

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Química



Elaboración de cerveza artesanal tipo IPA baja en gluten empleando un sistema enzimático inmovilizado de tipo columna empacada.

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Steven Darío Huffstutlar Núñez
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Química



Elaboración de cerveza artesanal tipo IPA baja en gluten empleando un sistema enzimático inmovilizado de tipo columna empacada.

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Steven Darío Huffstutlar Núñez
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,

2023

Vo. Bo.

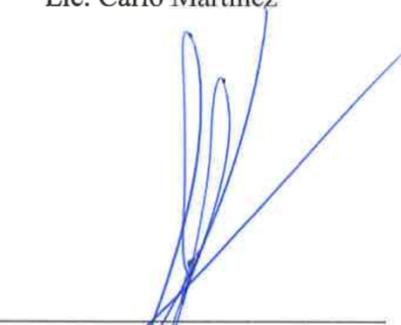
(f) 

Lic. Carlo Martínez

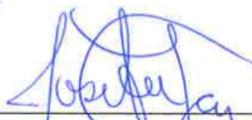
Terna examinadora

(f) 

Lic. Carlo Martínez

(f) 

Msc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 

Ing. José Andres Lam

Fecha de aprobación: Guatemala, 15 de diciembre de 2023

Tabla de contenidos

Listado de cuadros.....	vii
Listado de figuras.....	ix
Resumen.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. Objetivo general:	2
B. Objetivos específicos:.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Contexto histórico de la cerveza:	4
B. Conformación de la cerveza:	4
C. Elaboración de cerveza:.....	5
D. Elaboración de cerveza industrial:	5
E. Diferencias entre cerveza artesanal y cerveza industrial:	6
F. Tipos de cerveza y sus composiciones:	6
G. Contexto económico en el país:	9
H. Descripción de pasos para producción de cerveza artesanal:.....	9
I. Fermentación:	10
J. Gluten:	11
K. Enzimas	12
L. Expresión de velocidad de reacción utilizada:.....	13
M. Inmovilización de enzimas	13
N. Reacción de catálisis enzimática del gluten:	14
O. Refractometría:.....	15

V. ANTECEDENTES	17
VI. METODOLOGÍA	18
A. Inmovilización de la enzima.	18
B. Producción de cerveza artesanal.....	19
C. Determinación de densidad	20
D. Reducción de niveles de gluten.....	21
E. Determinación de gluten por medio de refractometría	22
F. Determinación de alcohol	22
VII. RESULTADOS.....	24
VIII. DISCUSIÓN.....	28
IX. CONCLUSIONES	32
X. RECOMENDACIONES	33
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	34
XII. ANEXOS	36
A. Datos originales	36
B. Cálculos de muestra.....	38
D. Analisis de error	40
E. Especificaciones técnicas del equipo.....	41
F. Registro gráfico de experimentación.....	43
XIII. Glosario	60

Listado de cuadros

Cuadro No. 1: Características de una cerveza tipo Ale.	6
Cuadro No. 2: Características de una cerveza tipo IPA.	7
Cuadro No. 3: Características de una cerveza tipo Stout.	7
Cuadro No. 4: Características de una cerveza tipo Hefeweizen.	8
Cuadro No. 5: Características de una cerveza tipo Pilsner.	8
Cuadro No. 6: Características de una cerveza tipo Porter.	8
Cuadro No. 7: Materiales y cristalería requeridos.	18
Cuadro No. 8: Reactivos requeridos para inmovilización de enzima.	18
Cuadro No. 9: Materiales y cristalería requeridos para producción de cerveza.	19
Cuadro No. 10: Reactivos requeridos para elaboración de cerveza artesanal.	19
Cuadro No. 11: Materiales y cristalería requeridos para determinación de densidad.	20
Cuadro No. 12: Reactivos requeridos para inmovilización de enzima.	20
Cuadro No. 13: Materiales y cristalería requeridos para reducción de niveles de gluten.	21
Cuadro No. 14: Reactivos requeridos para inmovilización de enzima.	21
Cuadro No. 15: Materiales y cristalería requeridos para determinación de gluten por medio de refractometría.	22
Cuadro No. 16: Materiales y cristalería requeridos para determinación de niveles de alcohol.	22
Cuadro No. 17 : Concentraciones de lúpulo Cascade y Centennial en cerveza teórica y cerveza obtenida.	24
Cuadro No. 18 Reducción de gluten con correlación de balance de masa y refractometría.	27
Cuadro No. 19: Cantidad de implementos iniciales:	36
Cuadro No. 20: Formación de etanol durante la fermentación de mosto.	37
Cuadro No. 21: Índices de refracción para catalisis de gluten.	38
Cuadro No. 22: Porcentaje v/v de etanol en fermento.	39
Cuadro No. 23: Azúcares obtenida con curva de calibración.	40

Cuadro No. 24: Especificaciones de fermentador.....	41
Cuadro No. 25: Especificaciones de molino.....	41
Cuadro No. 26: Especificaciones de estufa.....	41
Cuadro No. 27: Especificaciones de termómetro.....	42
Cuadro No. 28: Especificaciones refractómetro.....	42

Listado de figuras

Figura No. 1: Diagrama de bloques para la elaboración de cerveza.	5
Figura No. 2: Reacción de fermentación anaeróbica.....	10
Figura No. 3: Expresión de la velocidad de reacción por el modelo de Michaelis Menten.	13
Figura No. 4: Reacción de alginato de sodio con cloruro de calcio para esferificación.	14
Figura No. 5: Catalisis enzimatica de Gluten.....	15
Figura No. 6: Concentración de etanol (% v/v) vs tiempo durante fermentación de cerveza tipo IPA.	24
Figura No. 7: Diagrama de comportamiento cinético de la fermentación.....	25
Figura No. 8 Diagrama de comportmientto cinético de catalisis enzimatica de Gluten a azúcares. ...	25
Figura No. 9 Curva de azúcares obtenidos en los diferentes tiempos de retención.	26
Figura No. 10 Curva de índice de refracción para cerveza con gluten, sin gluten y promediado.	26
Figura No. 11: Diagrama de comportmientto cinético-enzimática de la conversión de maltosa en azúcares.	27
Figura No. 13: Formación de etanol durante la fermentación.....	37
Figura No. 14: Kit de producción de cerveza.....	43
Figura No. 15: Correlación de alcohol por volumen.	44
Figura No. 16: Fermentador	44
Figura No. 17: Sifón	45
Figura No. 18: Termómetro utilizado.....	45
Figura No. 19 Malla para separación de cascarilla.....	46
Figura No. 20: Levadura Saf Ale S-04.....	46
Figura No. 21: Lúpulos utilizados.	47
Figura No. 22: Colocador de tapaderas.	47

Figura No. 23: Limpiador para esterilizar.	48
Figura No. 24: Recursos y conversiones.	49
Figura No. 25: Manual de uso de hidrómetro de triple escala.....	50
Figura No. 26: Escalas de medición de hidrómetro:	51
Figura No. 27: Maceración de cebada.	52
Figura No. 28: Azúcares tras maceración.....	52
Figura No. 29: Cocción.	53
Figura No. 30: Azúcares tras cocción.....	53
Figura No. 31: Inicio de enfriamiento.	54
Figura No. 32: Fin de enfriamiento.	54
Figura No. 33: Inicio de fermentación.....	55
Figura No. 34: Problemas con Airlock.....	55
Figura No. 35: Adaptación de trampa de gases.....	56
Figura No. 36 Muestreo para determinar alcohol.....	56
Figura No. 37 Embotellado.	57
Figura No. 38 Segunda fermentación en botella.	57
Figura No. 39 Prueba 1 de carbonatación, aroma y textura.	58
Figura No. 40 Goteo de alginato en solución de cloruro de calcio.	58
Figura No. 41 Elaboración de perlas de enzima transglutaminasa inmovilizada.....	59
Figura No. 42: Contacto de cerveza tipo IPA en matriz de enzima- alginato	59

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue reducir los niveles de Gluten de cerveza artesanal tipo Indian Pale Ale utilizando Transglutaminasa Inmovilizada en un sistema de tipo columna. Para ello se planteó la elaboración de la cerveza en cuestión, la inmovilización de la enzima y el estudio de la reducción de los niveles. Los principales resultados fueron 23.6 L de cerveza tipo IPA con 6.10 % \pm 0.053 v/v de alcohol. Se realizó el sistema de columna enzimática empacada por el cual se hizo fluir la cerveza para realizar el tratamiento. Se determinó una concentración final de gluten de 1.52 g/L en la cerveza tras el tratamiento por medio de la correlación refractométrica empleada lo que significó una remoción del 86.46% m/m del contenido original teórico.

Se realizó la catálisis enzimática del gluten obteniendo una constante de Michaelis-Menten de 0.643g/L con una velocidad máxima de reacción de 0.260 g/L para la enzima inmovilizada. Finalmente, se recomienda utilizar un kit de determinación de gluten ELISA para complementar el estudio del comportamiento del gluten en la cerveza y generar diferentes matrices para la inmovilización de la enzima para así, determinar si al variar el medio de contención de la misma, cambian aspectos como la velocidad de reacción y la eficiencia de remoción.

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio plantea una solución a la creciente población que padece de enfermedad celiaca. Para ello, se fijó como objetivo la reducción de los niveles de gluten de una cerveza artesanal de tipo IPA por medio del tratamiento de esta, utilizando una columna empacada con enzima alfa transglutaminasa inmovilizada. Se trabajó con la cebada de tipo blonde, la levadura tipo *Saccharomyces cerevisiae* y los lúpulos de variedad Cascade y Centennial y se produjo un lote total de 23.6 L para este estudio.

Se utilizó una enzima específica que se encuentra en el organismo humano para la degradación del gluten. Las personas que carecen de esta enzima son las que tienen la enfermedad celiaca. Al tener una enzima inmovilizada, se tienen diversas ventajas en comparación a no inmovilizada. Entre las mismas están, que es mucho más fácil de recuperar, las temperaturas soportadas por la matriz protegen a la enzima y que no se desnaturalizará a condiciones muy fuertes.

Para realizar el tratamiento, se inmovilizaron 51 gramos de alfa glutaminasa con los que se trataron las diferentes pruebas que se realizaron, a través de una correlación refractométrica se pudo determinar la cantidad de azúcar que se produjo al ponerse en con la columna empacada. Posteriormente, se determinó que la enzima tuvo una constante de Michaelis-Menten de 0.6434 g/L con una velocidad máxima de reacción de 0.26 g/L al realizar los modelos cinético-enzimáticos de la reacción. Al realizar las correlaciones con los modelos obtenidos, se determinaron los niveles de gluten iniciales de la cerveza fueron de 11.23 g/L y, posteriormente al tratamiento un nivel final de 1.52%. Esto correspondió a un nivel de gluten retirado del 86.46% de la concentración inicial del mismo con lo cual, se concluyó que la columna empacada fue eficiente para el proceso.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general:

Reducir los niveles de Gluten de cerveza artesanal tipo Indian Pale Ale utilizando Transglutaminasa Inmovilizada.

B. Objetivos específicos:

- Producir cerveza tipo IPA artesanal a trabajar para realizar la reducción de gluten en la columna empacada.
- Inmovilizar la enzima transglutaminasa en la matriz de alginato de sodio para realizar la columna empacada en la cual se hará el tratamiento de la cerveza artesanal.
- Medir niveles de gluten en la cerveza por refractometría previo y posterior a al tratamiento con la columna empacada de enzima inmovilizada para determinar la reducción del mismo.

III. JUSTIFICACIÓN

La industria cervecera es una de las más grandes en Guatemala y en el mundo, por lo que ha generado hasta 11 millones de dólares solamente en exportaciones. El país en el 2014 consumió un total de 288.2 millones de litros de bebidas alcohólicas dentro de las que la cerveza formó gran parte de la cifra. Es por ello que se debe aprovechar la malta, el lúpulo, los azúcares y la levadura para otorgar un producto de calidad al consumidor (Dichter & Neira. 2016).

El gluten es una proteína encontrada en algunos granos como el trigo y la malta, siendo esta última de las más importantes para la elaboración de cerveza convencional. El porcentaje de personas que es intolerante a esta proteína cada vez es mayor, mundialmente este es de uno por ciento, por lo tanto estas personas no pueden consumir cerveza convencional. A través de enzimas específicas para la descomposición de esta molécula, se ofrece una solución a la necesidad de las personas que tienen reacciones alérgicas al gluten.

Debido a ello, este proyecto se enfoca en la reducción de los niveles de gluten en la cerveza para así proporcionar una solución tanto para las personas que quieren consumir estas bebidas, así como para los vendedores de cervezas.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Contexto histórico de la cerveza:

A lo largo de la historia, el ser humano ha innovado en los sectores alimentarios e industriales. La cerveza data desde la época egipcia junto al vino. Estas bebidas fermentadas han tenido diversas recetas desde el año 3000 a.C donde análisis fisicoquímicos de algunas vasijas sumerias han encontrado trazas procedentes de fermentaciones. Esta bebida siguió siendo de gran importancia para las civilizaciones, desde el período greco-romano hasta la actualidad donde encontramos diversas variedades de cervezas en todos los colores y sabores, llegando a satisfacer todos los paladares.

B. Conformación de la cerveza:

Las materias primas de la cerveza durante el proceso son las encargadas de entregar el cuerpo, dulzor y amargor que caracteriza a esta bebida. Consta de cuatro ingredientes claves para poder elaborarla.

- Cebada: es una gramínea de bajo nivel proteico pero alto nivel enzimático para la producción de azúcares fermentables a partir de almidón. Existen diversos tipos de esta planta, pero, se prefiere utilizar la de dos hileras dado que su cascara es más delgada y se puede obtener una mayor extracción.
- Levadura: la levadura es el microorganismo que se encarga de consumir los azúcares obtenidos durante la maceración y producir el dióxido de carbono y etanol. Esta ruta metabólica se alcanza en condiciones anaeróbicas.
- Lúpulo: es la planta encargada de proveer el aroma y amargor de la cerveza. Existen diversos tipos de lúpulo que se pueden utilizar, entre ellos el Chinook y el Cascade. Su implementación inicialmente fue por su sabor, no obstante se descubrió que sus propiedades antibacterianas la conservaban por más tiempo.
- Agua: en cervezas ligeras se prefiere una baja cantidad de calcio suspendida en ella, en contraste con las cervezas oscuras. La calidad del agua utilizada es de suma importancia para determinar la calidad de la cerveza. Los diferentes tipos de cervezas que existen van variando composiciones y métodos de tueste de la cebada para alcanzar diferentes notas, aromas y tonos que son apreciables al servirlos a los tarros. Levadura: del tipo

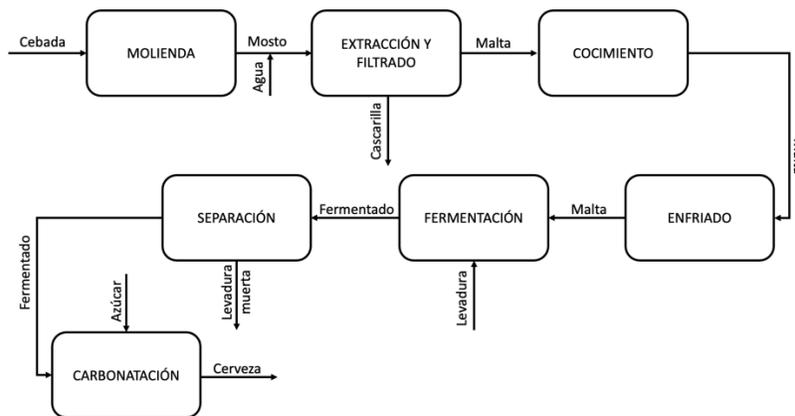
Saccharomyces cerevisiae también se utiliza en el proceso de elaboración de vino y de pan. Su tipo de reproducción es por gemación.

C. Elaboración de cerveza:

La elaboración de cerveza tiene diferentes variantes para cada tipo de la misma, el proceso más básico se basa en la molienda, la extracción y filtrado, el cocimiento, el enfriado, la fermentación, la separación y la carbonatación:

El diagrama de bloques del proceso de elaboración de cerveza se representa de la siguiente forma:

Figura No. 1: Diagrama de bloques para la elaboración de cerveza.



D. Elaboración de cerveza industrial:

En la elaboración de cerveza industrial, se siguen los pasos básicos de producción como se describe en la Figura No. 1. La malta se recibe e ingresa a proceso de molienda, donde se rompe la cascarilla que envuelve los almidones y enzimas requeridos para la maceración donde se producirán los azúcares esto se realiza en tanques con temperaturas fijas de entre 50 y 55 grados celsius para la actuación de las amilasas que generan los mismos. Tras la maceración se remueve la cascarilla y se lleva el mosto a los fermentadores donde inicia la producción de alcohol acorde a la variante de cerveza que se requiera obtener, es decir de alta o de baja fermentación como se describe en el inciso F. Tras la fermentación se da la separación de levadura muerta y filtración y posteriormente se realiza el carbonatado y embotellado en las máquinas de inyección de gas.

E. Diferencias entre cerveza artesanal y cerveza industrial:

La cerveza artesanal, se caracteriza principalmente por el menor tamaño de capacidad de producción de cerveza en comparación con la industrial que tiene capacidades que abarcarían fácilmente 5 cervecerías artesanales. En cuanto a la calidad de los ingredientes, las cervecerías artesanales generalmente ofrecen una mejor calidad de materias primas, siendo que las cervecerías industriales normalmente optan por una menor calidad para una mayor venta en volumen de su producto. Finalmente en los procesos de elaboración las cervecerías artesanales pueden optar por métodos convencionales y manuales en contraste a los procesos más tecnológicamente avanzados que pueden tener las cervecerías industriales como los procesos de aditivos preservantes como el sulfito de sodio, que se incorpora como un antioxidante o los procesos de pasteurización que mitigan el crecimiento de microorganismos.

F. Tipos de cerveza y sus composiciones:

Entre algunos tipos de cervezas con variantes en las composiciones se encuentran las tipo Ale, tipo Stout, tipo Indian Pale Ale (IPA), tipo Hefeweizen, tipo Pilsner y tipo Porter. Los tuestes de cebada, las cantidades de lupulo, los tiempos de maduración y de fermentación hacen que cada erveza tenga las características propias. A continuación se presenta un breve resumen de las composiciones de cada una:

- Ale: Este es un tipo de cerveza fermentada a temperatura ambiente con levadura de fermentación alta. Las cervezas ales pueden ser de muchos colores y tener una amplia gama de sabores, desde maltosos hasta afrutados y amargos.

Cuadro No. 1: Características de una cerveza tipo Ale.

Grado alcohólico (% v/v)	4-5
Fementación (°C)	20-25
Maduración (°C)	20-25
Tiempo de maduración	2 semanas-6 meses
Malta	Patagonia Pale Ale
Lupulo (Admiral)	5 g/L

- IPA (India Pale Ale): Este es un tipo de cerveza ale que es especialmente amarga y seca. La IPA se caracteriza por su aroma floral y cítrico y su sabor amargo derivado de la alta cantidad de lúpulo que contiene.

Cuadro No. 2: Características de una cerveza tipo IPA.

Grado alcohólico (% v/v)	5-8
Fementación (°C)	10-15
Maduración (°C)	25
Tiempo de maduración	2 semanas-6 meses
Malta	Patagonia Pale Ale
Lupulo (CASCADE y CENTENIAL)	10-14 g/L

(Sevebrau. 2022).

- Stout: Esta es una cerveza oscura, tostada y fuerte que se elabora con maltas muy tostadas. La cerveza stout suele tener un sabor a café o chocolate y una textura suave y cremosa.

Cuadro No. 3: Características de una cerveza tipo Stout.

Grado alcohólico (% v/v)	5-6
Fementación (°C)	10-15
Maduración (°C)	25
Tiempo de maduración	2 semanas-6 meses
Malta	Chocolate, Cherrywood
Lupulo (CASCADE y Fuggles)	1-2 g/L

- Hefeweizen: Esta es una cerveza de trigo alemana que se caracteriza por su sabor a plátano y clavo, su apariencia turbia y su espuma abundante y persistente.

Cuadro No. 4: Características de una cerveza tipo Hefeweizen.

Grado alcohólico (% v/v)	4-5
Fementación (°C)	20-25
Maduración (°C)	20-25
Tiempo de maduración	2 semanas-6 meses

- Pilsner: Esta es una cerveza lager dorada, clara y crujiente que se originó en la ciudad checa de Pilsen. La cerveza Pilsner se caracteriza por su amargor y suave.

Cuadro No. 5: Características de una cerveza tipo Pilsner.

Grado alcohólico (% v/v)	3-5%
Fementación (°C)	5-10
Maduración (°C)	0
Tiempo de maduración	2 semanas-6 meses
Lupulo	4-5 g/L

- Porter: Esta es una cerveza oscura, fuerte y tostada que se elabora con maltas oscuras y tostadas. La cerveza porter suele tener un sabor a caramelo, chocolate y café.

Cuadro No. 6: Características de una cerveza tipo Porter.

Grado alcohólico (% v/v)	5-6
Fementación (°C)	10-15
Maduración (°C)	25
Tiempo de maduración	2 semanas-6 meses
Lúpulo	1-3 g/L

G. Contexto económico en el país:

En Guatemala, las dos principales empresas cerveceras son: Cervecería Centroamericana y Cervecería Nacional. Ambas con una larga trayectoria en la producción y distribución de cerveza en el país. La Cervecería Centroamericana es la empresa líder en el mercado de cerveza en Guatemala, con una participación de mercado superior al 80%. La empresa fue fundada en 1886 y es propiedad de la multinacional belga Anheuser-Busch InBev. Entre las marcas de cerveza que produce y comercializa se encuentran Gallo, Dorada, Moza, Victoria, Brahva y Monte Carlo, entre otras.

Por otro lado, la Cervecería Nacional es una empresa más pequeña en comparación con la Cervecería Centroamericana, aun así, es una de las principales cerveceras en Guatemala. Esta fue fundada en 1881 y es propiedad de la multinacional Heineken. Entre las marcas de cerveza que produce y comercializa se encuentran: Cristal, Heineken, Sol, Bavaria y otras marcas locales y regionales. La industria de la cerveza en Guatemala es muy grande y, año con año la competencia aumenta por la creación de nuevas variantes de esta bebida. El 42% de los consumidores la ingiere de forma frecuente y un 58% lo hace en ocasiones especiales (Dichter & Neira. 2016).

H. Descripción de pasos para producción de cerveza artesanal:

La producción de cerveza artesanal inicia durante el malteado donde los granos de cebada se germinan en condiciones controladas, se muele y macera para su posterior mezcla con agua y, se obtienen los azúcares fermentables. Como producto de estos procesos se obtiene el mosto, este contiene las partes fibrosas de los granos aun, debido a esto, se debe filtrar y realizar esta separación.

El proceso de molienda, rompe las las estructuras rígidas de celulosa de estas para liberar alfa amilasa y beta amilasa que ayuda a producir azúcares fermentables a partir de los altos contenidos de almidón de las mismas y que estos sean fermentables. Al proceso de esto se le llama maceración, en el que al llegar a un rango de entre 50 °C y 70 °C se da el mejor rendimiento de la misma. Por esto mismo se realiza la cocción a temperaturas controladas (García, 1965).

Las condiciones anaerobias son aquellas en las que no hay oxígeno disponible. En un ambiente anaerobio, los organismos utilizan otros compuestos químicos para obtener energía, como por ejemplo, el uso de azúcares para la fermentación. Estas son muy importantes, ya que el

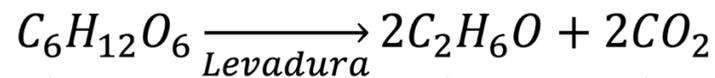
proceso de fermentación requiere un ambiente sin oxígeno. La levadura utilizada en la elaboración de la cerveza es un organismo anaerobio que utiliza azúcares presentes en el mosto para producir etanol y dióxido de carbono.

Si hay oxígeno presente durante el proceso de fermentación, esto puede causar que la levadura produzca sabores y aromas no deseados en la cerveza, afectando su calidad y sabor. Por lo tanto, la producción de cerveza requiere un ambiente anaerobio controlado para garantizar una fermentación adecuada y una cerveza de calidad.

La fermentación es el proceso en el que la levadura aprovecha los nutrientes de los azúcares en el mosto para producir CO₂ y Etanol (Cervecistas, 2019). Este fenómeno está regido por la siguiente ecuación:

I. Fermentación:

Figura No. 2: Reacción de fermentación anaeróbica.



(Castillo, 2005).

El proceso se lleva a cabo en fermentadores y estos equipos se dimensionan por medida de volumen. En los pasos finales se madura el líquido obtenido a baja temperatura para balancear el aroma y el sabor alcanzado. En el proceso de carbonatación se trabaja a bajas temperaturas ya que se fomenta la disolución de dióxido de carbono. Finalmente, en el envasado se protege el producto en envases de vidrio, puede ser en botellas de vidrio, latas o barriles. Estos tienen en común el impedimento del paso de luz y el cambio de temperatura con lo que se evita la descomposición del producto (Navas, 2021).

Existen muchos tipos de levaduras, estas han tenido usos en industria alimentaria desde muchos años. Estas son responsables de la fermentación alcohólica a partir de azúcares en ausencia de oxígeno. El vino, el pan y la cerveza son algunos de los productos que se obtienen de las reacciones que involucran levaduras. No obstante, existen más tipos de levaduras que son igualmente importantes entre ellas están:

- Kluyveromyces: Se utiliza para realizar fermentaciones de lactosa en la obtención de productos lácteos.

- Zygosaccharomyces: Se utiliza para fermentar medios con altas concentraciones de azúcares.
- Pichia: Son utilizadas en la producción de vino, se encuentran mayoritariamente en las cascaras de uvas.
- Debaromyces: Crece en las superficies de los quesos y de los embutidos.

J. Gluten:

El gluten es una proteína que se encuentra en algunos cereales como el trigo, la cebada y el centeno, así como en sus derivados como la harina, la malta y el pan. El gluten es responsable de dar elasticidad y consistencia a la masa de pan y otros productos horneados. Para algunas personas, el gluten puede ser un problema de salud, se estima que el 1% de las personas a nivel mundial tienen esta intolerancia hacia la proteína de los cereales (Alimmenta, 2021). En Guatemala un estudio realizado por una Universidad reconocida, denotó que 1 de cada 1000 casos en clínicas privadas cuenta con enfermedad celíaca y que estas rondan las edades de 31-50 años de edad donde las mujeres ocupan el 59% de los mismos. Las personas con enfermedad celíaca tienen una reacción inmunológica anormal al gluten que daña el revestimiento del intestino delgado, lo que puede llevar a problemas de absorción de nutrientes y otros problemas de salud.

También hay personas que experimentan sensibilidad al gluten no celíaca, que es una condición en la que experimentan síntomas similares a los de la enfermedad celíaca pero sin daño en el intestino delgado (Alimmenta, 2021).

Existen muchos alimentos que son naturalmente sin gluten y otros que están disponibles en versiones sin gluten. Aquí hay algunos ejemplos de alimentos sin gluten:

- Carnes frescas, pescado y mariscos
- Frutas y verduras frescas
- Legumbres como frijoles, lentejas y garbanzos
- Huevos
- Lácteos como leche, queso y yogur natural sin sabor
- Cereales sin gluten como arroz, maíz, quinoa, amaranto y trigo sarraceno
- Harinas sin gluten como la harina de arroz, de maíz, de almendra y de coco
- Panes y pastas sin gluten, hechos con harinas sin gluten

- Snacks y bocadillos como frutos secos, semillas, palitos de zanahoria y hummus

Es importante tener en cuenta que algunos alimentos procesados pueden contener gluten o estar contaminados con gluten durante la producción, por lo que es importante leer las etiquetas de los alimentos y buscar productos etiquetados como "sin gluten" para asegurarse de que son seguros para consumir. Como se mencionó previamente los granos como el arroz, maíz amaranto y quinoa son de los más populares en el ámbito de realización de cerveza artesanal sin gluten. En Europa los estándares que rigen la industria alimentaria dan la validación de "libre de gluten" a los alimentos que cumplen con concentraciones menores de las 100 partes por millón lo que es equivalente a 0.1 g/L de gluten en los mismos (Cavero, 2020). No obstante para los alimentos y bebidas reducidos en gluten no existe un límite fijo ya que este varía conforme a la ley local y las políticas de cada empresa (Cavero, 2020).

K. Enzimas

Las enzimas son proteínas que ayudan a catalizar reacciones, existen diversos tipos de enzimas y realizan diferentes funciones. Entre los tipos de enzimas que existen se encuentran:

Tipo de enzima	Función
Oxidorreductasas	Promueven las reacciones de óxido-reducción y la transferencia de electrones.
Transferasas	Ayudan en la transferencia de grupos funcionales
Hidrolasas	Cortan moléculas grandes con agua.
Liasas	Ayuda en la formación de moléculas.
Isomerasas	Aportan en la formación de isómeros.
Ligasas	Pegan las moléculas asociando a la inversión de energía requerida.

L. Expresión de velocidad de reacción utilizada:

Figura No. 3: Expresión de la velocidad de reacción por el modelo de Michaelis Menten.

$$V_0 = \frac{V_{max} [S]}{K_m + [S]}$$

M. Inmovilización de enzimas

La inmovilización de enzimas es una técnica que permite tener la enzima atrapada en una membrana o complejo y que esta actúe al tener contacto con el reactivo a catalizar. Este método tiene variantes que se pueden implementar, entre ellas están:

Unión química:

- Unión a soportes: se puede dar formando enlaces covalentes o por adsorción.
- Reticulado: puede ser reticulado puro, formando un solo complejo o un co-reticulado formando un complejo mixto.

Unión física:

- Confinamiento: se puede dar el confinamiento de la enzima en forma de esferas o en forma de fibras.
- Inclusión en membranas: se puede realizar por medio de encapsulación realizando perlas o en reactores de membrana.

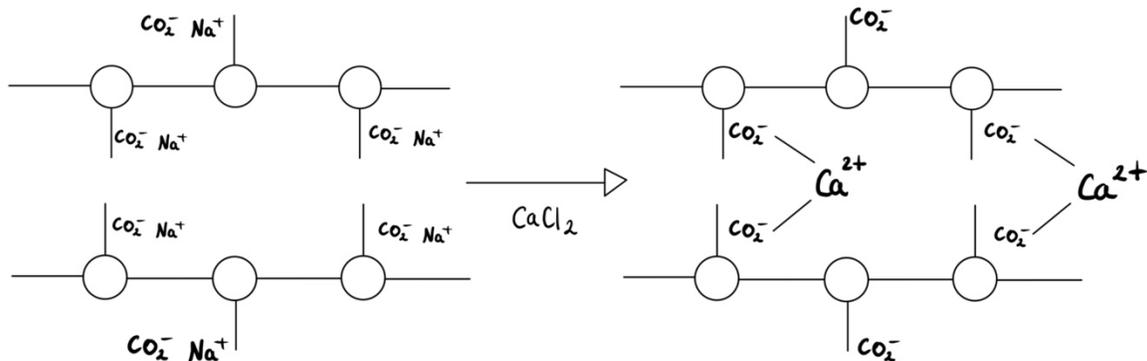
La inmovilización de enzimas en alginato de sodio es un método utilizado para fijar enzimas dentro de una matriz de alginato de sodio, un polisacárido derivado de las algas marinas. La técnica presenta varias ventajas en comparación con la utilización de enzimas libres en solución:

- Estabilidad: Las enzimas inmovilizadas en alginato de sodio son más estables que las enzimas libres, ya que están protegidas contra cambios de pH, temperatura y otros factores que podrían afectar su actividad.
- Reutilización: Las enzimas inmovilizadas pueden ser reutilizadas varias veces sin perder su actividad, lo que reduce el costo y la cantidad de enzimas necesarias para la producción.

- Fácil separación: Las enzimas inmovilizadas se pueden separar fácilmente de la solución, lo que facilita la recuperación y el reciclaje de la enzima y la eliminación de impurezas.
- Control de la liberación: El alginato de sodio es un material poroso que permite el paso de moléculas pequeñas y la liberación controlada de la enzima, lo que es beneficioso para aplicaciones terapéuticas y de biotecnología.
- Compatibilidad: El alginato de sodio es un material biocompatible y no tóxico, lo que lo hace seguro para su uso en aplicaciones médicas y de alimentos.

La inmovilización de enzimas en alginato de sodio se utiliza en diversas aplicaciones, como en la producción de alimentos, en la síntesis de productos químicos y en la terapia enzimática. La técnica de inmovilización es una estrategia eficaz y económica para mejorar la estabilidad y la actividad de las enzimas en diferentes procesos y aplicaciones (Hurtado, 2020).

Figura No. 4: Reacción de alginato de sodio con cloruro de calcio para esferificación.



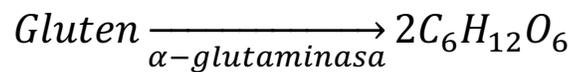
Es importante tener en cuenta que algunos alimentos procesados pueden contener gluten o estar contaminados con gluten durante la producción, por lo que es importante leer las etiquetas de los alimentos y buscar productos etiquetados como "sin gluten" para asegurarse de que son seguros para consumir. Como se mencionó previamente los granos como el arroz, maíz amaranto y quinoa son de los más populares en el ámbito de realización de cerveza artesanal sin gluten.

N. Reacción de catálisis enzimática del gluten:

La transglutaminasa es una enzima presente en el cuerpo humano y en muchos otros organismos, que juega un papel importante en la formación de enlaces cruzados entre proteínas. La

transglutaminasa se encuentra en diversos tejidos, como el hígado, el riñón, el cerebro, los pulmones, el corazón y el intestino, y también se produce en ciertos tipos de células inmunitarias. En el contexto de la enfermedad celíaca, la transglutaminasa tisular (TG2) es importante porque es el objetivo antigénico principal de los autoanticuerpos producidos por el sistema inmunitario de los pacientes celíacos. En presencia de gluten, los autoanticuerpos se unen a la TG2 y desencadenan una respuesta inmunitaria que daña el revestimiento del intestino delgado (Ferreira, 2008). Además, la transglutaminasa también se utiliza como ingrediente alimentario y aditivo en la industria alimentaria. En la industria alimentaria, la transglutaminasa se utiliza a menudo como agente de unión para mejorar la textura y la consistencia de los alimentos procesados, como los productos cárnicos y los productos de panadería (Barreiro, 2003). La catalisis de las gluteínas por medio de la enzima da como resultado azúcares que son aprovechables durante la fermentación.

Figura No. 5: Catálisis enzimática de Gluten



O. Refractometría:

La refractometría es comúnmente utilizada para la aplicación de medición de concentraciones en soluciones. Esta se mide por la refracción del haz de luz que pasa por una solución. Debido a ello, la refractometría es la característica óptica que tiene una sustancia acorde a las partículas disueltas en la misma. Los refractómetros son normalmente utilizados en industrias farmacéuticas, alimentarias, químicas y de bebidas. Para trabajar con refractometría se debe tener una solución de concentración conocida con la cual se realiza una curva característica. A partir de la misma se puede construir e ir determinando las concentraciones de las soluciones conforme se requiera (Ramírez, 2020). Cuando se tienen bajos índices de refracción y ya no se puede refractar más un haz de luz incidente, se tiene un ángulo crítico. Este está dado por la siguiente expresión:

Ecuación No. 1: Ángulo crítico:

$$\text{Sen}(q) = \frac{n_2}{n_1}$$

Donde:

n_2 : Corresponde al índice refractivo del medio de densidad inferior.

n_1 : Corresponde al índice refractivo del medio de densidad superior.

Normalmente cuando se trata de refractometría se relaciona a la unidad de medida de grados Brix. Los grados Brix son una escala de medición en porcentaje que permite verificar las concentraciones de sólidos disueltos. Esta escala de medición es de suma importancia para poder cuantificar azúcares, proteínas, sales, etc (Barbagelat, 2019).

V. ANTECEDENTES

Las cervecerías artesanales han tenido un crecimiento en los últimos años debido a que, muchos de los consumidores no están de acuerdo con las notas y aromas que obtienen al adquirir una cerveza comercial. Debido a esto, se inició el movimiento de cerveceros artesanales a nivel mundial.

La presencia de las enzimas en los procesos tanto industriales como artesanales es muy fuerte debido a que, sin ellas, la cerveza no se podría obtener. Es importante resaltar que las cervecerías comerciales han utilizado algunas técnicas con la inmovilización. Entre ellas se encuentran: la inmovilización de glucosa isomerasa: se emplea en el paso de fermentación para ayudar a convertir la glucosa en fructosa; y la azúcar que es más fácil de fermentar y, que ayuda a llegar a los tonos más dulces de la bebida.

Por otro lado, la enzima proteasa es ampliamente utilizada en inmovilización para realizar la descomposición de las proteínas no deseadas que, generan turbidez y sedimento dentro del fermentado a carbonatar. Esto le da un aporte a la cerveza, ya que no se desea que la misma tenga turbidez y, favorece a los segmentos del mercado no desean tomar su cerveza de esta manera. Esto es importante, ya que se denota que las enzimas inmovilizadas dentro de la industria pueden llegar a ser muy útiles. En cuanto a la producción de cerveza sin gluten, las industrias han optado por utilizar otros granos que no sean la cebada para elaborar las bebidas. No obstante, los maestros cerveceros y puristas no aceptan que otros granos sean presentados dentro de una cerveza, ya que la fórmula convencional y ortodoxa es la cebada, el lúpulo, la levadura, el azúcar y el agua.

VI. METODOLOGÍA

A. Inmovilización de la enzima.

Cuadro No. 7: Materiales y cristalería requeridos.

Cantidad	Equipo – Cristalería-Material	Capacidad
2	Beaker	500 ml
2	Ojo de reloj	NA
1	Estufa con agitación	0-500 RPM
1	Agitador magnético	NA
1	Jeringa	25 ml
1	Beaker	1000 ml
1	Filtro	-

Cuadro No. 8: Reactivos requeridos para inmovilización de enzima.

Reactivo	Cantidad (g)
Cloruro de calcio	2.00
Alginato	4.00
Enzima Transglutaminasa	2.10

- Preparar una solución de cloruro de calcio al 10% pesando 2 gramos de reactivo y diluyendo en beaker con 20 ml de agua destilada.
- Preparar solución de alginato de sodio, pesando 4 gramos de alginato para diluir en 20 ml de agua destilada.
- Colocar cada beaker de las soluciones previamente realizadas en una hornilla agitadora y activarle agitación.
- Preparar solución de Enzima Transglutaminasa, pesando 2.1 gramos de Enzima Transglutaminasa y diluir en beaker agregando 5 ml de agua.
- Agregar solución de enzima a solución de alginato.
- Continuar agitación hasta obtener consistencia uniforme.
- Al tener la solución de alginato y enzima con consistencia uniforme, trasvasar a una jeringa.

- En el beaker con la solución de cloruro de calcio, realizar el goteo lento con la jeringa cargada para la formación de perlas, asegurando una esfera consistente.
- Filtrar las perlas obtenidas con un papel filtro en uno de los beaker para separar de la solución de cloruro de calcio y lavarlas con agua destilada.
- Llevar las perlas a la cápsula de decantación para formar el lecho y alistarlas para el tratamiento de cerveza.

B. Producción de cerveza artesanal

Cuadro No. 9: Materiales y cristalería requeridos para producción de cerveza.

Cantidad	Equipo – Cristalería-Material	Capacidad
1	Estufa	1000 W
1	Cubeta graduada	24 L
1	Fermentador	24 L
1	Acqua Lock	NA
1	Manguera	NA
1	Sifón	Na
1	Olla de acero inoxidable	30 L
1	Malla	NA
1	Licuada	450 W
1	Hielera	40 L

Cuadro No. 10: Reactivos requeridos para elaboración de cerveza artesanal.

Material	Cantidad (g)
Cebada	4,082.33
Levadura	11.00
Lúpulo	256.00
Agua	19,500.00

- Moler 4,082.33 g de cebada para romper la cascarilla.
- Colocar la cebada molida en un recipiente e ingresarla a los 19,500 g de agua a 50-55 °C durante hora y media en una olla (maceración).
- Al finalizar la maceración se filtra en la malla, para separar la cascarilla.
- El mosto (la parte que no tiene la cascarilla) se lleva a cocimiento 85 °C en olla.
- Incorporar 256 g de lúpulo, agregandolos al minuto 45 de cocimiento.
- Agitar y terminar el cocimiento 15 minutos después.
- Se enfría la mezcla, llevandola a una hielera aplicando choque de calor con baño térmico en agua con hielos.
- Al llevar el mosto a 14 grados celsius, se lleva la mezcla al fermentador donde se agrega también la levadura, se debe tapar el fermentador y acoplar el aqualock con agua hasta su marca.
- La primera fermentación se lleva a 24°C durante 15 días verificando la formación de burbujas en el aqualock.
- Al finalizar los 15 días, se tendrán dos fases, una converveza (fase de arriba) y la fase de levadura muerta (fase de abajo)
- Separar la fase de la cerveza utilizando un sifón con el cuidado de no incorporar levadura muerta al recipiente con el producto final.
- Agregar la solución de azúcar a la cerveza y embotellarla para la fermentación secundaria.

C. Determinación de densidad

Cuadro No. 11: Materiales y cristalería requeridos para determinación de densidad.

Cantidad	Equipo – Cristalería- Material	Capacidad	±
1	Picnómetro	50 ml	0.500

Cuadro No. 12: Reactivos requeridos para inmovilización de enzima.

Reactivo	Cantidad (ml)
Cerveza sin gas	Acorde a picnómetro

- Lavar picnómetro y pesarlo.
- Se ingresa la cerveza desgasificada a a 20°C en el picnómetro previamente lavado y pesado hasta llevarlo a nivel.
- Pesarse picnómetro con la cerveza. Por diferencia de pesos se calcula el peso de la cerveza y con el volumen conocido del picnómetro se calcula la densidad.
- Se determinará también la densidad relativa con el cociente de la densidad relativa y la del agua destilada.

D. Reducción de niveles de gluten

Cuadro No. 13: Materiales y cristalería requeridos para reducción de niveles de gluten.

Cantidad	Equipo – Cristalería- Material	Capacidad	±
1	Cápsula de decantación	1 L	0.05
1	Beaker	1 L	0.05

Cuadro No. 14: Reactivos requeridos para inmovilización de enzima.

Reactivo	Cantidad (g)
Cerveza	325.00
Perlas de enzima	151.00

- Tomar una botella de cerveza y trasvasar la cerveza a un beaker.
- Desgasificar la cerveza con agitación.
- Añadir la cerveza desgasificada a la capsula de decantación que contiene las perlas de enzima.
- Tomar muestras en distintos tiempos. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y 60 minutos.

E. Determinación de gluten por medio de refractometría

Cuadro No. 15: Materiales y cristalería requeridos para determinación de gluten por medio de refractometría.

Cantidad	Equipo – Cristalería- Material	Capacidad	±
1	Refractómetro	1.3300-1.5080	0.0001
1	Pipeta	-	-
1	Piseta con agua destilada	-	-
1	Caja de kimwipes	-	-

- Preparar el refractómetro.
- Realizar el blanco con agua destilada.
- Limpiar el lente con Kimwipes.
- Ingresar la muestra al lente con una pipeta.
- Realizar la medición.
- Repetir para las demás muestras.
- Elaborar la curva de índices de refracción vs tiempo.

F. Determinación de alcohol

Cuadro No. 16: Materiales y cristalería requeridos para determinación de niveles de alcohol.

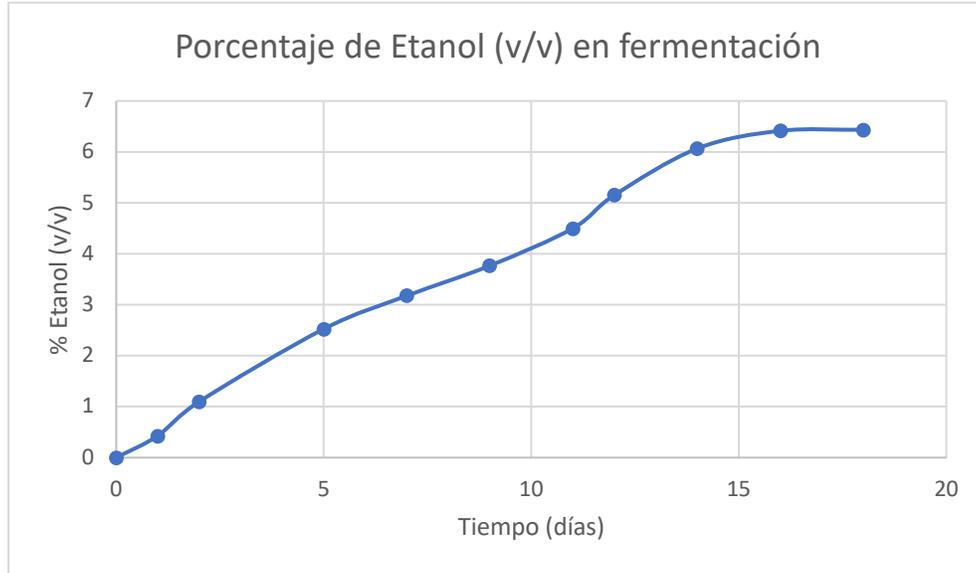
Cantidad	Equipo – Cristalería-Material	Capacidad
1	Pipeta graduada	10 ml
1	Bulbo	NA
1	Tubo con tapadera	5 ml
1	Balon aforado	10ml

- Muestrear el fermento cada día extrayendo fermento con la pipeta graduada y guardando en el tubo con tapadera durante 18 días y llevar a análisis de HPLC.

- Preparar una solución estándar de etanol al 50% v/v agregando 5ml de etanol absoluto y 5 ml de agua destilada al llegar al afor del balón.
- Realizar la medición en el equipo de HPLC.
- Al tener el blanco, realizar la medición de la cerveza desgasificada.

VII. RESULTADOS

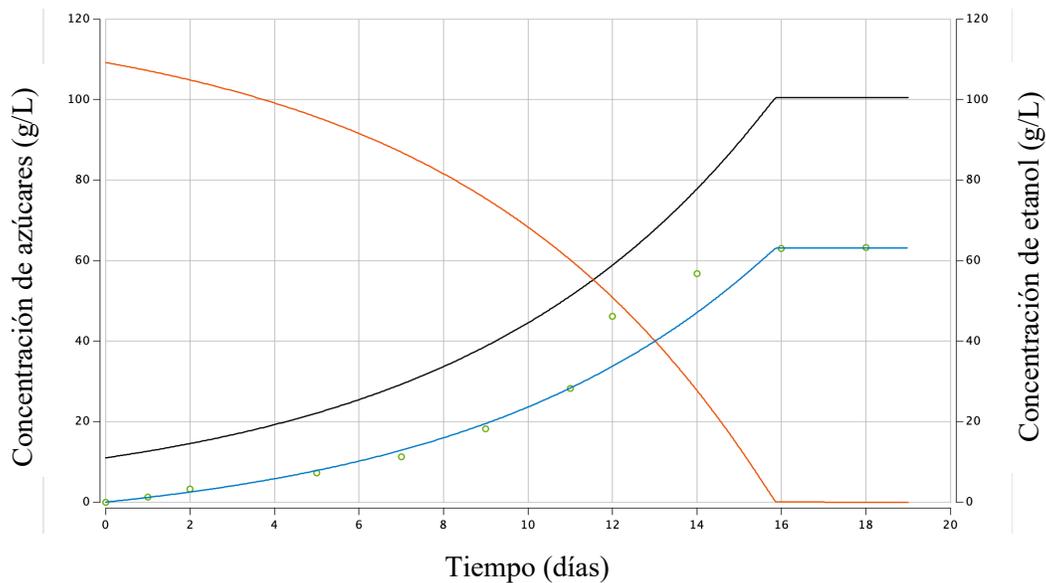
Figura No. 6: Concentración de etanol (% v/v) vs tiempo durante fermentación de cerveza tipo IPA.



Cuadro No. 17 : Concentraciones de lúpulo Cascade y Centennial en cerveza teórica y cerveza obtenida.

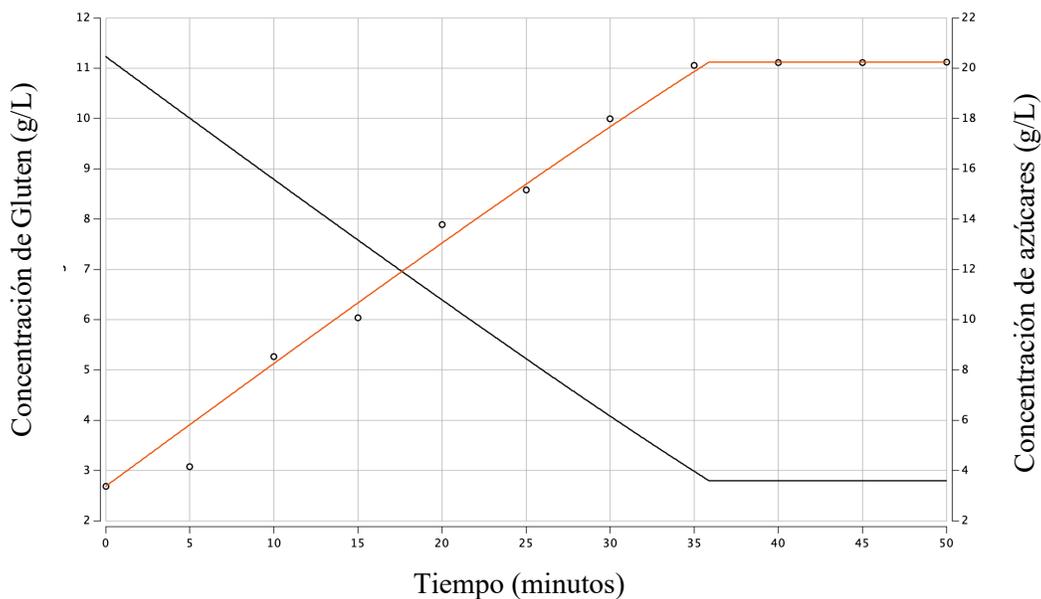
Lúpulo Centennial y Cascade		
Concentración teórica (g/L)	Concentración experimental (g/L)	±
14.00	11.63	0.45

Figura No. 7: Diagrama de comportamiento cinético de la fermentación.



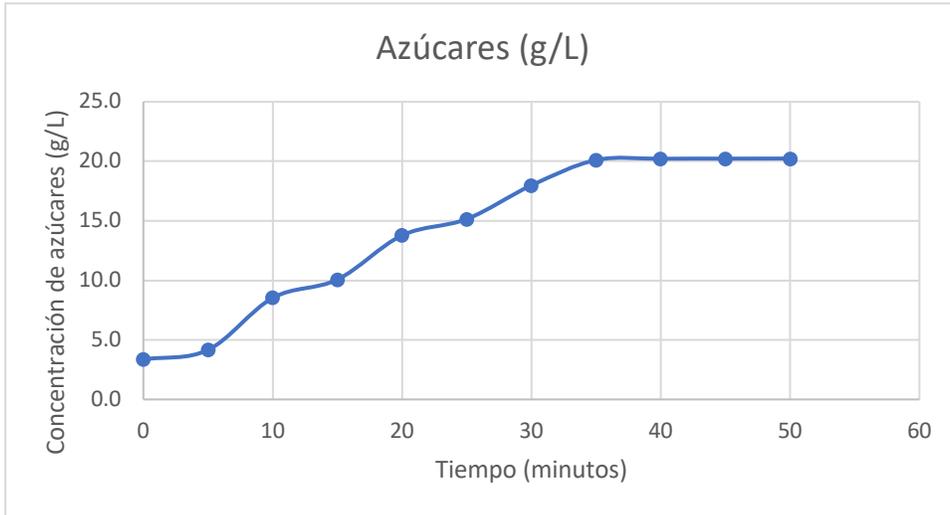
La Figura No. 7 Describe la cinética de la fermentación y la generación de etanol conforme el consumo de azúcares iniciales.

Figura No. 8 Diagrama de comportamiento cinético de catalisis enzimatica de Gluten a azúcares.



La Figura No. 8 Describe el comportamiento de la catálisis enzimática realizada para la transformación de gluten en azúcares.

Figura No. 9 Curva de azúcares obtenidos en los diferentes tiempos de retención.



La Figura No. 9 Describe el comportamiento de los azúcares conforme el tiempo de retención en el lecho de la enzima transglutaminasa inmovilizada.

Figura No. 10 Curva de índice de refracción para cerveza con gluten, sin gluten y promediado.

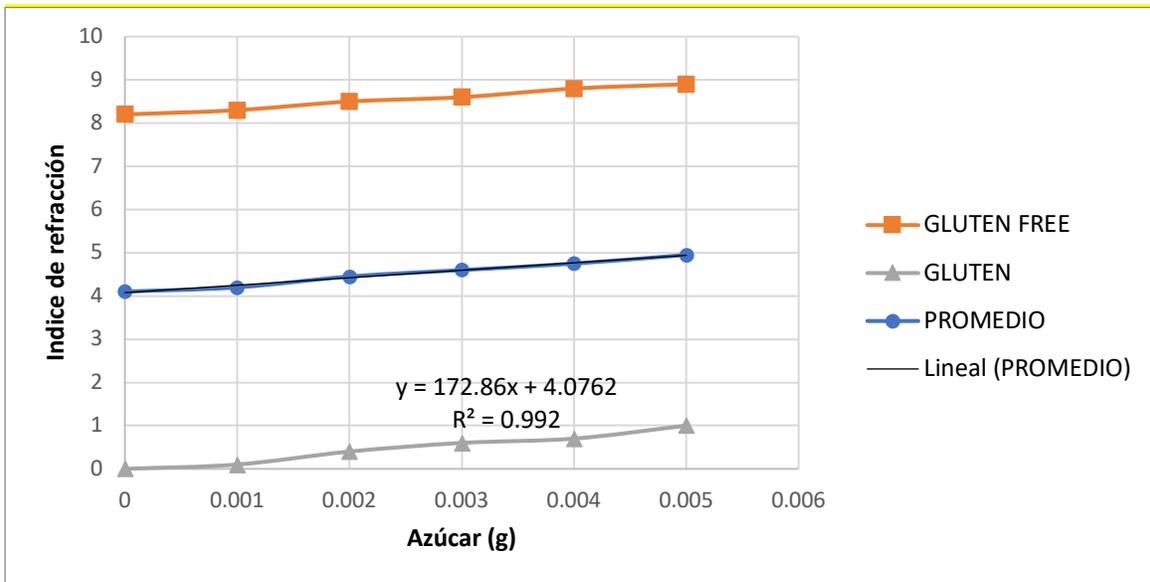
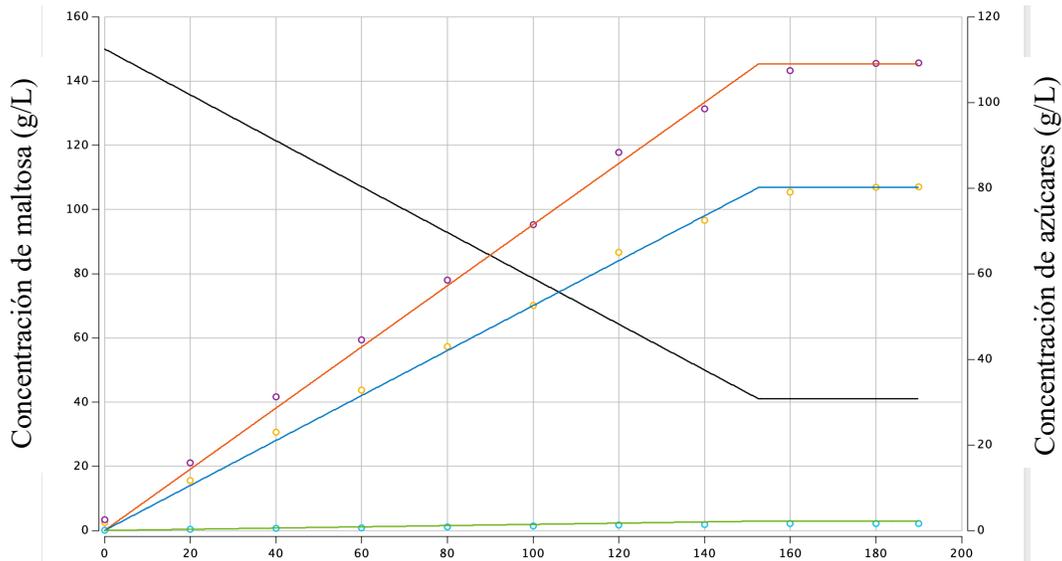


Figura No. 11: Diagrama de comportamiento cinético-enzimática de la conversión de maltosa en azúcares.



La Figura No. 11 Describe la cinética enzimática de la conversión de maltosa en azúcares tras la maceración de la malta.

Cuadro No. 18 Reducción de gluten con correlación de balance de masa y refractometría.

<i>INICIAL</i>			<i>FINAL</i>			<i>Porcentaje de reducción</i>	<i>Incertidumbre (±)</i>
<i>Gluten en cebada (% m/m)</i>	<i>Gluten en cerveza (g/L)</i>	<i>Incertidumbre (±)</i>	<i>Gluten en cebada (% m/m)</i>	<i>Gluten en cerveza (g/L)</i>	<i>Incertidumbre (±)</i>		
3.22%	11.23	0.45	0.87%	1.52	0.45	86.64	0.01

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue producir una cerveza de tipo Indian Pale Ale (IPA) con niveles reducidos de gluten. Para ello, se inició con la producción de la cerveza tipo IPA; se seleccionó esta variante de cerveza debido a su popularidad (Kross, 2022). Para la producción, se trabajó con una cebada de tipo blonde, levadura tipo *Saccharomyces cerevisiae* y lúpulos de variedad Centennial y Cascade. Los dos tipos de lúpulos son específicos para la producción de esta cerveza y las concentraciones a las que se deben agregar se describen en el Cuadro No. 3. La concentración de lúpulo centennial y cascade fue de 11.63 g/L \pm 0.45, la concentración está dentro del rango, garantizando así que las bases de la cerveza son las correctas.

La cebada fue recibida a granel. Esto implicó llevarla a un proceso de molienda donde se rompió la cascarilla para la liberación de los almidones contenidos por la misma. Este paso fue clave debido a que en el proceso de maceración se deben obtener los azúcares fermentables a través de la amilasa que también es contenida en la cebada. Continuamente, en la maceración se llevó la cebada molida en solución con 24 litros de agua a un rango entre 50-55 °C durante una hora. Este proceso facilita la operación óptima de la amilasa que produce los azúcares fermentables a partir del almidón previamente liberado.

Tras ello se llevó a cabo el proceso de cocimiento a 100°C y adiciones de Lúpulo, se procedió a la remoción de la cascarilla con una malla fina específica para las temperaturas de operación. Se debió realizar un enfriamiento por medio de inmersión en agua a 0°C. Este proceso permitió la temperatura del mosto de 100 hasta 14 °C. Esto fue de alta importancia ya que la levadura utilizada es específica para un rango de operación de 10 - 25 °C, de lo contrario esta moriría sin poder llevar a cabo la fermentación.

Tras la primera cocción, se obtuvo un total de azúcares fermentables de 140 g/L ; esto es un parámetro que fue clave para el paso posterior de la fermentación, ya que permitió obtener un grado de alcohol acorde a las especificaciones de la cerveza de tipo IPA. La fermentación se dividió en dos partes, la primera fue de 15 días en el reactor y la segunda 15 días dentro de la botella. La primera etapa concluyó cuando la muestra no presentó azúcares, es decir, la levadura los consumió para generar etanol. Posteriormente, por medio del hidrómetro, se determinó una

concentración de 6.1% v/v de alcohol en la cerveza, al comparar con los parámetros requeridos para este tipo de cervezas se corroboró que está en el rango adecuado de 5 – 7 % v/v de etanol característico de este tipo de cerveza. Antes de la segunda fermentación fue necesario separar la levadura muerta asentada en el fondo del reactor para ello se hizo una separación de fases con sifón extrayendo la cerveza (Fase superior). Esto se realizó ya que la levadura tiende a ser acida y genera sabores y tonalidades que no se quieren en el producto final. Posteriormente la segunda fermentación ocurrió dentro de la botella para aprovechar la generación de CO₂ ya que la carbonatación es esperada para este tipo de bebida. Se obtuvieron 23.406 L de cerveza, a este volumen fue agregado 6.06 g/L de azúcar lo que da un total de 142 gramos de azúcar. Esto se realizó para que la levadura que aun estuviera viva pudiera realizar la segunda fermentación. La cerveza con el azúcar agregado se embotelló para asegurar las condiciones anaeróbicas requeridas y capturar el gas dentro de la bebida. Se considera que en los 15 días posteriores se dio por finalizada la fermentación esto debido a que la levadura remanente consumió el azúcar agregado y se asentó en la botella. Se tomó una muestra de la cerveza de 10 ml y de 13 botellas y se encontró una concentración de 7% v/v de alcohol confirmando que está dentro de los parámetros de una IPA. Además de la concentración de lúpulos y grado de alcohol, se probó la cerveza

El parámetro de azúcar para carbonatación es de 7 g por litro de cerveza. La cerveza obtenida tuvo un grado muy alto de gasificación, esto debido a que, durante la fermentación secundaria en la botella para la obtención del dióxido de carbono natural, se implementó 10 g de azúcar por litro de cerveza, no obstante, esto se mitigó al dejar reposar un minuto antes de servir. En cuanto a los tonos, los aromas y los sabores de esta al realizar las pruebas organolépticas, la cerveza presentó un cuerpo robusto con fuerte amargor y dulzura; su color fue rojizo como lo es característico en las cervezas de su tipo y; la recepción de los consumidores fue alta. Las notas que fueron mejor recibidas fueron aromas frutales y alto amargor característicos de este tipo de cerveza.

Al tener embotellada la cerveza con las características correspondientes, se procedió a reducir sus niveles de gluten. Para ello se realizó un tratamiento con enzima alfa transglutaminasa inmovilizada en matriz de alginato, se verificaron los niveles previos y posteriores de azúcares para realizar la aproximación de la conversión obtenida y así, plantear la disminución de gluten.

Se inició por inmovilizar la enzima. Para que la enzima actúe debe estar en contacto con el producto en condiciones favorables para su operación óptima, esto se puede lograr mezclándola con la cerveza y llegando a la temperatura de operación, no obstante, esta puede cambiar el sabor y los tonos de la cerveza obtenida, por lo tanto, se debe llevar a cabo la reacción y posteriormente separar la enzima de la cerveza. Es por esto por lo que, se decidió trabajar por el método de inmovilización ya que este permite poner en contacto la enzima con la cerveza sin tener que mezclarlas y por lo tanto no se requiere un proceso de separación al final del tratamiento.

La enzima escogida para el tratamiento fue Alfa-transglutaminasa, esta enzima se encarga de catalizar las moléculas de gluten de los alimentos, es decir, transformar la proteína de gluten en azúcares lo que disminuye los niveles del gluten. Al inmovilizar la enzima se obtendrán perlas (matriz) que contienen la enzima pero que no serán solubles en la cerveza. Se inmovilizaron 51 g de enzima en una solución de alginato de sodio al 10% p/p. Se utilizó alginato de sodio porque es grado alimenticio, permite la formación de gel con la enzima (la captura) y la matriz que formará será porosa. A pesar de tener la enzima inmovilizada en el gel, se necesita una mayor área de contacto de la enzima con la cerveza para la correcta reducción de los niveles de gluten, por lo que se opta por formar perlas esféricas que tienen mayor área superficial y siguen siendo fáciles de remover tras el tratamiento. Para la formación de las perlas, se realizó goteo del gel en una solución de cloruro de calcio al 20% p/p. Para poder gotear el gel se requiere inducir su movimiento a presión controlando el flujo de salida, esto se realizó con una jeringa y la solución de cloruro de calcio ya que las perlas no son solubles en este, el calcio une las moléculas generando tensión de estas y permite la formación de perlas como se aprecia en la Figura No. 4.

Ya obtenida la matriz se puso en contacto con la cerveza en una capsula de decantación porque permite el ingreso de las perlas en su boquilla superior, tiene la capacidad de contener el volumen deseado de cerveza y la válvula de la boquilla inferior tiene una apertura pequeña por lo que las perlas se retienen en la misma y así se separan del producto fácilmente. El tiempo de contacto óptimo que se encontró fue de 35 minutos, se realizaron mediciones cada 5 minutos de niveles de azúcar por refractometría debido a que la enzima reduce el gluten en azúcares por lo tanto medir el aumento de la concentración de azúcares en la cerveza es medir indirectamente la reducción del gluten en la misma. Con estas mediciones se determinó que a partir del minuto 35 no aumentaron los niveles de azúcares como se observa en la Figura No. 2 Se utilizó un

refractómetro debido a que, si bien, no nos da una relación directa, nos da un índice de refracción con el que se puede relacionar teniendo la curva de calibración

Se asumió una concentración de gluten inicial de la cerveza de 11.23 g/L debido a que este es el promedio del rango que tiene una cerveza de tipo IPA (Cerveceros, 2021). Al realizar el tratamiento de esta con la enzima alfa transglutaminasa inmovilizada, se obtuvo un porcentaje de gluten de 1.52 g/L. Este es el resultado de utilizar el cambio de concentración de azúcar con la reacción del Gluten con la alfa transglutaminasa; con esto se puede transformar los cambios de concentración de azúcar obtenido a gluten para así restarlo de la concentración inicial. Este cambio en la concentración de gluten representa un porcentaje de remoción de $86.46\% \pm 0.01$ del valor inicial.

Para el lote obtenido de cerveza, se realizó la catálisis enzimática del gluten obteniendo una constante de Michaelis Menten de 0.6434 g/L con una velocidad máxima de reacción de 0.26 g/L. Cabe resaltar que, el comportamiento de la enzima, como se observa en la Figura No. 2, no fue apegada al modelo de Michaelis Menten, debido a que cuando esta inmovilizada el comportamiento cambia.

IX. CONCLUSIONES

- Se produjo un lote de 23.6 L de cerveza tipo IPA con 6.10 % v/v ± 0.053 de alcohol para realizar el tratamiento de reducción de gluten con la enzima transglutaminasa inmovilizada.
- Se inmovilizaron 51.00 g ± 0.01 de la enzima transglutaminasa en matriz de alginato de sodio y se construyó la columna empacada para realizar los tratamientos de la cerveza.
- Se determinó una concentración final de gluten de 1.52 g/L ± 0.54 en la cerveza tras el tratamiento por medio de la correlación refractométrica empleada lo que significó una remoción del 86.46% ± 0.010 del contenido original teórico.
- Se realizó la catálisis enzimática del gluten obteniendo una constante de Michaelis-Menten de 0.64 g/L ± 0.54 con una velocidad máxima de reacción de 0.26 g/L ± 0.54 para la enzima inmovilizada.

X. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar un kit de determinación de gluten ELISA para complementar el estudio del comportamiento del gluten en la cerveza.
- Se recomienda generar diferentes matrices para la inmovilización de la enzima para así, determinar si al variar el medio de contención de la misma, cambian aspectos como la velocidad de reacción y la eficiencia de remoción.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Alimmenta. (2021). *Intolerancia al gluten | Dieta y alimentación - Alimenta. Alimmenta, dietistas-nutricionistas*. Recuperado de: [https://www.alimmenta.com/dietas/intolerancia-al-gluten-celiquia/#:~:text=La%20intolerancia%20al%20gluten%20o,\(proporci%C3%B3n%20%3A1\).](https://www.alimmenta.com/dietas/intolerancia-al-gluten-celiquia/#:~:text=La%20intolerancia%20al%20gluten%20o,(proporci%C3%B3n%20%3A1).)

Barbagelata, R., Fuentes, V., & Baschini, M. (2019) *Grados Brix (índice refractométrico): Concepto Físicoquímico Aplicado a la Resolución de un Problema Agronómico*. *INDUSTRIA & QUÍMICA*, 11.

Barreiro, F. J., & Seselovsky, R. (2003). *Usos de la transglutaminasa en la industria alimentaria*. *Elaboración de carne reconstituida*. *Invenio*, 6(10), 157-164.

Castillo, G., Altuna, B., Michelena, G., Sánchez Bravo, J., & Acosta Echevarría, M. (2005). *Cuantificación del contenido de ácido indolacético (AIA) en un caldo de fermentación microbiana*. *Anales de Biología*, 27, 2005.

Cavero Bravo, M. A., & Saenz Peralta, D. V (2020). *Análisis del uso y consumo de alimentos aptos para celíacos en la oferta gastronómica a nivel mundial*.

Cerveceros, E. (2021). *India pale ale Inglesa. elabora una auténtica cerveza English IPA. Hacer Cerveza Artesanal*. <https://hacercervezaartesanal.com/receta-cerveza-india-pale-ale-ipa/>

Cerveceistas. (2019). *El proceso de fabricación de la cerveza*. Recuperado de: <https://www.loscervecistas.es/el-proceso-de-fabricacion-de-la-cerveza/>

Dichter & Neira. (2016). *Guerra de Cervezas en Guatemala*. Recuperado de: https://www.dichter-neira.com/wp-content/uploads/2016/01/Insider_GT_EN-1.pdf.

Fernández, J. R. M. (2007). *Desarrollo de cuatro sistemas de PCR cuantitativa en tiempo real para la cuantificación y caracterización de ADN de trigo, de cebada y de centeno en alimentos "sin gluten" para celíacos*. (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid).

Ferreira, S., Chamorro, M. E., Ortíz, J., Carpinelli, M. M., Giménez, V., & Langjahr, P. (2018). *Anticuerpo anti-transglutaminasa tisular en adultos con enfermedad celíaca y su relación con la*

presencia y duración de la dieta libre de gluten. Revista de Gastroenterología del Perú, 38(3), 228-233.

García Olmedo, F. (1965). *El malteo de la cebada. Cereales, (174), 17-20.*

Hurtado, A., Selgas Sanchis, R., & Serrano Aroca, Á. (2020). *El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. Nereis, (12), 137-149.*

Kross. (2022, 29 marzo). *Cerveza IPA: significado, origen y su boom artesanal.* WordPress. <https://www.kross.cl/blog/post/cerveza-ipa>

Navas Martínez, M. G. (2021). *Estudio de factibilidad para la implementación de una microcervecería de cerveza artesanal tipo Weißbier-Paulaner, en el cantón Ambato en la provincia de Tungurahua.* Universidad Técnica de Ambato.

Ramírez, A., Suárez, F. E. M., Mora, M., & Meneses, H. (2020) *Refractometría y Polarimetría.*

Sevebrau. (2022). *Todo sobre la cerveza IPA: significado, origen, sabor y mejores IPAs.* Sevebrau Cerveza Artesana. <https://www.sevebrau.com/todo-sobre-la-cerveza-ipa-significado-origen-sabor-y-mejorespacks/#:~:text=La%20EX1%20IPA%20Sevebrau%2C%20es,cada%201.000%20litros%20de%20cerveza.>

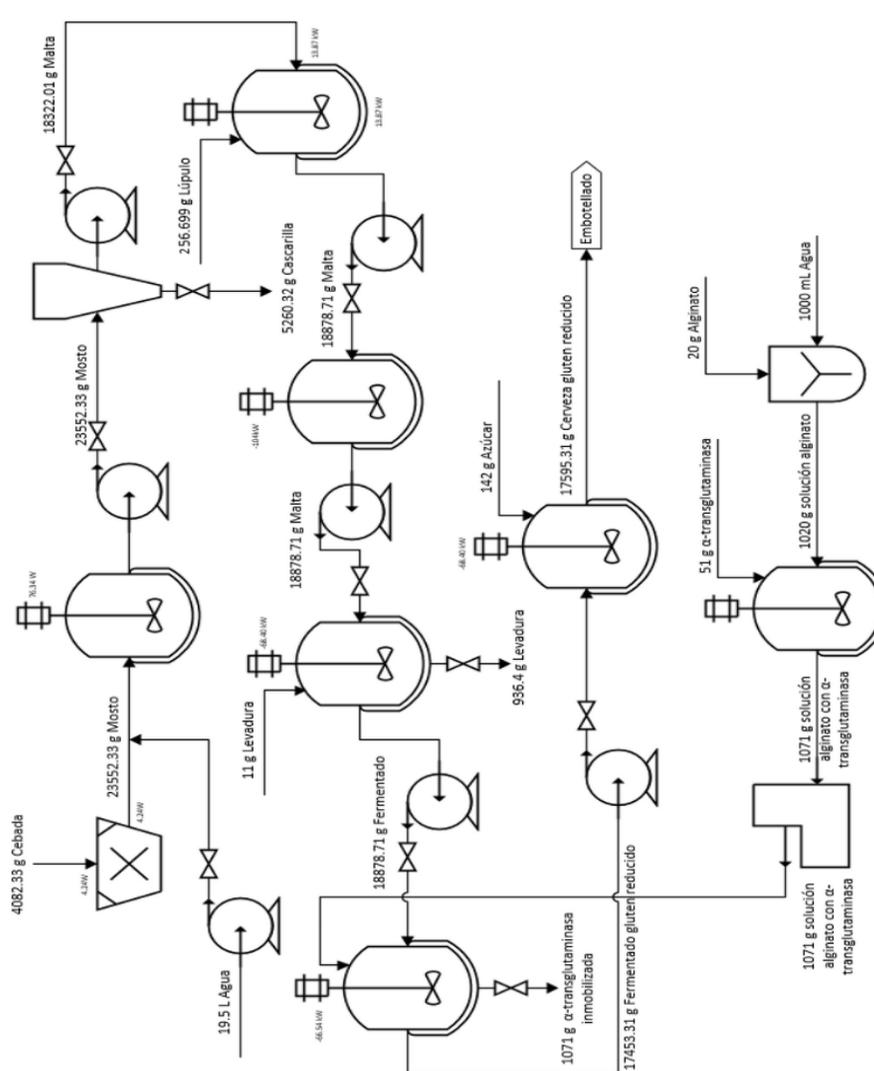
XII. ANEXOS

A. Datos originales

Cuadro No. 19: Cantidad de implementos iniciales:

Material	Masa (g)
Cebada	4,082.33
Levadura	11.00
Lupulo	11.63
Agua	19,500.00

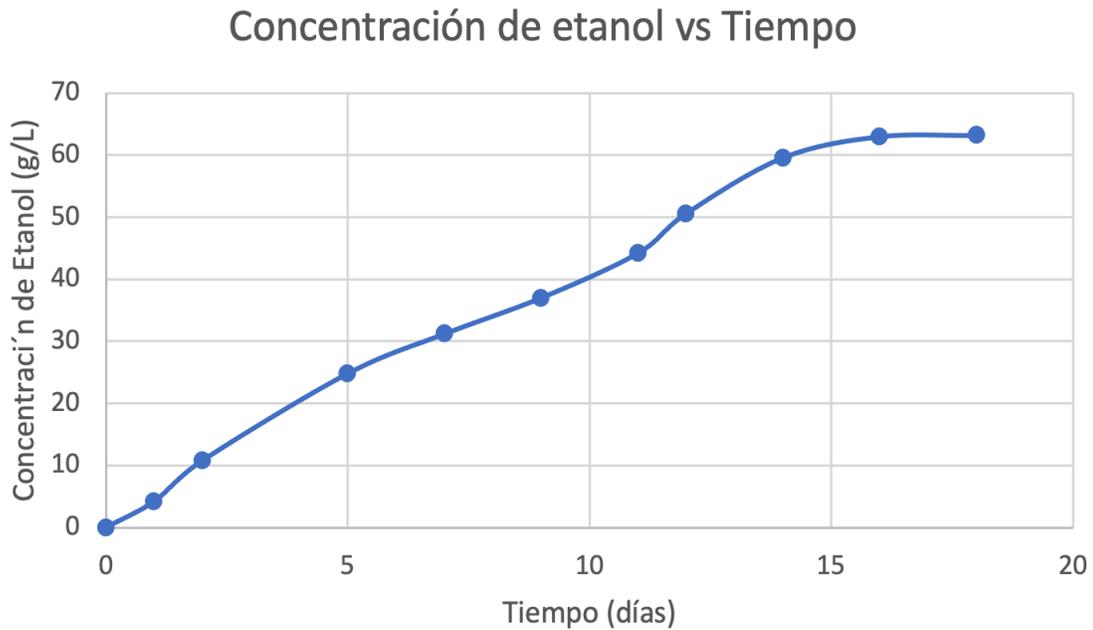
Figura No. 12: Diagrama de proceso con balance de masa.



Cuadro No. 20: Formación de etanol durante la fermentación de mosto.

Tiempo (días)	Etanol (g/L)	% v/v
0	0	0
1	0.2	0.253485425
2	0.22	0.278833967
5	1	1.267427123
7	1.7	2.154626109
9	2	2.534854246
11	2.7	3.422053232
12	3.3	4.182509506
14	3.7	4.689480355
16	4.5	5.703422053
18	5.00	6.337135615

Figura No. 13: Formación de etanol durante la fermentación.



Cuadro No. 21: Índices de refracción para catalisis de gluten.

Tiempo	Tiempo (min)	Índice de refracción
0	Gluten	6.7
5	5	7.1
10	10	7.5
15	15	7.8
20	20	7.9
25	25	8
30	30	8.1
35	35	8.1
40	40	8.2
45	45	8.2
50	REDUCIDO	8.2

B. Cálculos de muestra

Cálculo No. 1: Porcentaje removido de Gluten

$$\% \text{ Removido} = \frac{(\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final})}{\text{Concentración inicial}}$$

$$\% \text{ Removido} = \frac{\left(11.23 \frac{g}{L} - 1.52 \frac{g}{L}\right)}{11.23 \frac{g}{L}}$$

Cálculo No. 2: Preparación de 20 mL de solución de alginato al 2%:

$$20 \text{ mL Solución Alginato} \cdot \frac{2\%}{100\%} \cdot \frac{1 \text{ g Alginato}}{1 \text{ mL Solución Alginato}} = 0.4 \text{ g Alginato en 20 mL de Agua}$$

Cálculo No. 4: Preparación de 100 ml solución de transglutaminasa 10% (P/V)

Cálculo No. 3: Preparación de 150 mL solución de $CaCl_2$ al 10%:

$$150 \text{ mL Solución } CaCl_2 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{2.15 \text{ g}}{1 \text{ mL Solución } CaCl_2} = 10.75 \text{ g } CaCl_2 \text{ en 150 mL de Agua}$$

$$100 \text{ ml H}_2\text{O} * \frac{10 \text{ g Enzima}}{100 \text{ ml H}_2\text{O}} = 10 \text{ g enzima Alfa transglutaminasa}$$

Cálculo No. 5: Conversión de etanol en g/L a % v/v

$$\% \left(\frac{V}{V} \right) = \frac{63.2 \frac{\text{g etanol}}{\text{l solución}}}{982.3 \frac{\text{g}}{\text{L solución}}} * 100\% = 6.43\% \text{ etanol v/v}$$

C. Datos calculados

Cuadro No. 22: Porcentaje v/v de etanol en fermento

Tiempo (días)	% v/v
0	0
1	0.253485425
2	0.278833967
5	1.267427123
7	2.154626109
9	2.534854246
11	3.422053232
12	4.182509506
14	4.689480355
16	5.703422053
18	6.337135615

Cuadro No. 23: Azúcares obtenida con curva de calibración

Azúcar (g)	Azúcar (g/L)
0.03366667	3.3667
0.03566667	4.1580
0.01980716	8.5313
0.0215427	10.0683
0.02212121	13.7804
0.02269972	15.1504
0.02327824	17.9782
0.02327824	20.1061
9.8039E-05	20.2159
9.8039E-05	20.2257
9.8039E-05	20.2355

D. Analisis de error

Ecuación No. 1: Incertidumbre de multiplicaciones y divisiones:

$$S_y = y * \left(\left(\frac{S_a}{a} \right)^2 + \left(\frac{S_b}{b} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Incertidumbre porcentaje de gluten removido:

$$S_y = 86.64\% * \left(\left(\frac{0.0005}{11.23} \right)^2 + \left(\frac{0.0005}{1.52} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \pm 0.000468804962039051$$

Ecuación No. 2: Incertidumbre de sumas y restas

$$S_y = ((S_a)^2 + (S_b)^2)^{\frac{1}{2}}$$

Incertidumbre para solución de Alginato:

$$S_y = ((0.005)^2 + (0.005)^2)^{\frac{1}{2}} \\ = \pm 0.125$$

E. Especificaciones técnicas del equipo

Cuadro No. 24: Especificaciones de fermentador.

Capacidad (L)	25
Marca	True Brew

Cuadro No. 25: Especificaciones de molino.

Capacidad (W)	450
Marca	Oster
Voltaje (V)	120

Cuadro No. 26: Especificaciones de estufa.

Capacidad (W)	1000
Marca	LG
Voltaje (V)	240

Cuadro No. 27: Especificaciones de termómetro

Marca	Generico
Capacidad (°C)	0-100

Cuadro No. 28: Especificaciones refractómetro

Marca	Hanna Instruments,
Modelo	H6813

F. Registro gráfico de experimentación

Figura No. 14: Kit de producción de cerveza



Figura No. 15: Correlación de alcohol por volumen.

BSG
Select Ingredients

Select Ingredients

GRAVITY BY VOLUME

FORMULA: % A.B.V. = (O.G. - F.G.) x 131

GRAVITY PRE-FERMENTATION (ORIGINAL GRAVITY, O.G.)

	1.000	1.040	1.065	1.080	1.095	1.100	1.105	1.110	1.115	1.120	1.125	1.130	1.135	1.140	1.145	1.150	1.155	1.160	1.165	1.170	1.175	1.180	1.185	1.190	1.195	1.200																										
1.000	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																									
1.040	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																								
1.065	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																							
1.080	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																						
1.095	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																					
1.100	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																				
1.105	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																			
1.110	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																		
1.115	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																	
1.120	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76																
1.125	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76															
1.130	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76														
1.135	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76													
1.140	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76												
1.145	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76											
1.150	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76										
1.155	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76									
1.160	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76								
1.165	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76							
1.170	71.44	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76						
1.175	75.20	71.44	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76					
1.180	78.96	75.20	71.44	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76				
1.185	82.72	78.96	75.20	71.44	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76			
1.190	86.48	82.72	78.96	75.20	71.44	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76		
1.195	90.24	86.48	82.72	78.96	75.20	71.44	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76	
1.200	94.00	90.24	86.48	82.72	78.96	75.20	71.44	67.68	63.92	60.16	56.40	52.64	48.88	45.12	41.36	37.60	33.84	30.08	26.32	22.56	18.80	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	3.76	7.52	11.28	15.04	18.80	22.56	26.32	30.08	33.84	37.60	41.36	45.12	48.88	52.64	56.40	60.16	63.92	67.68	71.44	75.20	78.96	82.72	86.48	90.24	94.00	97.76

BUCKET
GALLONS (24.6 L)

BSG
Brewing Systems Group

Figura No. 16: Fermentador



Figura No. 17: Sifón



Figura No. 18: Termómetro utilizado



Figura No. 19 Malla para separación de cascarilla.



Figura No. 20: Levadura Saf Ale S-04



Figura No. 21: Lúpulos utilizados.



Figura No. 22: Colocador de tapaderas.



Figura No. 23: Limpiador para esterilizar.

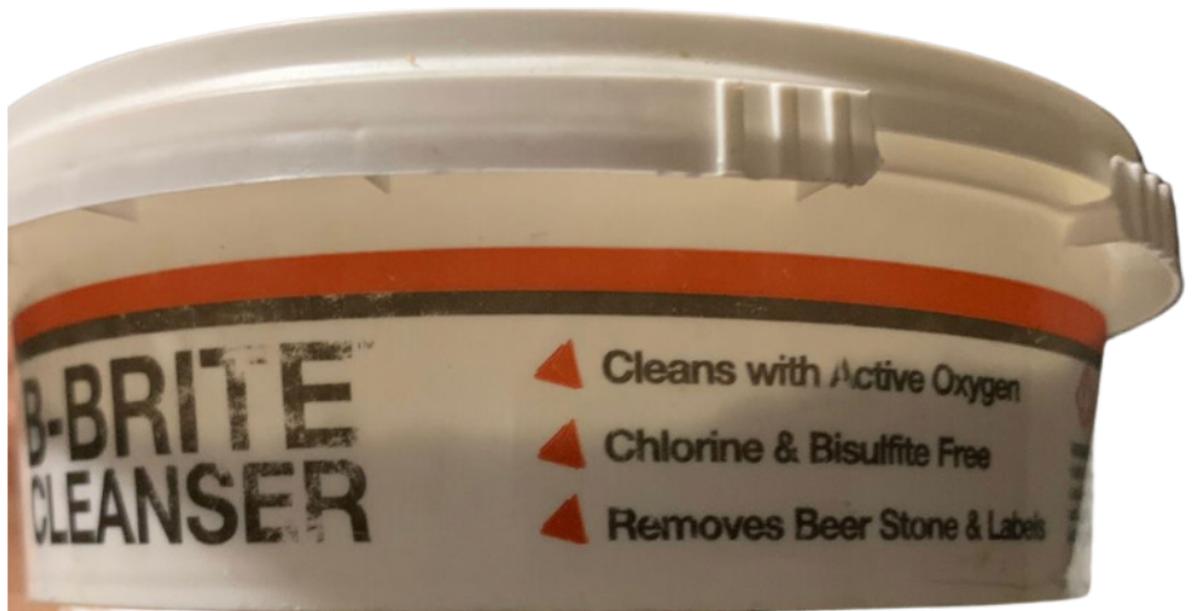


Figura No. 24: Recursos y conversiones.

A - Handy measurements and conversions

Volume

1 US Gallon = 3.785 Liters

1 US Gallon = 4 Quarts

1 US Gallon = 8 Pints

1 Quart = 2 Pints

1 Pint = 2 Cups

1 Cup = 16 Tablespoons

Weight

1 Pound = 16 Ounces

1 Pound = 453 Grams

1 Ounce = 28 Grams

2.2 Pounds = 1 Kilogram

Temperature

212° Fahrenheit = 100° Celsius

100° Fahrenheit = 38° Celsius

75° Fahrenheit = 24° Celsius

65° Fahrenheit = 18° Celsius

32° Fahrenheit = 0° Celsius

Figura No. 25: Manual de uso de hidrómetro de triple escala

#6800
 T R I P L E S C A L E H Y D R O M E T E R

#6800 Triple Scale Beer & Wine Hydrometer 60° F. (Made in the USA)

Ranges:	Specific Gravity	0.990 - 1.170
	Balling or Brix	0 - 38% sugar by weight
	Potential Alcohol by Volume	0 - 22%

A hydrometer measures the weight of a liquid in relation to water. Sugar and other fermentable solids add to the density of water, raising the specific gravity. As fermentation takes place, solids are converted to alcohol, lowering gravity. Specific gravity is therefore a useful indication of fermentation potential prior to yeast introduction, and, by comparison with beginning readings, an accurate final indication of the fermentation results.

Water, by definition, has a specific gravity of 1.000. Unfermented beer or wine (wort or must), since they contain fairly high levels of fermentable solids, will have specific gravities higher than 1.000, sometimes reaching as high as 1.170.

The different scales on a hydrometer interpret the specific gravity of a liquid in several useful formats:

The BALLING or BRIX scale shows the percentage of sugar by weight.

The ALCOHOL scale indicates potential alcohol. In order to determine the alcohol content of a wine or beer, you will need to take two readings: one before fermentation commences and one after fermentation is complete.

For Example:	Beer:	1 st reading	6%	Wine:	1 st reading	16%
		2 nd reading	-1%		2 nd reading	-4%
		Alcohol content 5%			Alcohol content 12%	

To use your hydrometer put a sample of the test liquid in a hydrometer testing jar or similar clear container. Spin the hydrometer to dislodge air bubbles. At eye level read the figures on the stem of the hydrometer where the surface of the liquid cuts across the stem. This figure will tell you sugar content and potential alcohol. You can then adjust the amount of sugar according to the type of wine or beer you wish to produce.

Starting gravity for:	Dry Wine	1.085 - 1.100	Starting gravity for Beer varies from recipe to recipe.
	Medium Sweet Wine	1.120 - 1.140	
	Sweet Wine	1.140 - 1.160	

Temperature Corrections.
This hydrometer gives an accurate reading when the temperature of the liquid is 60° F. The following tables show how to correct for temperature difference:

Temperature in degree F:	Specific Gravity Correction:
50°	Subtract .0005
60	No correction needed
70	Add .001
77	Add .002
84	Add .003
95	Add .005
105	Add .007
110	Add .008
113	Add .009
118	Add .010

Example: Temperature of wort is 84°F.
 Specific Gravity is 1.045
 Correction figure is +.003

 =1.048

True Brew

Figura No. 27: Maceración de cebada.



Figura No. 28: Azúcares tras maceración.



Figura No. 29: Cocción.



Figura No. 30: Azúcares tras cocción.



Figura No. 31: Inicio de enfriamiento.

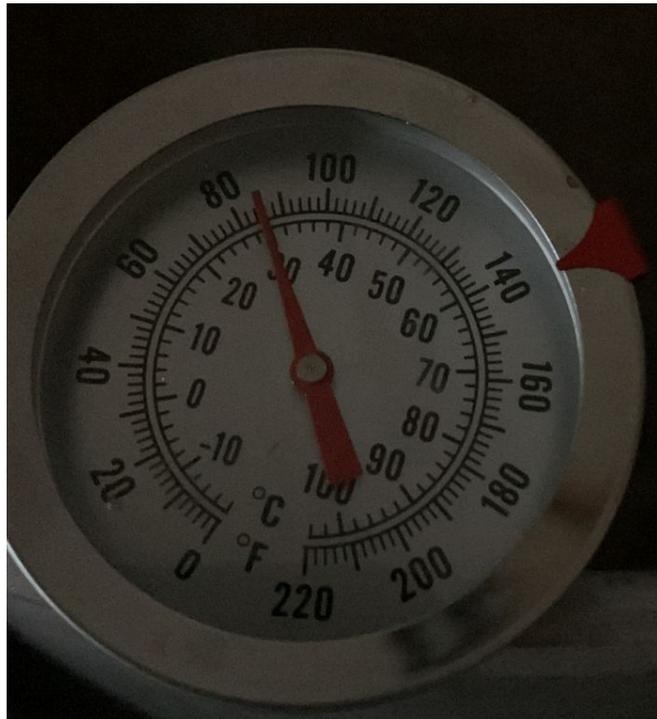


Figura No. 32: Fin de enfriamiento.



Figura No. 33: Inicio de fermentación.



Figura No. 34: Problemas con Airlock.



Figura No. 35: Adaptación de trampa de gases.



Figura No. 36 Muestreo para determinar alcohol.



Figura No. 37 Embotellado.



Figura No. 38 Segunda fermentación en botella.



Figura No. 39 Prueba 1 de carbonatación, aroma y textura.



Figura No. 40 Goteo de alginato en solución de cloruro de calcio.

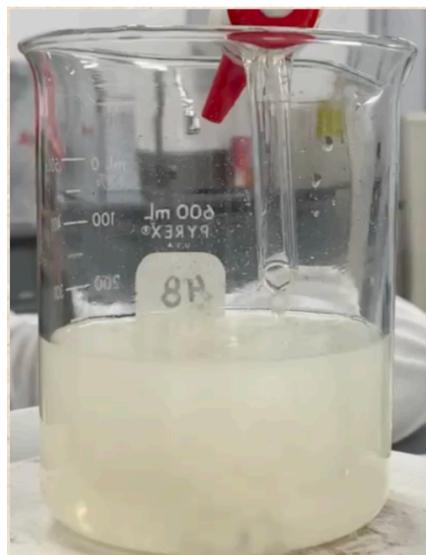


Figura No. 41 Elaboración de perlas de enzima transglutaminasa inmovilizada.

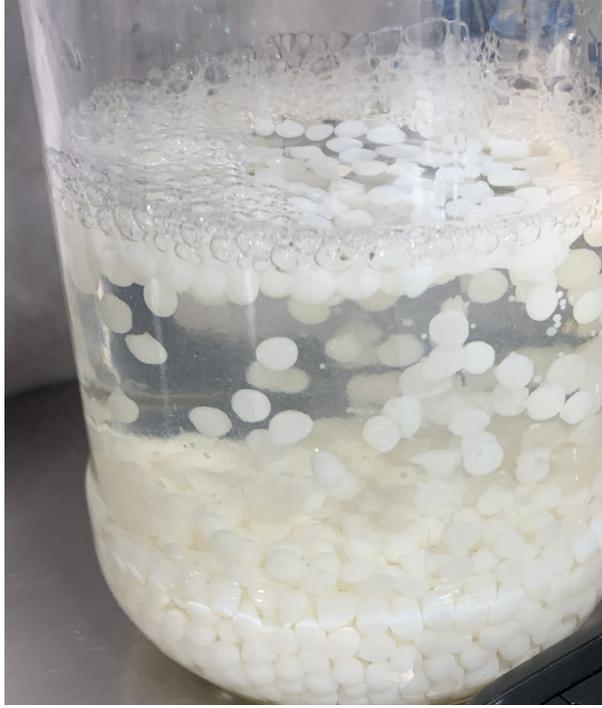


Figura No. 42: Contacto de cerveza tipo IPA en matriz de enzima- alginato



XIII. Glosario

Alfa Transglutaminasa: Enzima encargada de la descomposición del gluten.

Aqualock: Trampa de gas que permite la salida del CO₂ del fermentador pero no el ingreso de aire y contaminantes.

Cascarilla: Es el recubrimiento de celulosa de la cebada, se retira por filtrado tras la maceración de la misma.

Carbonatación forzada: Se da tras diluir dióxido de carbono a presión y bajas temperaturas en la bebida fermentada final.

Carbonatación natural: Se da tras incluir azúcares para alargar la fermentación dentro de la botella ya tapada y contener el dióxido de carbono producido.

Catálisis: Acción de una enzima para la síntesis de cierta sustancia a partir de otra, para que esta se dé deben darse las condiciones específicas de funcionamiento de la misma.

Cebada: Planta de tipo monocotiledónea, es un cereal que provee el almidón con las enzimas requeridas para convertirlas en azúcares fermentables.

Cerveza: Bebida alcohólica consistente en malta, lúpulo, levadura y agua.

Cocimiento: Proceso de llevar a ebullición el mosto para las infusiones de los lúpulos requeridos por cada cerveza.

Enzima: Es un catalizador de tipo biológico que puede acelerar ciertas reacciones. Es una proteína que puede favorecer a diferentes síntesis de productos.

Fermentación: Proceso metabólico de la levadura en condiciones anaeróbicas para la formación de etanol.

Gluten: Proteína característica de ciertos cereales y alimentos en general que genera cierta intolerancia a las personas que no lo pueden sintetizar.

Hidrómetro: Instrumento utilizado para la medición de alcohol por volumen, azúcares y densidad de un líquido.

IPA: Cerveza de tipo Indian Pale Ale, originaria de India con alto contenido de lúpulo y sabores frutales.

Levadura: Hongos de tipo único celulares con la habilidad de generar una descomposición de sustancias y por medio de rutas metabólicas sintetizar otras.

Lúpulo: Planta oriunda de Europa y Asia occidental que provee los tonos amargos a la cerveza.

Maceración: Proceso de extracción de los azúcares fermentables de la cerveza por medio del uso de la enzima alfa amilasa presente en la cebada a su temperatura ideal de funcionamiento (50-55°C).

Maltosa: Disacárido formado por 2 moléculas de glucosa que se descompone por medio del actuar de la enzima alfa amilasa.

Matriz de Alginato-Enzima inmovilizada: Perlas de gel obtenidas tras la incorporación de la solución de enzima con alginato en una solución de cloruro de calcio que permite generar la tensión en los enlaces provocando la formación de perlas al hacerlo por goteo.

Mosto: Obtenido tras la maceración de la cebada molida, se refiere a la solución de azúcares que se llevará a proceso de fermentación.

Persona celíaca: Persona que no puede tolerar la proteína del gluten.

Sifón: Dispositivo utilizado para realizar el desplazamiento de líquidos de un envase a otro.