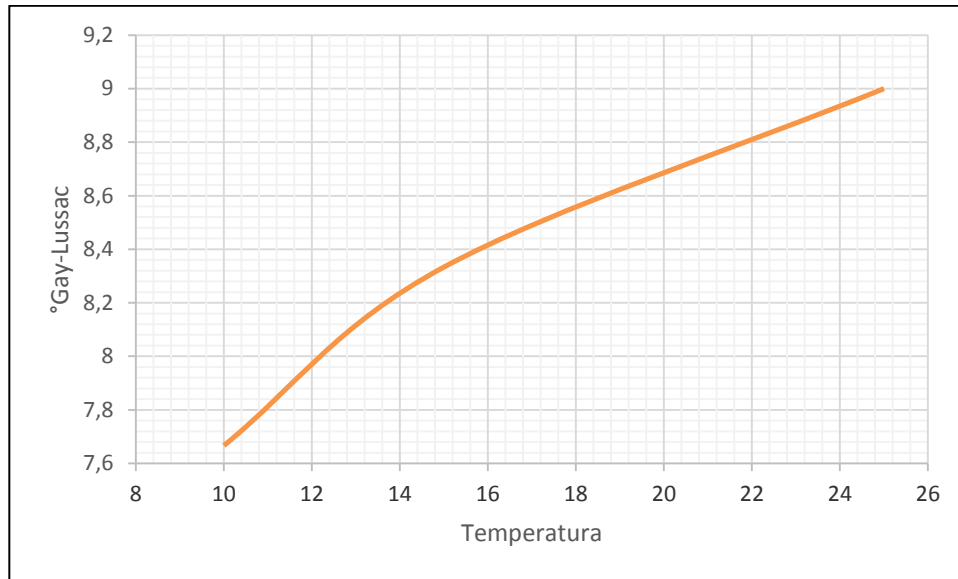
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 3.

Tabla XII. **Análisis de los sólidos en suspensión**

		Temperatura 10 °C					
		Peso de tubo vacío (± 0,0001g)	Peso de tubo +sólido seco (± 0,0001g)	Volumen de muestra (mL)	Sólidos Suspendidos (mg/L de muestra)	promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	5,3799	5,3820	10,0	210,0000	210,0	0,00
	B	5,3848	5,3869	10,0	210,0000		
Muestra 2	A	4,5513	4,5530	10,0	170,0000	170,0	0,00
	B	4,6845	4,6862	10,0	170,0000		
Muestra 3	A	5,6992	5,7006	10,0	140,0000	140,0	0,00
	B	5,7512	5,7526	10,0	140,0000		
		Temperatura 15 °C					
		Peso de tubo vacío (± 0,0001g)	Peso de tubo +sólido seco (± 0,0001g)	Volumen de muestra (mL)	Sólidos Suspendidos (mg/L de muestra)	promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	4,9661	4,9682	10,0	210,0000	210,0	0,00
	B	4,9514	4,9535	10,0	210,0000		
Muestra 2	A	4,9680	4,9711	10,0	310,0000	305,0	7,07
	B	4,5843	4,5873	10,0	300,0000		
Muestra 3	A	5,7348	5,7389	10,0	410,0000	405,0	7,07
	B	5,7451	5,7491	10,0	400,0000		

Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Figura 4. **Determinación del grado alcohólico**



Fuente: elaboración propia, con base en los datos del apéndice 4, Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Tabla XIII. **Determinación del grado alcohólico**

Color	Modelo matemático	R ²	Y _{máx} [°Gay-Lussac]	Intervalo de validez [°C]
	°Alcohólico = 1,4488ln(T) + 4,3591	0,9956	9,05	10-25

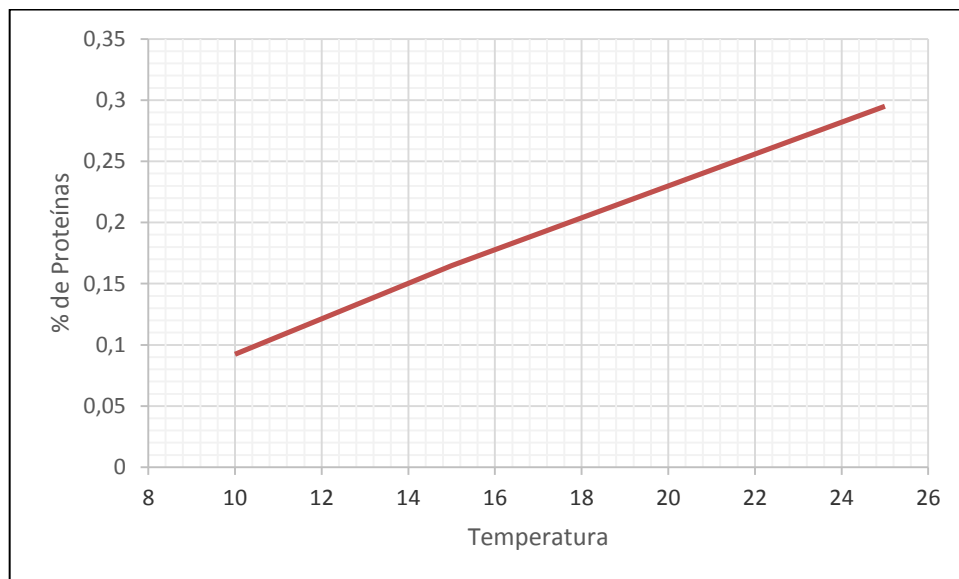
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 4.

Tabla XIV. **Análisis del grado alcohólico de las muestras de cerveza**

		Temperatura 10 °C			Temperatura 15 °C			Temperatura 25 °C		
		°Gay Lussac	°Gay Lussac promedio	Desviación estándar	°Gay Lussac	°Gay Lussac promedio	Desviación estándar	°Gay Lussac	°Gay Lussac promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	6	6	0	6	6	0	7	7	0
	B	6			6			7		
Muestra 2	A	7	7	0	9	9	0	10	10	0
	B	7			9			10		
Muestra 3	A	10	10	0	10	10	0	10	10	0
	B	10			10			10		

Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Figura 5. **Determinación de proteínas totales**



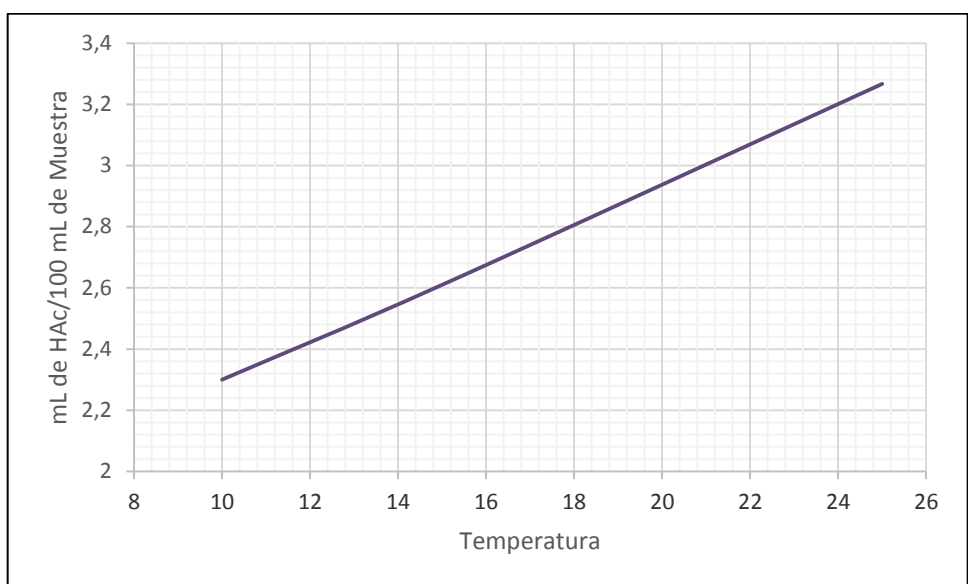
Fuente: elaboración propia, con base en los datos del apéndice 8, Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Tabla XV. **Determinación de proteínas totales**

Color	Modelo matemático	R ²	Y _{máx} [%]	Intervalo de validez [°C]
	%CHON = 0,0134T – 0,04	0,9993	0,3	10-25

Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 5.

Figura 6. **Determinación de la acidez titulable**



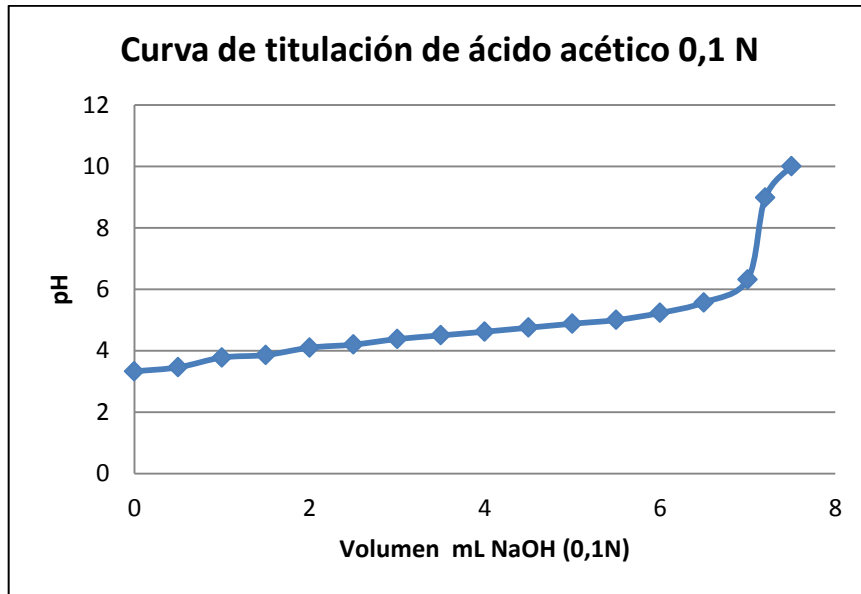
Fuente: elaboración propia, con base en los datos del apéndice 6, Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Tabla XVI. **Determinación de la acidez titulable**

Color	Modelo matemático	R ²	Y _{máx} [mL de HAc/100 mL de Muestra]	Intervalo de validez [°C]
	Acidez Titulable = 0,0646x + 1,6486	0,9998	3,3	10-25

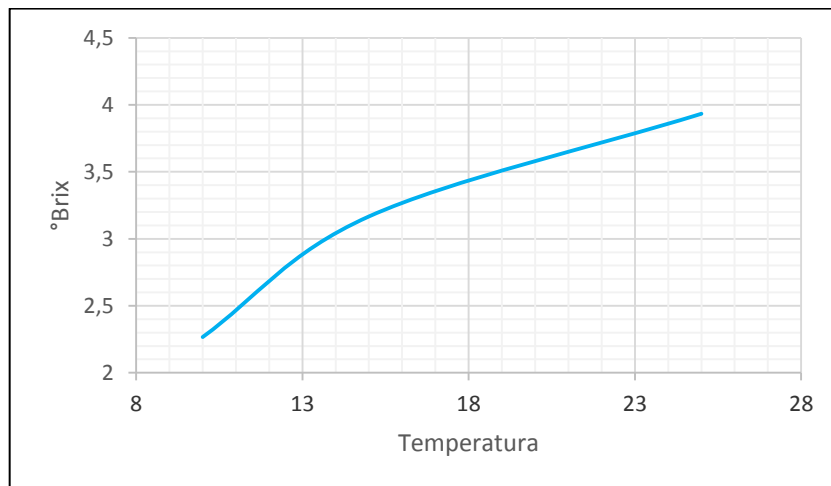
Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 6.

Figura 7. **Curva de titulación de ácido acético 0,1 N**



Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Figura 8. **Determinación de azúcares (°Brix)**



Fuente: elaboración propia, con base en los datos del apéndice 2, Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Tabla XVII. **Determinación de azúcares (°Brix)**

Color	Modelo matemático	R ²	Y _{máx} [mL de HAc/100 mL de Muestra]	Intervalo de validez [°C]
	°Brix = 1,8054ln(T) – 1,8303	0,9874	3,8	10-25

Fuente: elaboración propia, con base en los datos de la figura 6.

Tabla XVIII. **Análisis de azúcares en las muestras de cerveza**

		Temperatura 10 °C			Temperatura 15 °C			Temperatura 25 °C		
		° Brix	° Brix promedio	Desviación estándar	° Brix	° Brix promedio	Desviación estándar	° Brix	° Brix promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	1,8	1,8	0,1	1,5	1,6	0,1	3,9	4,0	0,1
	B	1,7			1,6			4,0		
Muestra 2	A	2,1	2,2	0,1	4,0	4,1	0,1	5,1	5,2	0,1
	B	2,2			4,1			5,2		
Muestra 3	A	2,8	2,8	0,0	3,7	3,8	0,1	2,5	2,6	0,1
	B	2,8			3,8			2,6		

Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Tabla XIX. **Datos tabulados sobre encuestas para el análisis sensorial**

Muestra		Calificación de Catadores Bebedores No Habituales			Calificación de Catadores Bebedores Habituales		
		Catador 1	Catador 2	Catador 3	Catador 1	Catador 2	Catador 3
Cerveza fermentada a 10 °C	1	4	3	4	5	5	4
	2	4	4	4	4	5	4
	3	5	3	4	4	4	5
Cerveza fermentada a 15 °C	4	3	4	4	4	3	4
	5	4	4	4	5	4	4
	6	2	1	2	3	2	1
Cerveza fermentada a 25 °C	7	2	3	2	2	2	2
	8	5	4	4	3	4	4
	9	4	4	5	5	4	5

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de graduación se determinaron las propiedades fisicoquímicas y sensoriales que presentaban las cervezas terminadas, elaboradas con maíz negro, variando la temperatura a la cual, del proceso fermentativo, determinando así, si el maíz negro podría tener un valor agregado más alto para la elaboración de productos de consumo masivo a nivel industrial y no únicamente para consumo personal y agrícola como es hasta ahora.

La materia vegetal se obtuvo en el municipio de Chiantla del departamento de Huehuetenango; perteneciente al altiplano de Guatemala a unos 2 500 metros sobre el nivel del mar, el clima de esta región es húmedo y frío. La materia prima se preparó para realizar el proceso fermentativo, esta preparación consistió en la germinación controlada de los granos del maíz negro (*Zea mays L.*) para luego pasar al secador de bandejas del laboratorio LIEXVE durante 24 horas. Luego del proceso fermentativo se calcularon los rendimientos volumétricos de las cervezas con respecto a las temperaturas a las que se llevaron a cabo los procesos, los cuales se pueden apreciar en la tabla VIII.

Se muestran también las gráficas donde se representan las tendencias de las propiedades fisicoquímicas analizadas con respecto a la variación de la temperatura de fermentación, cada una se presenta a su vez en tablas con las funciones de tendencia que representan a cada una de las propiedades. Con estas representaciones gráficas de las propiedades fisicoquímicas analizadas, todas aumentan al incrementar la temperatura del proceso fermentativo, lo que en muchos de los casos es beneficioso.

A continuación, se interpreta cada una de las gráficas y tablas mencionadas anteriormente.

5.1. Rendimiento volumétrico de las cervezas

En la tabla VIII se aprecia el efecto que tiene la temperatura sobre el rendimiento volumétrico del proceso fermentativo, para el cual presentó los mejores rendimientos, a pesar de ser bajos, la fermentación a 25 °C, siendo estos los únicos en superar el 50 %, mientras que los peores rendimientos se dieron cuando la fermentación se llevó a cabo a 10 °C, propiciado así rendimientos de un mínimo del 34 % y un máximo del 39 %.

5.2. Determinación del pH respecto a la temperatura de fermentación

En la figura 2 se presenta gráficamente la tendencia que tiene el comportamiento del pH de las muestras dependiendo de la temperatura a la que se fermentó, donde se puede apreciar que la fermentación a los 10 °C se acidificó mucho más la muestra en comparación de las otras dos temperaturas, siendo la más baja de aproximadamente 3,65 de pH, propiedad que puede afectar a largo plazo, para el consumo humano.

5.3. Determinación de los sólidos totales en suspensión respecto a la temperatura de fermentación

En la figura 3 se puede apreciar que esta propiedad fisicoquímica, en todas las muestras tiene una tendencia más lineal que la presentada en el punto anterior, estando los sólidos en suspensión en un rango de 180 a 540 ppm, hacen que las cervezas sean claras y homogéneas lo cual, sensorialmente lo hace atractivo al ojo humano.

5.4. Determinación del grado alcohólico respecto a la temperatura de fermentación

En este punto se ve una tendencia un poco contraria a la teoría, ya que presenta un crecimiento de forma logarítmica, es decir que el grado alcohólico es directamente proporcional al aumento de la temperatura a la cual se fermenta, sabiendo que debería presentar una cierta tendencia inversa, mientras mayor sea la temperatura a la cual se fermenta, debería tener un grado alcohólico menor.

5.5. Determinación de las proteínas totales respecto a la temperatura de fermentación

Esta propiedad fisicoquímica que se muestra en la figura 5, presenta una tendencia lineal, la cual muestra los porcentajes de proteínas presentes en las cervezas, los cuales son muy bajos ya que comprenden un intervalo entre 0,1 y 0,3 % del volumen total de las cervezas.

Tanto para los rendimientos volumétricos del proceso fermentativo como de las propiedades fisicoquímicas de las cervezas, si existen diferencias significativas al variar las temperaturas durante los tiempos de fermentación, siendo, tanto las propiedades fisicoquímicas como los rendimientos, mayores al momento de realizar las fermentaciones con una mayor temperatura, que para este estudio fue a 25 °C y los menores rendimientos y menores propiedades fisicoquímicas fueron a 10 °C.

6. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

6.1. Resultado de los análisis de varianza para las pruebas fisicoquímicas

A continuación se presenta el resultado de los análisis de varianza para las pruebas fisicoquímicas.

Tabla XX. Resultado de los análisis de varianza para las pruebas fisicoquímicas

Prueba	F	Valor crítico para F
pH	0,9261	5,1433
Sólidos en suspensión	0,7938	5,1433
Grado alcohólico	0,3429	5,1433
Proteínas totales	4,4218	5,1433
Acidez titulable	0,8356	5,1433
°Brix	1,6439	5,1433

Fuente: elaboración propia.

6.2. Resultado del análisis de varianza de las pruebas sensoriales

A continuación se presenta el resultado del análisis de varianza de las pruebas sensoriales.

Tabla XXI. **Resultado del análisis de varianza de las pruebas sensoriales**

Prueba	F	Valor crítico para F
Calificación Sensorial	0,265517	3,105875239

Fuente: elaboración propia.

6.3. Conclusiones de la validación de las hipótesis

Con los valores del F de Fisher experimental menores al valor crítico presentados para cada análisis fisicoquímico y también para el sensorial, se valida la hipótesis nula, afirmando que no hubo cambios significativos entre las propiedades de los nueve mostos fermentados a las tres diferentes temperaturas, con una tolerancia del 0,05.

CONCLUSIONES

1. Se elaboraron los nueve mostos de cerveza y se fermentaron en grupos de tres, cada grupo a una temperatura diferente del resto, lo que varió las propiedades fisicoquímicas de cada una, lo cual afectó claramente los rendimientos volumétricos del proceso fermentativo.
2. Hubo una diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas analizadas en las cervezas en función del aumento de la temperatura de fermentación.
3. La determinación del pH para la fermentación a 10 °C hizo que, a esta temperatura de fermentación, no sea posible su consumo debido a su acidez alta.
4. Debido a la pequeña presencia de sólidos en suspensión en todas las muestras, permitió que todas se vieran de una forma homogénea y clara, lo cual fue agradable a la vista.
5. Sensorialmente fue una cerveza aceptada por su mayoría, teniendo la mayoría un buen olor, sabor y textura, solamente una de las 9 muestras fue rechazada por olor y sabor, aunque su apariencia visual parecía estar bien.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio variando la formulación de la cerveza con maíz negro, fijando una misma temperatura.
2. Realizar un estudio utilizando la misma formulación y las mismas condiciones de temperatura, pero variar en lugar de utilizar el maíz negro, maíz amarillo que es el más común en la elaboración de cerveza para aislar las propiedades específicas del maíz negro.
3. Evaluar las propiedades fisicoquímicas que aporta el ingrediente antiséptico durante la fermentación, ya sea nuez moscada o lúpulo.
4. Realizar un estudio del rendimiento económico para analizar la viabilidad del experimento a una escala mayor.
5. Llevar a cabo un estudio en el cual se utilicen tipos de maíz que se cosechen en el país para buscar darle un valor agregado y beneficiar a los productores.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARVAJAL, J. *Curso Elaboración de cerveza, sidra y vinagre en forma casera*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2000. 120 p.
2. *Enciclopedia Agropecuaria Terranova*. Producción Agrícola 1, Tomo II, Bogotá, Colombia; Terranova, 1995. 120 p.
3. FERRÁN, J. *Manual de cultivo, mejora de cebadas y fabricación de cerveza. Cebada: variedades cerveceras y cerveza*. Barcelona. España: Aedos. 1959. 246 p.
4. FAO. *Origen del maíz*. [en línea]. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Departamento de Agricultura. <<http://www.fao.org>>. [Consulta: marzo de 2014].
5. _____. *El maíz en la nutrición humana*. [en línea]. Colección FAO: Alimentación y Nutrición, N°25. Italia, Roma. <<http://www.fao.org>>. [Consulta: marzo de 2014].
6. _____. *El papel de la mujer en la conservación de los recursos genéticos del maíz en Guatemala*. [en línea]. Roma, Italia. <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y3841s/Y3841s00.pdf>>. [Consulta: abril de 2014].

7. FIGUEROA, J. *Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada*. Guatemala: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). 1985. 115 p.
8. GARCIA, A.; COL, J. *Historia de la cerveza*. Santander, España: Lozano artes gráficas S. L. 1783. 164 p.
9. HARO, C. *Bebidas fermentadas en base a "maíz negro" Zea Mays L. Poaceae; con el eco tipo "Racimo de Uva" y la variedad "Mishca" de la serranía ecuatoriana*. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2012. 159 p.
10. HERNÁNDEZ, M, *Aprovechamiento de la zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza) como adjunto para la elaboración de cerveza tipo Lager*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2001, 103 p.
11. HOUGH, J. *Biología de la cerveza y de la malta*. Zaragoza, España: Acribia, 1990. 194 p
12. JACNOW, G, *Biología, introducción con experimentos modelo*. Zaragoza, España: Acribia. 1991.35 p.
13. KENT, N. *Tecnología de los cereales*. Zaragoza, España: Acribia, 1971. 208 p.
14. Ministerio de Economía. *Especificaciones de bebidas fermentadas y cerveza*. [en línea]. Norma Coguanor NGO 33 006, <<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/pontofocal/..%5Cpontof>

ocal%5Ctextos%5Cregulamentos%5CGTM_6.pdf>. [Consulta: abril de 2014].

15. SENDRA, J.; CARBONELL, J. *Evaluación de las propiedades funcionales, nutritivas y sanitarias de la cerveza en comparación con otras bebidas*. Madrid, España: Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos; Centro de Información, Cerveza y Salud. 1999. 50 p.
16. VÁSQUEZ, Francisco. La biodiversidad y las nuevas variedades del Maíz. En: *El Maíz en el Siglo XXI*. Helvetas Guatemala. Guatemala, Asociación Suiza para la Cooperación Internacional. 1998. 196 p.
17. WARD, O. *Biotecnología de la fermentación*, Zaragoza, España: s.e., 1989. 126 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Metodología de cálculo

En esta sección se detallan los cálculos hechos en el presente trabajo. Se presentan ejemplos basados principalmente en una de las corridas llevada a cabo durante el experimento.

A. Modelos matemáticos

Se presentan a continuación las herramientas matemáticas utilizadas para analizar la información experimental obtenida:

- Regresión lineal: se utilizó para obtener un modelo matemático de una serie de datos, cuya tendencia es de una línea recta en el plano “xy”. Se utilizó Microsoft Excel 2013 para determinarlo. La serie de datos en la que se utilizó esta herramienta es en la de sólidos en suspensión, acidez titulable y proteínas totales. Se representa de la siguiente manera:

$$y = mx + b$$

Ejemplo: regresión lineal de la curva de sólidos en suspensión dado en ppm, en función de la temperatura

$$SS = 23.69T - 57.619 \quad (\text{Ecuación 1})$$

- Modelo polinomial de grado mayor o igual a dos: este tipo de modelo se utiliza una única vez en el presente trabajo, siendo esta útil para describir el comportamiento del pH de las cervezas función de la temperatura. La herramienta utilizada para encontrar el modelo polinomial que describiera mejor la información fue Microsoft Excel 2013. La forma general es la siguiente:

$$y = a_n x^n + \dots + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

Ejemplo: el modelo polinomial utilizado para expresar el pH de las cervezas en función de la temperatura es el siguiente:

$$pH = -0.0037T^2 + 0.1503xT + 2.5033 \quad (\text{Ecuación 2})$$

- Modelo logarítmico: este tipo de modelo se utiliza varias veces, siendo esta útil para describir el comportamiento de los °Brix (azúcares) y los °Gay-Lussac (contenido alcohólico) de las cervezas función de la temperatura. La herramienta utilizada para encontrar el modelo logarítmico que describiera mejor la información fue Microsoft Excel 2013. La forma general es la siguiente:

$$y = a * \ln(x) + b$$

Ejemplo: el modelo logarítmico utilizado para expresar el contenido alcohólico de las cervezas en función de la temperatura es el siguiente:

$$°Alcohólico = 1.4488\ln(T) + 4.3591 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Análisis de las proteínas totales

		Temperatura 10 °C					
		mL de HCl utilizados [0,105N]	Volumen de alícuota (mL)	Peso de muestra ($\pm 0,0001g$)	% de Proteína	Promedio % de Proteína	Desviación estándar
Muestra 1	A	1,6	20	19,2014	0,077	0,073	0,004
	B	0,8	10	10,4645	0,070		
Muestra 2	A	1,6	20	19,2280	0,076	0,078	0,003
	B	1,6	20	18,3050	0,080		
Muestra 3	A	2,7	20	19,6132	0,126	0,126	0,000
	B	2,6	20	18,9654	0,126		
		Temperatura 15 °C					
		mL de HCl utilizados [0,105N]	Volumen de alícuota (mL)	Peso de muestra ($\pm 0,0001g$)	% de Proteína	Promedio % de Proteína	Desviación estándar
Muestra 1	A	1,5	20	18,8520	0,073	0,074	0,001
	B	1,5	20	18,6084	0,074		
Muestra 2	A	6,4	20	20,1014	0,293	0,294	0,002
	B	6,2	20	19,2721	0,296		
Muestra 3	A	2,9	20	19,5701	0,136	0,126	0,014
	B	2,5	20	19,6611	0,117		
		Temperatura 25 °C					
		mL de HCl utilizados [0,105N]	Volumen de alícuota (mL)	Peso de muestra ($\pm 0,0001g$)	% de Proteína	Promedio % de Proteína	Desviación estándar
Muestra 1	A	5,2	20	19,1860	0,249	0,252	0,005
	B	5,4	20	19,3816	0,256		
Muestra 2	A	8,3	20	19,4110	0,393	0,394	0,001
	B	8,3	20	19,3407	0,394		
Muestra 3	A	5,1	20	19,5750	0,239	0,239	0,000
	B	5,0	20	19,2161	0,239		

Fuente: elaboración propia, con base en resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 3. Análisis de azúcares en las muestras de cerveza

		Temperatura 10 °C			Temperatura 15 °C			Temperatura 25 °C		
		° Brix	° Brix promedio	Desviación estándar	° Brix	° Brix promedio	Desviación estándar	° Brix	° Brix promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	1,8	1,8	0,1	1,5	1,6	0,1	3,9	4,0	0,1
	B	1,7			1,6			4,0		
Muestra 2	A	2,1	2,2	0,1	4,0	4,1	0,1	5,1	5,2	0,1
	B	2,2			4,1			5,2		
Muestra 3	A	2,8	2,8	0,0	3,7	3,8	0,1	2,5	2,6	0,1
	B	2,8			3,8			2,6		

Fuente: elaboración propia, con base en resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 4. Análisis del pH de las muestras de cerveza

		Temperatura 10 °C			Temperatura 15 °C			Temperatura 25 °C		
		pH	pH promedio	Desviación estándar	pH	pH promedio	Desviación estándar	pH	pH promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	3,68	3,68	0,00	3,84	3,84	0,00	3,67	3,67	0,00
	B	3,68			3,84			3,67		
Muestra 2	A	3,58	3,58	0,00	4,12	4,12	0,00	4,25	4,25	0,01
	B	3,58			4,12			4,24		
Muestra 3	A	3,65	3,66	0,01	3,95	3,95	0,01	3,88	3,88	0,00
	B	3,66			3,94			3,88		

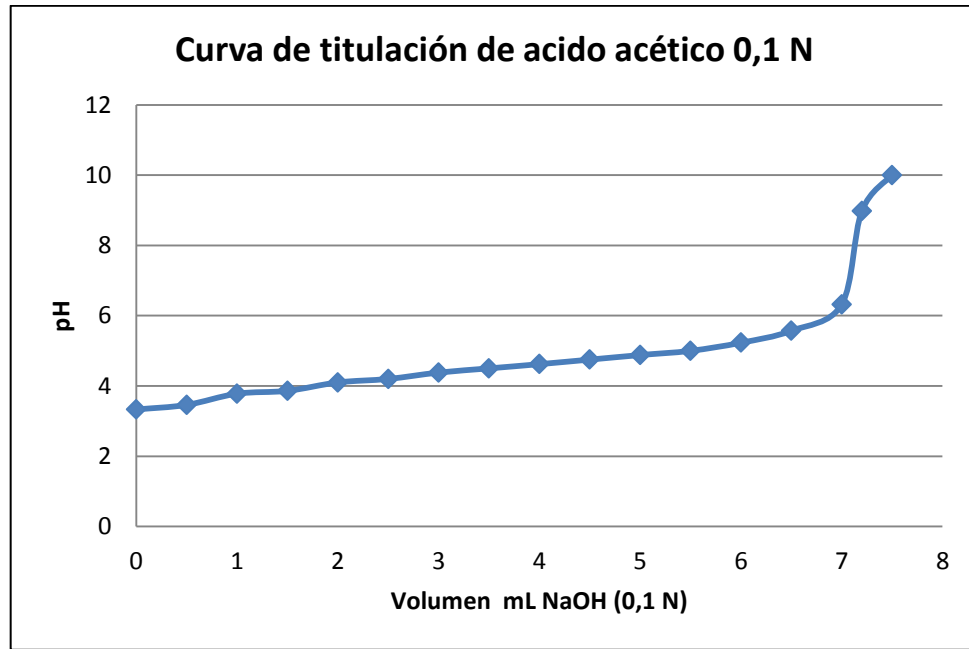
Fuente: elaboración propia, con base en resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 5. Análisis del grado alcohólico de las muestras de cerveza

		Temperatura 10 °C			Temperatura 15 °C			Temperatura 25 °C		
		°Gay Lussac	°Gay Lussac promedio	Desviación estándar	°Gay Lussac	°Gay Lussac promedio	Desviación estándar	°Gay Lussac	°Gay Lussac promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	6	6	0	6	6	0	7	7	0
	B	6			6			7		
Muestra 2	A	7	7	0	9	9	0	10	10	0
	B	7			9			10		
Muestra 3	A	10	10	0	10	10	0	10	10	0
	B	10			10			10		

Fuente: elaboración propia, con base en resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 6. Curva de titulación de ácido acético 0,1 N



Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 7. Cálculo de la acidez total presente en las muestras

La acidez total presente en la muestra, expresada en miligramos de ácido acético por 100 cm³ de muestra y referidos a alcohol anhidro, se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A.T. = \frac{V \cdot N \cdot 60 \cdot 100}{M} \times \frac{100}{G.A.R} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En donde

A.T. = Acidez total expresada en miligramos de ácido acético por 100 cm³ de muestra referidos a alcohol anhidro.

V = Volumen de la disolución de hidróxido de sodio gastado en la titulación de la muestra, en centímetros cúbicos

N = Normalidad de la disolución de hidróxido de sodio usada en la titulación
 60 = Miliequivalente de ácido acético expresado en miligramos
 M = Volumen de muestra empleada, en centímetros cúbicos
 G.A.R. = Grado alcohólico real de la muestra a 288L (15°C) en la escala Gay-Lussac.

Ejemplo: Determinación de la acidez total en las muestras a 10°C

Muestras		10°C					Desviación Estándar
		mL de NaOH [0.123N] (± 0.1mL)	Volumen de muestra titulada (mL)	grado alcohólico de la muestra	acidez titulable (mg ácido acético por 100 mL muestra)	Promedio de acidéz titulable (mg ácido acético por 100 mL)	
1	A	2,3	10,00	6	2,83	2,71	0,17
	B	2,1	10,00	6	2,58		
2	A	2,1	10,00	7	2,21	2,16	0,07
	B	2,0	10,00	7	2,11		
3	A	2,9	10,00	10	2,14	2,03	0,16
	B	2,6	10,00	10	1,92		

Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 8. Análisis de los sólidos en suspensión

		Temperatura 10 °C					
		Peso de tubo vacío (± 0.0001g)	Peso de tubo +sólido seco (± 0.0001g)	Volumen de muestra (mL)	Sólidos Suspendidos (mg/L de muestra)	promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	5.3799	5.3820	10.0	210.0000	210.0	0.00
	B	5.3848	5.3869	10.0	210.0000		
Muestra 2	A	4.5513	4.5530	10.0	170.0000	170.0	0.00
	B	4.6845	4.6862	10.0	170.0000		
Muestra 3	A	5.6992	5.7006	10.0	140.0000	140.0	0.00
	B	5.7512	5.7526	10.0	140.0000		

Continuación del apéndice 8.

		Temperatura 15 °C					
		Peso de tubo vacío (± 0,0001g)	Peso de tubo +sólido seco (± 0,0001g)	Volumen de muestra (mL)	Sólidos Suspendidos (mg/L de muestra)	promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	4,9661	4,9682	10,0	210,0000	210,0	0,00
	B	4,9514	4,9535	10,0	210,0000		
Muestra 2	A	4,9680	4,9711	10,0	310,0000	305,0	7,07
	B	4,5843	4,5873	10,0	300,0000		
Muestra 3	A	5,7348	5,7389	10,0	410,0000	405,0	7,07
	B	5,7451	5,7491	10,0	400,0000		
		Temperatura 25 °C					
		Peso de tubo vacío (± 0,0001g)	Peso de tubo +sólido seco (± 0,0001g)	Volumen de muestra (mL)	Sólidos Suspendidos (mg/L de muestra)	promedio	Desviación estándar
Muestra 1	A	5,3851	5,3867	10,0	160,0000	160,0	0,00
	B	5,3878	5,3894	10,0	160,0000		
Muestra 2	A	4,9684	4,9705	10,0	210,0000	210,0	0,00
	B	4,9578	4,9599	10,0	210,0000		
Muestra 3	A	5,6849	5,6971	10,0	1 220,0000	1 225,0	7,07
	B	5,6957	5,708	10,0	1 230,0000		

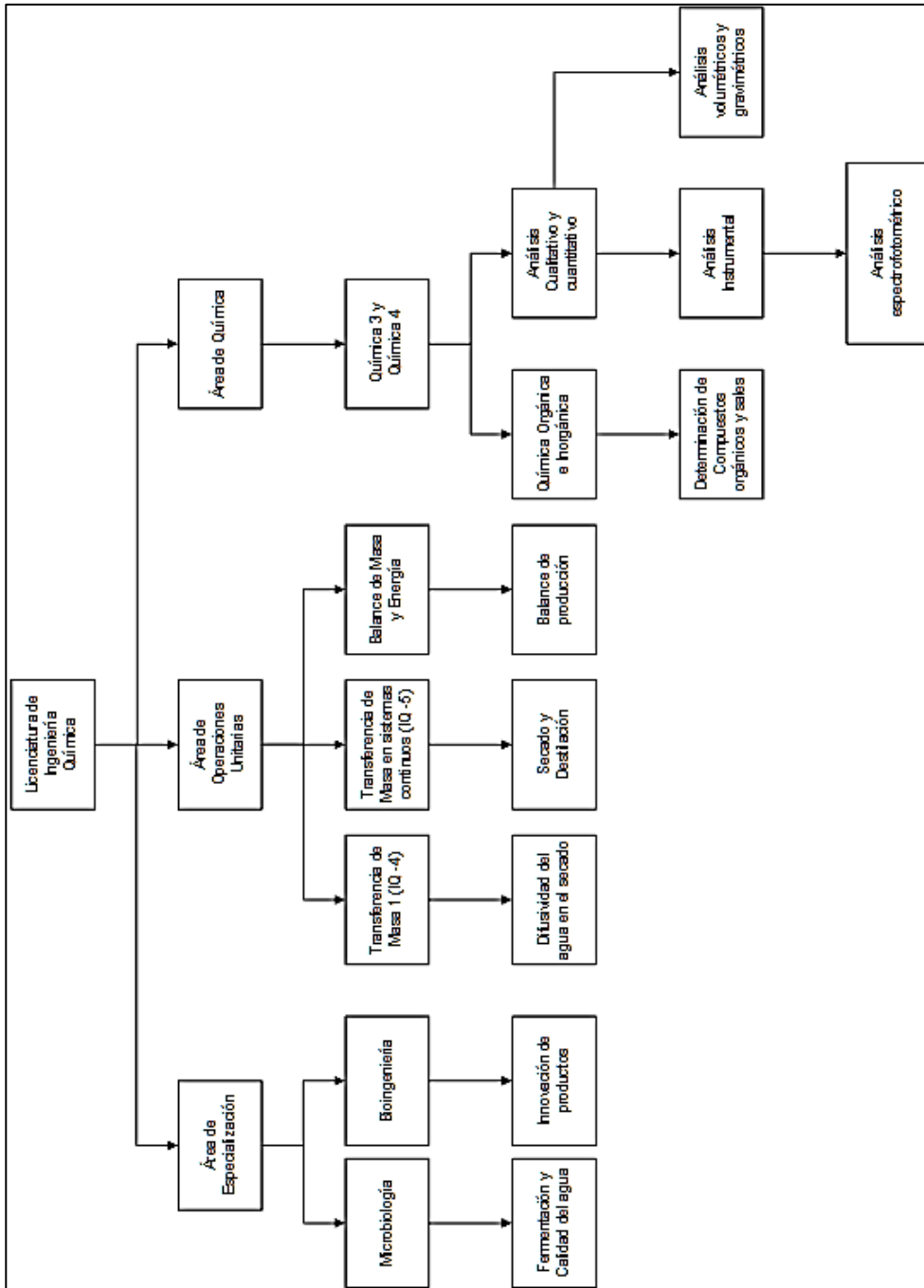
Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 9. Análisis de las proteínas totales

		Temperatura 10 °C					
		mL de HCl utilizados [0,105N]	Volumen de alícuota (mL)	Peso de muestra (±0,0001g)	% de Proteína	Promedio % de Proteína	Desviación estándar
Muestra 1	A	1,6	20	19,2014	0,077	0,073	0,004
	B	0,8	10	10,4645	0,070		
Muestra 2	A	1,6	20	19,2280	0,076	0,078	0,003
	B	1,6	20	18,3050	0,080		
Muestra 3	A	2,7	20	19,6132	0,126	0,126	0,000
	B	2,6	20	18,9654	0,126		
		Temperatura 15 °C					
		mL de HCl utilizados [0,105N]	Volumen de alícuota (mL)	Peso de muestra (±0,0001g)	% de Proteína	Promedio % de Proteína	Desviación estándar
Muestra 1	A	1,5	20	18,8520	0,073	0,074	0,001
	B	1,5	20	18,6084	0,074		
Muestra 2	A	6,4	20	20,1014	0,293	0,294	0,002
	B	6,2	20	19,2721	0,296		
Muestra 3	A	2,9	20	19,5701	0,136	0,126	0,014
	B	2,5	20	19,6611	0,117		
		Temperatura 25 °C					
		mL de HCl utilizados [0,105N]	Volumen de alícuota (mL)	Peso de muestra (±0,0001g)	% de Proteína	Promedio % de Proteína	Desviación estándar
Muestra 1	A	5,2	20	19,1860	0,249	0,252	0,005
	B	5,4	20	19,3816	0,256		
Muestra 2	A	8,3	20	19,4110	0,393	0,394	0,001
	B	8,3	20	19,3407	0,394		
Muestra 3	A	5,1	20	19,5750	0,239	0,239	0,000
	B	5,0	20	19,2161	0,239		

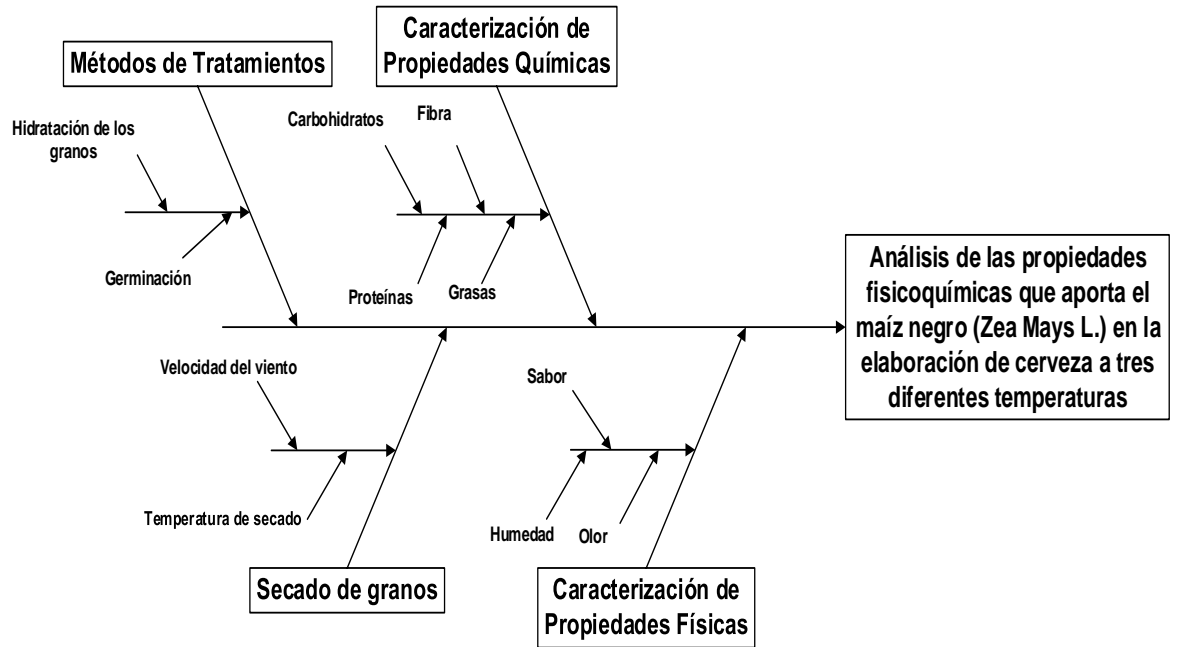
Fuente: resultados entregados por el Laboratorio de Alimentos de la UVG.

Apéndice 10. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

Apéndice 11. Diagrama de Ishikawa



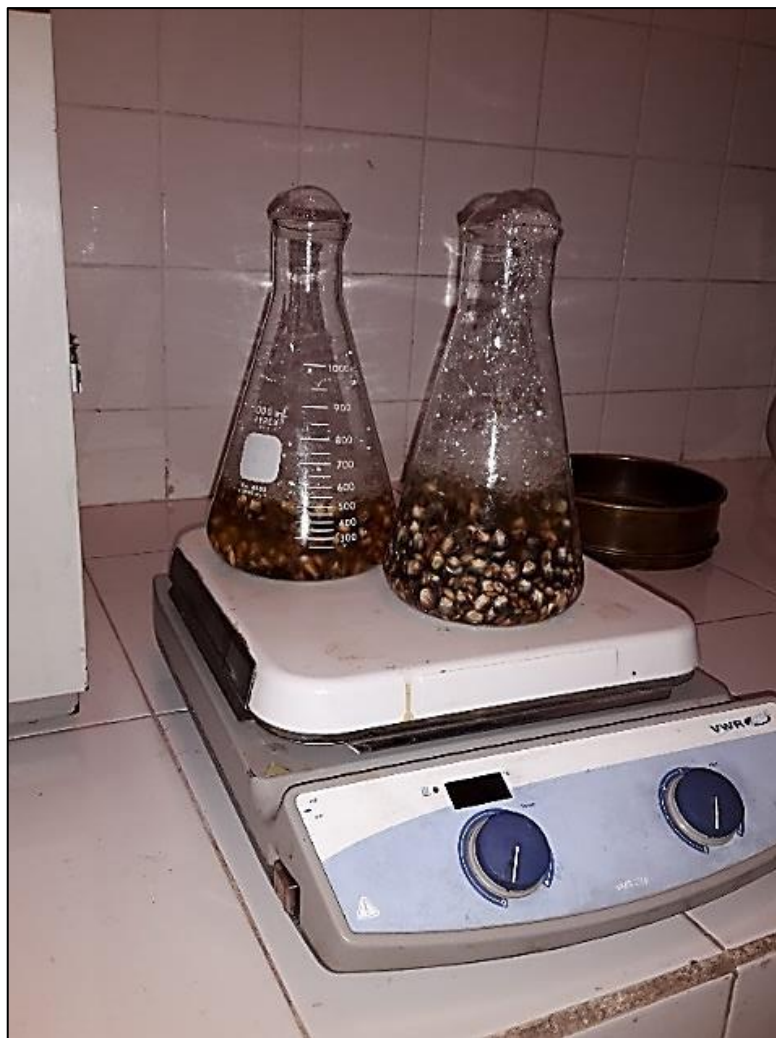
Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1 **Fotografías del estudio realizado**

A continuación se presentan las fotografías del estudio realizado.

Anexo 1.1 **Cocción de los granos germinados**



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio de Investigación De Extractos Vegetale, LIEXVE.

Anexo 1.2 **Fermentador con el mosto**



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio de Investigación De Extractos Vegetale, LIEXVE.

Anexo 1.3 **Filtración para separación del mosto de la cerveza**



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio de Investigación De Extractos Vegetale, LIEXVE.

Anexo 1.4 **Secador de Bandejas del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetale, LIEXVE**



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio de Investigación De Extractos Vegetale, LIEXVE.

Anexo 1.5 **Muestras de las cervezas resultantes**



Fuente: Fotografía tomada en el Laboratorio de Investigación De Extractos Vegetale, LIEXVE.

Análisis sensorial de cerveza artesanal a base de maíz negro
Prueba de escala hedónica de cinco puntos

Nombre: _____

Fecha: _____

Instrucciones: pruebe las muestras en el orden establecido e indique en la escala deseada con una X.

Muestra		Calificación de Catadores Bebedores No Habituales			Calificación de Catadores Bebedores Habituales		
		Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 1	Cat 2	Cat 3
Cerveza fermentada a 10°C	1						
	2						
	3						
Cerveza fermentada a 15°C	4						
	5						
	6						
Cerveza fermentada a 25°C	7						
	8						
	9						

Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, (LIEEXVE).