

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ELABORACIÓN Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS EN LA PRODUCCIÓN DE
CERVEZA ARTESANAL BAJA EN ALCOHOL

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Gabriel Alejandro Monzón
García para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química Industrial

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ELABORACIÓN Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS EN LA PRODUCCIÓN DE
CERVEZA ARTESANAL BAJA EN ALCOHOL

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Gabriel Alejandro Monzón
García para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química Industrial

Guatemala,
2024

Vo. Bo.

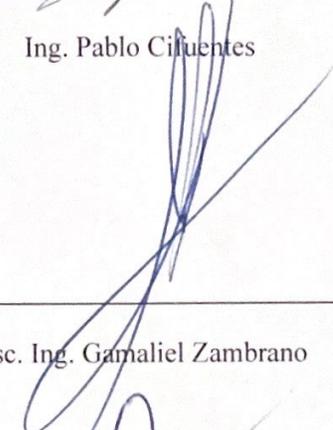
(f) 

Ing. Pablo Cifuentes

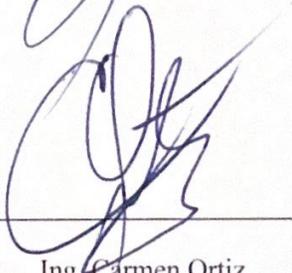
Terna examinadora

(f) 

Ing. Pablo Cifuentes

(f) 

Msc. Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 

Ing. Carmen Ortiz

Fecha de aprobación: Guatemala, 8 de enero de 2024

Prefacio

En este trabajo de graduación se plantea la elaboración de dos métodos distintos de cerveza sin alcohol (con bajo contenido alcohólico) con el fin de determinar si existe una diferencia notable entre las características de los productos finales, determinar la preferencia de uno de los dos métodos siendo seleccionado por un panel de catado y elaborar el diseño de un equipo que se adecue a la planta de cerveza artesanal Quiscalus, S.A. para desarrollar el método preferido de una manera más eficiente.

Este proyecto se realizó, debido a que hoy en día no hay industria cervecera en Guatemala que produzca localmente una cerveza sin alcohol, sea artesanal o comercial, por lo que se busca aprovechar este auge. Se desea brindar una estandarización del producto y establecer un modelo de calidad para las cervezas artesanales sin alcohol, así como fomentar el desarrollo del mercado cervecero y atender las demandas en constante transformación de los consumidores contemporáneos.

Agradezco a mi asesor, Ing. Pablo Cifuentes por brindarme su apoyo y guía durante este proyecto, así como por permitirme el uso de su equipo e instalaciones para la realización del proyecto de graduación. También agradezco a mis catedráticos por la pasión y entrega en cada curso que se me fue impartido durante los años de carrera.

Agradezco principalmente a mi núcleo familiar, a mi padre: Manuel Francisco Monzón Sevilla, por apoyarme toda la vida en cada momento tanto emocional como económicamente para cumplir mis sueños. A mi hermano: Manuel Andrés Monzón García por su apoyo y cariño.

Agradezco a mis tías: Isabel, Ofelia y Alicia Monzón por su esfuerzo en apoyarme en lo que necesitara y por su amor incondicional.

Agradezco a mi abuela: Linda Sevilla por su cuidado y amor de madre, así como por todas la risas y alegrías que me da.

Agradezco a todos mis primos por el apoyo desde mi niñez hasta el día de hoy.

Índice

Resumen.....	x
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	2
A. Objetivo general.....	2
B. Objetivos específicos.....	2
III. Justificación.....	3
IV. Marco teórico.....	4
A. Cerveza.....	4
B. Cerveza artesanal.....	5
C. Tipos de cerveza artesanal.....	9
D. Cerveza artesanal tipo Pilsen.....	13
E. Cerveza artesanal tipo lager.....	14
F. Color.....	14
G. Turbidez.....	15
H. Extracto.....	15
I. Unidades de amargor medido por IBU.....	16
J. Proceso de la cerveza artesanal.....	17
K. Secado.....	18
L. Molienda.....	19
M. Gelatinización del grano.....	19
N. Maceración.....	20
O. Cocción/hervido.....	22
P. Inoculación.....	22
Q. Fermentación.....	23
R. Turbidez.....	24
S. Maduración.....	24
T. Carbonatación.....	24
U. Pasteurización.....	25
V. Cerveza artesanal sin alcohol o bajo contenido de alcohol.....	25
W. Métodos de producción de cerveza artesanal sin alcohol.....	26
X. Características fenólicas en la cerveza.....	28

V.	Antecedentes.....	29
VI.	Metodología.....	30
A.	Limpieza de equipos	30
B.	Producción de cerveza por método de evaporación de etanol y uso de levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>Chevalieri</i> (LA-01).....	30
1.	Preparación del agua de proceso	30
2.	Molienda.....	30
3.	Maceración/Cocimiento.....	30
4.	Ebullición/Hervido	31
5.	Cooling	31
6.	Activación de levadura	31
7.	Dilución de mosto.....	32
8.	Fermentación	32
9.	Carbonatación.....	32
10.	Evaporación de Lote W	32
11.	Enlatado	33
12.	Pasteurización de lote LA-01	33
13.	Pruebas microbiológicas	33
14.	Concentración de alcohol.....	34
15.	Determinación de extracto, turbidez y IBU	34
C.	Balance de masa y energía.....	35
D.	Catado de análisis sensorial	35
E.	Análisis estadístico.....	35
F.	Elaboración de diseño y ficha de especificaciones del equipo para el método ganador ..	36
VII.	Resultados.....	37
VIII.	Discusión.....	41
IX.	Conclusiones.....	47
X.	Recomendaciones	48
XI.	Bibliografía	49
XII.	Anexos	52
A.	Datos originales	52
B.	Cálculos de muestra.....	59
C.	Datos calculados	74
D.	Análisis de error.....	90

E. Equipos y material utilizado	92
F. Documentación del proceso.....	95
XIII. Glosario.....	106

Lista de tablas

Tabla 1. Porcentaje de alcohol según método utilizado buscando el <0.5% v/v.....	37
Tabla 2. Especificaciones finales obtenidas según método utilizado lote 2.....	37
Tabla 3. Resultados microbiológicos para producto terminado de ambos métodos	37
Tabla 4. Resultado de panel de comparación organoléptica entre ambos métodos de cerveza	38
Tabla 5. Prueba t para propiedades organolépticas evaluadas durante el catado	38
Tabla 6. Prueba P y F para propiedades organolépticas evaluadas durante el catado	39
Tabla 7. Mediciones de malta para cada lote realizado	52
Tabla 8. Pérdidas de masa en el proceso de molienda.....	52
Tabla 9. Caracterización del agua de proceso.....	52
Tabla 10. Medición de químicos para acondicionamiento del agua.....	52
Tabla 11. Mosto obtenido al finalizar la maceración y el hervido.....	53
Tabla 12. Masa de lúpulo agregado por lote	53
Tabla 13. Cantidad de agua utilizada para el enfriamiento del mosto.....	53
Tabla 14. Cantidad de agua agregada para dilución del mosto.....	53
Tabla 15. Levadura agregada a cada lote	53
Tabla 16. Datos de edad y género de los catadores	54
Tabla 17. Tiempo vs alcohol evaporado para el lote 1	54
Tabla 18. Tiempo vs alcohol evaporado para el lote 2	54
Tabla 19. Resultados de preferencia de los catadores en el catado triangular.....	54
Tabla 20. Datos obtenidos del catado de comparación de propiedades organolépticas método L	56
Tabla 21. Datos obtenidos del catado de comparación de propiedades organolépticas método	57
Tabla 22. Gravedades originales	76
Tabla 23. Gravedades finales	76
Tabla 24. ABV y su porcentaje de error	77
Tabla 25. Resultados de extracto del producto terminado.....	77
Tabla 26. Resultados de color del producto terminado.....	78
Tabla 27. Determinación de IBU analítico y empírico	78

Tabla 28.	Determinación de turbidez.....	78
Tabla 29.	Determinación de CO ₂	78
Tabla 30.	Pruebas microbiológicas realizadas para ambos métodos	79

Lista de figuras

Figura 1.	Espectro de colores de las cervezas artesanales	14
Figura 2.	Calificación de escala IBU	17
Figura 3.	Fórmula empírica para lúpulos agregados al principio de la cocción	17
Figura 4.	Fórmula empírica en la adición de lúpulos en fase intermedia del cocimiento.....	17
Figura 5.	Proceso elaboración de cerveza	18
Figura 6.	Temperaturas de gelatinización específicas.....	20
Figura 7.	Ejemplo de una curva de operación del proceso de maceración	21
Figura 8.	Fórmula para determinación del uso de levadura.....	23
Figura 9.	Relación del inóculo con la gravedad específica para cervezas Lager.....	23
Figura 10.	Reacción de la fermentación alcohólica	23
Figura 11.	Sistema de inyección de CO ₂	25
Figura 12.	Perfiles fenólicos comunes en la cerveza.....	28
Figura 13.	Dimensionamiento de evaporador	39
Figura 14.	Ficha técnica de evaporador de simple efecto	40
Figura 15.	Balance de masa y energía proceso de evaporación para lote W.....	74
Figura 16.	Balance de masa y energía proceso para cepa LA-01 (lote L).....	75
Figura 17.	Atenuación aparente.....	76
Figura 18.	Curva de ABV contra tiempo para evaporación del lote 1	76
Figura 19.	Curva de ABV contra tiempo para evaporación del lote 2	77
Figura 20.	Balance de masa y energía del diseño del evaporador.....	79
Figura 21.	Ficha técnica del evaporador dimensionado para la planta de cerveza artesanal Quiscalus, S.A.....	80
Figura 22.	Caldera CBL Gaspac.....	81
Figura 23.	Caldera Nobeth	81
Figura 24.	Caldera Cleaver Brooks	82
Figura 25.	Calder ATTSU.....	82
Figura 26.	Distribución de edad y sexo de panelistas	83
Figura 27.	Combinación de resultados para catada triangular	83

Figura 28.	Distribución porcentual de la cantidad de hombres (M) y mujeres (F) que participaron en el catado	84
Figura 29.	Respuesta a la pregunta de la encuesta “¿Con qué frecuencia consume usted cerveza?”	84
Figura 30.	Respuesta a la pregunta de la encuesta “¿Conocía usted de la existencia de las cervezas sin alcohol (con bajo contenido de alcohol)?”	85
Figura 31.	Respuesta a la pregunta de la encuesta “Si tuviera que dejar de consumir alcohol ¿consideraría alguna de estas opciones como alternativa?”	85
Figura 32.	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Espuma) por medio de Excel 2016	86
Figura 33.	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Color) por medio de Excel 2016	86
Figura 34.	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Aroma) por medio de Excel 2016	86
Figura 35.	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Sabor) por medio de Excel 2016	87
Figura 36.	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Amargor) por medio de Excel 2016.....	87
Figura 37.	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Cuerpo) por medio de Excel 2016	87
Figura 38.	Prueba F para comparación de dos varianzas (Espuma) por medio de Excel 2016	88
Figura 39.	Prueba F para comparación de dos varianzas (Color) por medio de Excel 2016	88
Figura 40.	Prueba F para comparación de dos varianzas (Aroma) por medio de Excel 2016	88
Figura 41.	Prueba F para comparación de dos varianzas (Sabor) por medio de Excel 2016	89
Figura 42.	Prueba F para comparación de dos varianzas (Amargor) por medio de Excel 2016	89
Figura 43.	Prueba F para comparación de dos varianzas (Cuerpo) por medio de Excel 2016	89
Figura 44.	Solubilidad del CO ₂ en cerveza con base en la relación presión y temperatura	92
Figura 45.	Relación grados brix con gravedad original del mosto.....	93
Figura 46.	Relación grados brix con gravedad original del mosto.....	94
Figura 47.	Pesado de malta pilsen	95
Figura 48.	Preparación de agua	95

Figura 49.	Proceso de evaporación de lote 1 método W	96
Figura 50.	Malta recién filtrada lote 1 método W	96
Figura 51.	Cerveza terminada lote 1 método L	97
Figura 52.	Cocimiento de mosto lote 2	97
Figura 53.	Condiciones de operación para cocimiento de mosto en el Braumeister.....	98
Figura 54.	Tanques de fermentación en donde se agregó cada método	98
Figura 55.	Distribución de mosto en tanques de fermentación de 20L.....	99
Figura 56.	Lectura de gravedad final con hidrómetro lote 2 del método L.....	99
Figura 57.	Lectura de gravedad final con hidrómetro lote 2 del método W	100
Figura 58.	Etapas de fermentación lote 2 método L y W.....	100
Figura 59.	Proceso de evaporación del método W	101
Figura 60.	Producto terminado	101
Figura 61.	Medición de muestra leída en alcolyzer.....	102
Figura 62.	Medición de muestra en turbidímetro	102
Figura 63.	Lectura de IBU en espectrofotómetro.....	103
Figura 64.	Agar mosto utilizado en microbiología.....	103
Figura 65.	Lectura de muestras método W.....	104
Figura 66.	Lectura de muestras método L.....	104
Figura 67.	Lectura para muestras en NBB-A de método W.....	104
Figura 68.	Lectura para muestras en NBB-A de método L	105

Resumen

En la cervecería artesanal Quiscalus, S.A. de Guatemala, se ha llevado a cabo un proyecto para destacar en el mercado de cervezas sin alcohol (bajo contenido alcohólico), esto se debe a que el mercado de cerveza artesanal en el país ha crecido exponencialmente en los últimos años, y las cervezas sin alcohol están siendo poco exploradas localmente. Por lo que se planteó como objetivo principal la elaboración de cervezas artesanales con porcentaje alcohólico menor al 0.5% v/v partiendo de dos metodologías distintas para su comparación por medio de paneles sensoriales. Obteniendo un 83.3% de la población que si distinguió diferencia entre las muestras y obteniendo un 70.8% que prefirió el método W sobre el método L. También se logró comparar las propiedades fisicoquímicas de ambos métodos siendo de 0.31%v/v de alcohol, 7.88 de IBU, 8.18 de color, 18.3 de turbidez y 2.57%v/v de CO₂ para el método con levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri* LA-01 (L), y siendo de 0.53%v/v de alcohol, 8.15 de IBU, 5.63 de color, 14.0 de turbidez y 1.92%v/v de CO₂ para el método con levadura *saccharomyces cerevisiae* (W), permitiendo evaluar los motivos de estas diferencias. Se cumple con el objetivo principal ya que se realizó exitosamente los dos métodos de cerveza con bajo contenido alcohólico y su respectiva comparación fisicoquímica y organoléptica. Se recomienda elaborar una comparación con más métodos de producción de cerveza artesanal con bajo contenido de alcohol con los métodos que no se abarcaron en este proyecto. También se recomienda la realización de un análisis de mercado más a profundidad acerca de la aceptación de este producto en la sociedad guatemalteca.

I. Introducción

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas que encabezan la lista de las más consumidas a nivel mundial, esta industria está presente prácticamente en todos los países y por la misma exposición a diferentes culturas se han creado distintas formas de hacerla, por lo que la industria de la cerveza artesanal ha crecido ampliamente a lo largo del tiempo. El proceso de elaboración de cerveza artesanal está bastante estandarizado a nivel mundial. La mayoría de las cervecerías artesanales y en escalas mayores, utilizan procesos muy similares y en líneas generales varían muy poco. El proceso consta de 3 grandes etapas: Molienda, Maceración/Cocción y Fermentación/Maduración. Cada uno de los procesos es importante, ya que, si llegara a fallar alguno, la calidad de la cerveza se ve afectada directamente.

En la actualidad, el mercado de la cerveza ha experimentado un cambio significativo debido a la creciente demanda de productos más saludables y variados. Dos de las tendencias más destacadas son el aumento en la popularidad de las cervezas sin alcohol y el resurgimiento de las cervezas artesanales. Aunque ambas categorías presentan un potencial prometedor, todavía se encuentran en una etapa poco explotada, sin recibir el reconocimiento ni el alcance que merecen en el mercado cervecero a nivel mundial. El segmento de la cerveza sin alcohol ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, ya que los consumidores están buscando opciones más saludables y estilos de vida equilibrados. Sin embargo, a pesar de este aumento en la demanda, el mercado de la cerveza sin alcohol sigue siendo relativamente reducido en comparación con las cervezas convencionales. Existe una brecha significativa que se debe abordar para satisfacer las necesidades de los consumidores que desean disfrutar de una cerveza sin alcohol con la misma calidad y sabor que las tradicionales.

En este contexto, el presente proyecto de graduación tiene como objetivo evaluar dos métodos para la elaboración de una cerveza artesanal estilo pilsen, pero con la particularidad de ser cero alcohol, conteniendo según las normativas del RTCA un porcentaje de alcohol menor a 0.5% v/v. El propósito del proyecto también es abordar esta brecha en el mercado, ya que hoy en día no hay una empresa cervecera que produzca en Guatemala una cerveza con bajo contenido de alcohol, pero principalmente se busca determinar si existe una diferencia significativa entre ambos métodos propuestos. La investigación se enfocará en aspectos técnicos, sensoriales y de aceptación del producto final, con el fin de establecer un estándar de calidad para las cervezas artesanales sin alcohol. A través de este estudio, se espera contribuir al desarrollo y reconocimiento de las cervezas sin alcohol y las cervezas artesanales en el mercado cervecero global. Además, se busca proporcionar a los consumidores una opción de alta calidad que combine los beneficios de una cerveza sin alcohol con los atributos distintivos de una cerveza artesanal tradicional. Con este enfoque innovador, se espera impulsar la evolución del mercado de la cerveza y satisfacer las necesidades cambiantes de los consumidores modernos.

II. Objetivos

A. Objetivo general

Elaborar una cerveza artesanal con dos metodologías diferentes con alcohol menor al 0.5% v/v para el cumplimiento del límite alcohólico establecido por el reglamento técnico centroamericano.

B. Objetivos específicos

1. Comparar las especificaciones fisicoquímicas: Porcentaje de alcohol, IBU, extracto y turbidez en el producto final para determinar las diferencias según el proceso de elaboración realizado en los métodos de evaporación de etanol y el uso de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri* (LA-01).
2. Determinar por medio de pruebas de panel sensorial si hay diferencia significativa entre ambas cervezas y establecer la preferida por el consumidor final.
3. Calcular el dimensionamiento y la ficha de especificaciones del equipo necesario para realizar la metodología preferida sensorialmente por el panel de catado.

III. Justificación

En la cervecería artesanal guatemalteca con nombre Quiscalus, S.A. es donde se realizó el proyecto, en esta planta se producen cervezas artesanales de varios tipos y actualmente han avanzado para posicionarse cada vez mejor en este mercado que crece de manera exponencial. En la actualidad este mercado en Guatemala no es como lo era hace 10 años, ya que en 2016 únicamente existía una empresa de cerveza artesanal, teniendo el mercado un crecimiento exponencial de manera que para el 2019 aumentó a 11 productoras de cerveza artesanal y el número ha ido en aumento siendo 13 las cervecerías artesanales actualmente en el país, reflejándose también en la producción del año 2019 la cual fue de 360,000 L y ha aumentado con los años. (Forbes Centroamérica).

Así mismo el mercado de cervezas sin alcohol es algo que aún no ha sido explotado en el país, ya que no hay ningún productor local que produzca cerveza artesanal sin alcohol. Por lo que viendo el auge de otros países de este producto y como ha ido en crecimiento es que se realizará este proyecto beneficiando a la empresa al ser la primera productora de cerveza artesanal sin alcohol en el país y contribuyendo al desarrollo y reconocimiento de las cervezas sin alcohol y de las cervezas artesanales en general a nivel local. Los resultados obtenidos permitirán ampliar la oferta de cervezas sin alcohol, brindando opciones atractivas a los consumidores que desean disfrutar de una cerveza sin comprometer su bienestar. Asimismo, se espera fomentar el crecimiento y la expansión de las cervecerías artesanales, proporcionándoles herramientas y conocimientos para mejorar sus procesos de producción y alcanzar estándares para brindar producto de calidad.

IV. Marco teórico

A. Cerveza

La cerveza propiamente dicha, aparece en Europa en el siglo XIII, en la medida en que el concepto de cerveza incluye el amargor lupulado característico. Atribuir un origen muy antiguo a la cerveza se condiciona bajo el rasero de lo que hoy por hoy conoceríamos o entenderíamos por cerveza. Pero, los procesos de fabricación si eran muy similares, es decir, quizá la cerveza no sea tan antigua, pero su principal etapa, la fermentación alcohólica, si lo sea, tanto como los persas o los babilonios (Gisbert, 2016).

La cerveza se produce mediante un proceso de fermentación alcohólica de granos, que requiere que los granos de malta se procesen para convertirlos en azúcar, lo que permite que la levadura los transforme en alcohol. A principios del siglo XX, la industria cervecera tradicional tomó un enfoque marcado hacia la producción y comercialización de cervezas rubias, con bajo contenido alcohólico y un cuerpo moderado. Estas cervezas, debido a su asequibilidad y facilidad de producción, fueron promovidas por las grandes corporaciones y se convirtieron en las preferidas de los consumidores. De esta manera, el público se acostumbró a una bebida que se asemejaba más a un refresco que a una experiencia culinaria, ya que su principal función era saciar la sed y brindar un estímulo suave. Sin embargo, durante la década de los ochenta, con el surgimiento de la cerveza artesanal, los consumidores comenzaron a mostrar un deseo creciente de explorar una variedad de sabores y sensaciones. Esta tendencia ha continuado en aumento hasta el día de hoy, y la oferta en constante expansión de nuevos estilos se ha convertido en el principal atractivo de la industria cervecera artesanal actual.

La industria cervecera tradicional, al darse cuenta de la creciente brecha comercial creada por las cervezas artesanales, ha reaccionado de manera astuta en la última década, adquiriendo pequeñas empresas del sector artesanal. Algunas de estas adquisiciones tienen como objetivo eliminar posibles competidores, mientras que en otros casos buscan aprovecharse de marcas y nichos específicos.

El abanico de posibilidades ofrecidas por las cervezas artesanales se ha vuelto tan atractivo que muchas grandes corporaciones han lanzado líneas de cervezas que intentan emular el estilo artesanal. Estas cervezas son conocidas en la actualidad como "falsas cervezas artesanales" o "crafty beers" en inglés. En 2012, la Asociación de Cerveceros Artesanales de Estados Unidos hizo una denuncia pública contra las grandes corporaciones por lo que consideraban una "dilución intencionada" de la distinción entre las cervezas tradicionales y las elaboradas artesanalmente. Como resultado de esta denuncia, el término "crafty" se ha convertido en una expresión comúnmente utilizada entre los conocedores de la cerveza artesanal (González, 2017).

B. Cerveza artesanal

La cerveza artesanal según la asociación de cerveceros artesanales en EEUU define al cervecero artesanal como una producción más “casera” de menor escala a una fábrica industrial, lo define con una producción que tiene que ser menor a seis millones de barriles anuales para considerarse cerveza artesanal. Debe ser independiente, lo que significa que menos del 25% de la cervecería puede ser controlada por una compañía industrial y por último tiene que ser tradicional, con ingredientes innovadores y puros (Jaramillo 2016).

La cerveza artesanal surge en la década de los setenta del siglo pasado cuando los estadounidenses, inspirados por la ley seca de 1920 y por los pubs ingleses, comienzan a desarrollar la industria de las cervezas artesanales. Durante esa etapa se produce el florecimiento de las elaboraciones caseras, las cuales posteriormente escalaría a niveles artesanales apoyadas en los cada vez más numerosos comercios de pasatiempos especializados o homebrewing. En la actualidad se estima que existen alrededor de 10,000 fábricas de cervezas artesanales alrededor de todo el mundo. El mayor número de éstas se localiza en Estados Unidos y Europa acaparando un 86% del total. Para el año 2015, la lista de países latinoamericanos era encabezada por Brasil, Argentina y México, seguidos de lejos por Venezuela, Chile y Ecuador. La ausencia de un criterio unificado relacionado con el concepto de cerveza artesanal hace sumamente difícil obtener estadísticas globales precisas que reflejen el mercado actual de este rubro (González, 2017).

Esta se produce básicamente con los mismos procesos que la cerveza industrial que conocemos, pero varían en características como el lúpulo el cual proporciona estabilidad, aroma y amargor característico el cual puede ser reemplazado por extractos como cascarilla de naranja, el grano malteado se lo puede mezclar con adjuntos que pueden ser un cereal malteado o no malteado y que no debe exceder el 45% de la formulación, entre muchas otras variaciones que se le pueden hacer dependiendo del tipo de cerveza artesanal que se esté produciendo (Mencia & Perez, 2016).

Con el objetivo de simplificar un tanto la ardua tarea de clasificar la cerveza se ha establecido un buen número de criterios que permiten imponer cierto orden en tan vasto universo. Según su aspecto, según método de elaboración, según los ingredientes empleados, según su procedencia y según el tipo de fermentación (González, 2017).

Ingredientes utilizados en la creación de las cervezas artesanales

Malta

La malta aporta diversos atributos esenciales que son fundamentales para definir las características de la cerveza que conocemos, incluyendo su color, sabor, cuerpo y, eventualmente, su contenido alcohólico durante el proceso de fermentación. Al crear la receta de malta para una cerveza, el maestro cervecero debe considerar cuidadosamente cada uno de estos factores. Las composiciones de granos pueden variar ampliamente; algunas cervezas pueden utilizar una única variedad de malta, mientras que otras recurren a mezclas y combinaciones complejas de diversos tipos. En la elaboración de cerveza, existen numerosos parámetros que pueden ser objeto de análisis, cálculo,

gestión y optimización, entre ellos, el extracto y el color. Sin embargo, el sabor de la malta se presenta como un desafío más complejo de comprender, y no se puede evaluar de la misma manera. Las delicadas interacciones que conforman el sabor de la malta son las responsables de otorgar a la cerveza su armoniosa belleza característica. Si bien comprender las aportaciones analíticas de la malta es esencial para producir cerveza de forma consistente, el sabor se plantea como el objetivo principal. La formulación de la receta de malta en la elaboración de cerveza abarca una amplia gama de filosofías y técnicas. La creación de una cerveza compleja, pero equilibrada es un proceso que combina el arte y la ciencia en partes iguales. Cuantificar las múltiples contribuciones de sabor de maltas específicas resulta un desafío complicado, lo que lleva a los cerveceros a ir más allá de las frías cifras en hojas de cálculo. Descubrir cómo distintos maestros cerveceros encaran este desafío y comprender sus preferencias es enriquecedor.

Conceptualizar, elaborar, evaluar y afinar una receta, o darle forma con destreza, es el enfoque que emplea la mayoría de los cerveceros para crear cervezas excepcionales. Aunque este proceso de perfección puede extenderse durante años, puede acelerarse con visión, experiencia y meticulosos cálculos. Los cerveceros afrontan la formulación de la cerveza desde diversas perspectivas; algunos se enfocan en aspectos técnicos, sumergiéndose en hojas de cálculo y porcentajes generales, mientras que otros se basan en la investigación, explorando los recursos disponibles para comprender el rango de estilos en cuestión. Y luego están aquellos cerveceros altamente intuitivos que poseen una comprensión holística de cómo las partes individuales se complementan e interactúan para dar vida a una cerveza hermosa y equilibrada. Si pensáramos en una analogía, estos cerveceros parecen empezar su partida directamente en el green. Conversar con maestros cerveceros exitosos acerca de cómo conciben una cerveza y cómo dan forma a la receta de malta ofrece perspectivas valiosas sobre sus enfoques y metodologías individuales, y proporciona una comprensión más profunda de todos los procesos de elaboración de cerveza. A continuación, compartimos algunas reflexiones de estos hábiles cerveceros (Mallet, 2014).

Lúpulo

Los lúpulos desempeñan un papel fundamental como materia prima en la creación de la cerveza. Se incorporan gradualmente al proceso durante la fase de ebullición, cuando se calienta el mosto filtrado (el líquido resultante de la malta drenada). Los lúpulos se caracterizan principalmente por sus resinas, taninos y aceites esenciales. Las resinas de lúpulo son las responsables de aportar el característico amargor a la cerveza. Durante la ebullición, los taninos actúan como agentes que precipitan las proteínas, contribuyendo a limpiar la cerveza. Este proceso se conoce como "rotura en caliente". La combinación de aceites esenciales y resinas es lo que confiere a la cerveza su distintivo aroma, y este aroma varía según el tipo de lúpulo y su lugar de origen. Los lúpulos son plantas resistentes, con una vida útil de aproximadamente 20-30 años. Para la industria cervecera, es esencial utilizar conos no fertilizados, ya que estos contienen todos los elementos esenciales. Por lo tanto, solo se utilizan las plantas hembra, mientras que las plantas macho, que crecen de forma silvestre, deben ser eliminadas para evitar la polinización de los estróbilos femeninos, lo que reduciría la calidad de los lúpulos.

En términos generales, los lúpulos se dividen en tres categorías: aquellos con tallos y hojas verdes, los que tienen tallos rojos a rojo-violáceos y los que presentan tallos verdes con pecíolos teñidos de rojo. Además, se clasifican en variedades tempranas, semitempranas y tardías. Finalmente, su lugar de origen geográfico también influye en sus características, como los lúpulos semitempranos de Saaz con tallos rojos. En la República Checa y regiones productoras cercanas, predominan los lúpulos con tallos rojos, mientras que, en el Reino Unido y Estados Unidos, se cultivan principalmente lúpulos con tallos verdes y rojos. Basándose en el contenido y la combinación de resinas y aceites esenciales, es posible subdividir aún más las variedades de lúpulo en aromáticas, amargas y de alto contenido alfa. Los diferentes tipos de lúpulo se utilizan según las características que aportan a cada estilo de cerveza. Además, la cantidad de lúpulos añadidos y el tiempo de ebullición son factores cruciales que determinan la amargura y el aroma de la cerveza resultante. Por ejemplo, los lúpulos agregados al comienzo de la ebullición, que generalmente dura de 60 a 90 minutos, aportan principalmente amargor, pero permiten que el aroma se escape. En contraste, al final de la ebullición, se añaden lúpulos con menos amargor y más aroma. En la producción de cervezas fuertes y amargas de fermentación alta, a veces se utiliza una técnica llamada "dry hopping" para intensificar el aroma. Esto implica agregar lúpulos aromáticos a la cerveza en algún momento del proceso, mucho después de que haya comenzado la fermentación. Los lúpulos se añaden en forma de conos secos y prensados solo en casos excepcionales. Puedo afirmar con certeza que, entre las cervecerías de gran tamaño, solo Budejovický Budvar utiliza esta técnica. Puede haber otras, pero la gran mayoría utiliza pellets de lúpulo, pequeñas bolitas que contienen lúpulos pulverizados. Los pellets tienen una vida útil más prolongada y son más fáciles de manejar. En cuanto al sabor, los pellets son equivalentes a los lúpulos prensados. Algunos cerveceros incluso añaden extractos de lúpulo a sus cervezas, como el Tetrahop, una sustancia que mejora la estabilidad y la formación de espuma en la cerveza. Otros extractos de lúpulo se utilizan para regular la amargura o el aroma. Probablemente, los lúpulos más famosos y apreciados en el mundo sean los Saaz semitempranos con tallos rojos. Lamentablemente, también son los más imitados y falsificados. Su excelente calidad se debe a la asombrosa combinación de sustancias que contiene, tanto por su composición genética como por su lugar de origen y clima. Esta combinación de amargor y sabor refinado es ideal para la cerveza pálida de fermentación baja, conocida en todo el mundo como pilsner o pilsen (Hasik, 2015).

Agua

El agua representa entre el 80 y el 90% del contenido de una cerveza, y en ocasiones, incluso más. Su calidad y propiedades ejercen una influencia significativa en la calidad y las características de la cerveza. Uno de los aspectos más relevantes es la dureza del agua, que se refiere al contenido de sales disueltas en ella. Cuanto mayor sea esta dureza, mayor será su impacto en el sabor y el color de la bebida. En líneas generales, el agua blanda se considera la más adecuada para la elaboración de cerveza, ya que no altera las propiedades deseadas, un factor crucial en la producción de cervezas al estilo Pilsner.

El agua proveniente de la ciudad de Pilsen se destaca por su suavidad y desempeña un papel fundamental en la identidad de la cerveza Pilsner Urquell. Cuando el agua es notablemente dura, esto se traduce en un sabor más intenso en la cerveza. Este fenómeno se debe a la interacción de las sustancias presentes en el lúpulo con los minerales del agua, lo que confiere características de sabor más marcadas. Algunos estilos de cerveza, como las cervezas de Múnich, aprecian este rasgo particular de las aguas duras. En la producción industrial de cerveza, las propiedades del agua se ajustan mediante procesos químicos. Sin embargo, las cervecerías artesanales rara vez realizan estos ajustes, lo que les permite crear cervezas con matices de sabor únicos y cautivadores (Hasik, 2015).

Levadura/fermentación

Las levaduras cerveceras desempeñan un papel fundamental al transformar ciertos tipos de azúcares, como la maltosa, la sacarosa y la rafinosa que se encuentran en el mosto, en alcohol (etanol) y dióxido de carbono durante el proceso de fermentación. Además de estos productos principales, durante la fermentación también se generan subproductos en cantidades reducidas, como alcoholes superiores y ésteres que aportan fragancias únicas. Estos subproductos son bienvenidos en ciertos estilos de cerveza, como las ales y las Weizens, pero se consideran indeseables en otros.

Las levaduras son los protagonistas encargados de producir el alcohol en la cerveza. En principio, se utilizan dos cepas de levadura del género *Saccharomyces* para la elaboración de la cerveza. La cepa utilizada en la fermentación alta se conoce como *Saccharomyces cerevisiae*, mientras que para la fermentación baja se emplea *Saccharomyces carlsbergensis*. Estas cepas están estrechamente relacionadas, siendo la principal diferencia entre ellas la temperatura a la que llevan a cabo su trabajo (Hasik, 2015).

Los diferentes sistemas de fermentación dan lugar a resultados muy diversos. En el pasado, los cerveceros solían emplear grandes recipientes de fermentación abiertos, que tenían sus ventajas. Uno de los beneficios era la capacidad de recolectar levadura a lo largo de muchas generaciones, ya que podían obtenerla de la superficie. Estos recipientes aún gozan de popularidad en Inglaterra. En tiempos pasados, los cerveceros solían fermentar sus cervezas utilizando tanto levadura autóctona como la levadura específica del cerveceros, la cual se reutilizaba en cada lote. Aunque todavía es posible encontrar este tipo de cervezas hoy en día, la mayoría de las cervezas modernas se elaboran con cepas únicas. No obstante, estos grandes recipientes de fermentación abiertos también presentan sus desafíos. Pueden ser difíciles de limpiar y no ofrecen el mismo nivel de higiene que los equipos modernos de fermentación cerrada. En la actualidad, la mayoría de los cerveceros utilizan recipientes de fermentación con fondos cónicos, que tienen sus propias ventajas y desventajas. Estos recipientes permiten la limpieza en su lugar y un control preciso de la temperatura, pero los fermentadores extremadamente altos pueden ejercer una mayor presión parcial de gases en la solución, lo que podría afectar el rendimiento de la levadura y el sabor de la cerveza. Los cerveceros caseros, por su parte, tienen la libertad de experimentar con diversos tipos

de fermentadores, desde versiones abiertas hasta versiones más pequeñas de los fermentadores cilindro-cónicos comerciales.

C. Tipos de cerveza artesanal

Cerveza “sin alcohol” o con bajo contenido alcohólico

Esta variante de la cerveza que ha crecido en los últimos años se define como una bebida fermentada que contiene una cantidad extremadamente baja de alcohol el cual puede ser removido durante el proceso de diferentes maneras, generalmente el porcentaje de alcohol es inferior al 0.5% de volumen alcohólico. Aunque técnicamente no es completamente "sin alcohol", la cantidad presente es tan insignificante que se considera segura, incluso para aquellos que buscan evitar por completo la ingesta de alcohol. La cerveza sin alcohol fue creada para proporcionar una opción a aquellas personas que desean disfrutar del sabor característico de la cerveza sin incurrir en el consumo de alcohol. Este producto ha experimentado un crecimiento significativo en su mercado objetivo en los últimos años debido a diversos factores. La creciente tendencia hacia estilos de vida más saludables y conscientes ha llevado a un aumento en la demanda de alternativas con menos calorías y sin alcohol. La cerveza sin alcohol satisface esta necesidad al proporcionar una opción refrescante que permite a los consumidores disfrutar de la experiencia cervecera sin los efectos del alcohol. Además, el aumento de la conciencia sobre los riesgos asociados con el consumo excesivo de alcohol ha llevado a que las personas limiten su ingesta o busquen opciones de bebidas con menor contenido alcohólico. La cerveza sin alcohol se ha convertido en una elección popular en situaciones donde se necesita estar sobrio, como al conducir o participar en eventos sociales.

Muchas cervecerías han incursionado en la producción de variantes sin alcohol, ofreciendo sabores distintivos y contribuyendo así al crecimiento de este mercado. La aceptación social de estas opciones sin alcohol también ha aumentado, lo que ha llevado a una mayor disponibilidad en una variedad más amplia de establecimientos. Se espera que el mercado de la cerveza sin alcohol continúe su expansión a medida que la conciencia sobre la importancia de la moderación en el consumo de alcohol y la adopción de estilos de vida saludables sigan en aumento. Los fabricantes están respondiendo a esta demanda creciente mediante la innovación constante en términos de sabor y variedad, contribuyendo así al atractivo continuo de las cervezas sin alcohol.

Cervezas Ale

Se elaboran mediante el uso de levaduras que, al final del proceso de fermentación, tienden a permanecer cerca de la superficie del mosto, lo que les da el nombre de "cervezas de fermentación alta". Para la producción de este tipo de cerveza, se emplea principalmente la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que también se utiliza en la fabricación de pan y vino. Esta levadura se desarrolla mejor a temperaturas entre 15 y 25 °C, lo que se conoce como fermentación "caliente". Esta característica permite que estas cervezas se puedan elaborar a temperatura ambiente sin necesidad de un entorno frío. El proceso de fermentación es relativamente corto y suele completarse en una o dos semanas. Dadas estas particularidades, las cervezas tipo ale son las favoritas de los

cerveceros artesanales. A lo largo de la historia, este tipo de cerveza fue el más extendido y consumido en todo el mundo hasta la llegada de las cervezas pilsen en el siglo XIX. Las cervezas catalogadas como "ale" lo son independientemente de su color, graduación alcohólica o región geográfica. Lo que realmente la diferencia de las cervezas lager es su mayor complejidad y una amplia variedad de aromas afrutados, que son el resultado de un alto contenido de ésteres en la cerveza (González, 2017).

Cerveza con trigo

Las cervezas de este estilo se elaboran principalmente con malta de trigo, aunque para lograr una fermentación completa, dado que la malta de trigo carece de las enzimas necesarias para convertir el almidón en azúcar, es común combinarla con malta de cebada. Estas cervezas presentan una amplia gama de colores, desde un dorado pálido hasta casi blanco. En cuanto a su aroma, suelen exhibir sutiles notas de clavo de olor y plátano. Inicialmente, estas cervezas solían ser consumidas durante los meses de verano debido a su carácter refrescante. Sin embargo, en la actualidad, debido a su gran popularidad, están disponibles durante todo el año.

Dentro de este estilo, se pueden identificar tres categorías distintas. En primer lugar, está la "weiss", originaria de Berlín, Alemania. Esta variedad es ligera, con un bajo contenido alcohólico (alrededor del 3 %) y un ligero toque ácido. Otra categoría es la "weizen", que comparte similitudes con la anterior, pero contiene una mayor proporción de trigo (hasta un 70 %) y es notablemente efervescente. Esta variedad es típica de la región de Baviera, Alemania, suele experimentar una segunda fermentación en la botella y se envasa sin filtrar, lo que se indica con el prefijo "hefe", que significa levadura en alemán. Cuando se filtra, se conoce como "kristall". La tercera categoría es la cerveza witbier, originaria de Bélgica, que utiliza tanto malta de cebada como trigo sin maltear. Esto le confiere un sabor a grano más pronunciado y un cuerpo considerable (González, 2017).

Cerveza Pale Ale

Las cervezas de este estilo se elaboran principalmente a partir de maltas pálidas o "pale malt", aunque sorprendentemente su color puede variar desde un dorado profundo hasta un ámbar cautivador. Sin embargo, es importante entender que el término "pálido" en este contexto es totalmente relativo. En realidad, estas cervezas se consideran pálidas en comparación con otros estilos de cervezas extremadamente oscuras que predominaban en el año de su origen, allá por 1703. Dentro de este emocionante mundo cervecero, destacan tres categorías que son ampliamente conocidas y apreciadas por los entusiastas de este estilo: la English Pale Ale, la India Pale Ale o IPA y la American Pale Ale o APA. La English Pale Ale abarca una amplia variedad de cervezas amargas originarias de la tierra de Su Majestad. De hecho, el término "bitter" (amargo en inglés) ocasionalmente se utiliza para referirse a cualquier cerveza en esta categoría. A pesar de ello, algunos productores hacen una distinción sutil entre las English Pale Ale y las "bitter", argumentando que las primeras poseen niveles ligeramente más elevados de ésteres, una carbonatación más vivaz y una espuma notablemente duradera. Esta categoría tiene sus raíces en Burton, una localidad inglesa cuyas aguas ricas en calcio

le conferían un carácter distintivo. En la actualidad, los cerveceros fuera de esta región añaden yeso durante la elaboración para emular esta deseable característica.

La IPA, o India Pale Ale, fue concebida por los cerveceros británicos en un esfuerzo por crear una cerveza que pudiera sobrevivir el largo viaje hasta sus colonias en la India. Para lograrlo, desarrollaron una versión de sus cervezas brown ale, porter y stout, caracterizada por su alto contenido de amargor y su generoso contenido alcohólico. El color de la IPA puede oscilar desde un dorado claro hasta un ámbar rojizo, pero debido a su carácter audaz, esta categoría cuenta tanto con apasionados seguidores como con críticos contundentes. De hecho, tomar el primer sorbo de una IPA suele ser una experiencia que hace arrugar el ceño. Finalmente, en la década de 1980, la cervecería Sierra Nevada Brewing Company de Estados Unidos introdujo la categoría APA, American Pale Ale, que es una versión estadounidense de las pale ales inglesas. En esta adaptación, los ingredientes originales, como el lúpulo, la malta y la levadura, fueron reemplazados por sus contrapartes norteamericanas. Como resultado, estas cervezas tienden a mostrar un color más claro y un sabor a caramelo menos pronunciado en comparación con sus homólogas británicas. Las APA a menudo se consideran las embajadoras más representativas de la cerveza artesanal estadounidense (González, 2017).

Cerveza tipo Lambic

Este estilo de cerveza encuentra sus raíces en Bélgica, específicamente en la ciudad de Leembek, de la cual toma su nombre distintivo. Está caracterizado por cuatro elementos esenciales:

- Su proceso de elaboración se basa en una fermentación espontánea, sin la adición de levaduras específicas.
- La fabricación se prolonga durante varios años, lo que le confiere su singularidad.
- En lugar de recurrir a lúpulos para aportar sabor, se emplean frutas durante su producción.
- Se utiliza hasta un 40% de trigo crudo, sin maltear, en la preparación de esta cerveza.

A partir de la cerveza lambic fundamental, se derivan diversas variedades que gozan de reconocimiento y aprecio a nivel mundial. Entre estas destacan las cervezas gueuze, fero y kriek. La gueuze se obtiene mediante la combinación de lambic envejecida con lambic joven, lo que induce una segunda fermentación en la botella y una alta concentración de CO₂. Por este motivo, muchos fabricantes optan por envasarla en botellas de estilo champán, al igual que ciertas cervezas de abadía. En líneas generales, presenta un contenido alcohólico ligeramente elevado, un matiz de acidez y una complejidad adicional debido a su proceso de envejecimiento.

La cerveza fero es una cerveza dulce, con un alto contenido de azúcar residual y una carbonatación abundante. Fue muy popular en Bélgica durante el siglo XIX, pero en la actualidad, solo unos pocos productores se aventuran a producirla. La cerveza kriek es una cerveza que se obtiene al macerar lambic con frutas, típicamente cerezas o frambuesas, durante un período de aproximadamente seis semanas en barricas. Sin

embargo, algunos fabricantes optan por un proceso de maceración más prolongado. Posteriormente, se embotella y se le permite madurar durante varios meses. Las cervezas kriek se elaboran con cerezas, mientras que las que utilizan frambuesas se denominan franbozen. Pueden ser secas o dulces, lo que las convierte en una de las pocas cervezas donde el dulzor es una característica permitida y apreciada (González, 2017).

Cerveza Porter

Este estilo cervecero se originó en Londres alrededor del año 1722 y obtuvo su nombre debido a su popularidad entre los estibadores portuarios, quienes encontraban en esta bebida una fuente nutritiva esencial. El término "porter" en inglés significa "cargador" o "maletero". En tiempos modernos, con la predominancia de las lagers claras y transparentes, la cerveza porter experimentó un período de decadencia que la llevó casi a la extinción. Sin embargo, afortunadamente, a partir de la década de 1980, este estilo experimentó un resurgimiento y hoy en día disfruta de una gran popularidad entre los cerveceros artesanales, especialmente en los Estados Unidos.

La BJCP (Cerveceros Jueces Cerveceros) ha definido tres categorías para el estilo porter: brown porter, robust porter y baltic porter. El brown porter presenta un color marrón casi negro y en boca ofrece una cantidad moderada de alcohol junto con notas torrefactas. Algunas versiones utilizan un alto porcentaje de malta brown, mientras que otras incorporan pequeñas cantidades de malta chocolate y otros granos oscuros. La robust porter comparte características similares con el brown porter, pero tiende a ser un poco más corpulenta y presenta una presencia más pronunciada de aromas a granos tostados y chocolate. Su espuma es de color marrón claro y suele mantenerse bien. A menudo, se emplean lúpulos y levaduras de origen inglés en su elaboración, aunque en ocasiones se recurre a variedades americanas. La baltic porter es una variante del estilo porter inglés que fue adoptada por los cerveceros de la región báltica. La distinción clave radica en que se fermenta como una lager. Esta variedad de porter tiene una graduación alcohólica relativamente alta, generalmente entre el 7,0% y el 8,5%. Se caracteriza por exhibir las cualidades de las cervezas oscuras, con ricos aromas a malta y chocolate, aunque con una presencia mínima de notas torrefactas (González, 2017).

Cerveza Stout

En el siglo XVIII, durante la época dorada de las cervezas porter, el término "stout" (que en inglés significa "corpulento") se utilizaba para distinguir aquellas cervezas de mayor densidad dentro de la variada oferta de cervezas de los establecimientos. A medida que el uso del término "porter" fue declinando en el siglo XX, "stout" se convirtió en la designación general para todas las cervezas negras, independientemente de su densidad.

La característica más destacada de las cervezas stout radica en el grado extremo de tostado de las maltas de cebada utilizadas en su elaboración. La gran mayoría presenta un color negro profundo y una espuma densa y cremosa. En cuanto al aroma, se caracterizan por notas intensas de chocolate, y en boca, ofrecen un sabor robusto, complejo y aterciopelado. La versatilidad de este estilo ha dado origen a una de las

series de categorías más amplias dentro de la familia de las cervezas Ale. A continuación, se mencionan las seis categorías más populares:

Dry Stout: Muestra las características principales de las stouts, como el característico aroma a maltas tostadas y una espuma persistente y cremosa. Sin embargo, es la variante más ligera o menos corpulenta de este estilo y está estrechamente asociada con Irlanda, en particular con la marca Guinness.

Sweet Stout: Es la versión inglesa de la stout seca irlandesa, pero con menos alcohol (3-3,5%) y una menor densidad. Tiene un color ámbar y un sabor moderadamente dulce.

Oatmeal Stout: Su característica principal es la adición de avena al mosto de malta (entre un 5% y un 10%), lo que aporta proteínas, lípidos y gomas. Esto se traduce en una espuma persistente, fina y cremosa, así como en un gran cuerpo y cierta complejidad. Puede variar desde moderadamente dulce hasta muy seca. En sus inicios, se consideraba una bebida altamente nutritiva y se recomendaba para madres lactantes y personas con deficiencias en la alimentación.

Foreign Extra-Stout: Originalmente, eran stouts de alta densidad fabricadas para el mercado tropical y, por eso, también se las conoce como stouts tropicales. Son cervezas con más de 50 IBU, lo que significa que ofrecen un amargor intenso. Sin duda, son las más robustas del estilo.

American Stout: Al igual que cualquier stout, esta cerveza presenta aromas tostados de intensidad moderada a fuerte y, a menudo, notas cítricas o resinosas derivadas de las variedades americanas de levadura utilizadas. Su color oscuro se ajusta al estándar del estilo y en boca, se percibe un cuerpo de medio a intenso. Algunos expertos la describen simplemente como "una stout estilo foreign extra, lupulada, amarga y fuertemente tostada".

Imperial Stout (Russian Imperial Stout): Esta es una cerveza de alta densidad con un elevado contenido de lúpulo que los cerveceros ingleses crearon inicialmente para exportar al imperio ruso. Se dice que su popularidad en la corte imperial rusa dio origen a su nombre. El amor por esta cerveza se ha propagado ampliamente en todo el mundo, en gran parte debido al entusiasmo que los cerveceros artesanales estadounidenses le han brindado (González, 2017).

D. Cerveza artesanal tipo Pilsen

Esta fue la primera cerveza dorada y cristalina de baja fermentación que vio la luz en la historia cervecera. Su origen se remonta a 1842 en la encantadora ciudad de Pilsen, en la República Checa. Su nacimiento fue la respuesta a la insatisfacción de un grupo de ciudadanos checos frente a las estrictas normas de producción impuestas por los fabricantes de cerveza de la vecina Bohemia, quienes producían cervezas oscuras y densas. En busca de una alternativa más ligera y clara, decidieron crear su propia bebida, a la que llamaron "cerveza burguesa", en honor a la fábrica que la dio vida, la Cervecería Burguesa.

La cerveza Pilsner suele exhibir un moderado contenido alcohólico (entre 3 y 5%), un característico color dorado intenso y un sabor refrescante con cuerpo ligero. Lo que

la distingue es su malta única, la malta Pilsen. Dentro del mundo de las cervezas Pilsner, se pueden encontrar tres subestilos: el alemán, el bohemio y el americano. El primero se caracteriza por su sequedad y refrescante amargor persistente. El segundo emplea maltas Pilsen de Moravia, lo que le otorga más cuerpo y color en comparación con el estilo alemán, aunque con una carbonatación menor. El último subestilo presenta similitudes con el alemán, ya que fue concebido por cerveceros alemanes que emigraron a los Estados Unidos y utilizaron la misma receta, pero incorporando ingredientes estadounidenses como los lúpulos Cluster y Cascade (González, 2017).

E. Cerveza artesanal tipo lager

Estas son elaboradas mediante el empleo de levaduras *Saccharomyces carlsbergensis* (o *pastorianus*), las cuales tienden a descender hasta depositarse en el fondo del tanque, de ahí la expresión de baja fermentación. Estas levaduras fermentan de manera óptima a temperaturas entre 4 y 9 °C, en contraste con las de alta fermentación que lo hacen a temperaturas más altas. Requieren almacenamiento prolongado en tanques fríos luego de la fermentación. Antiguamente este almacenamiento era realizado en profundas y frías cavernas, lo que dio origen a la denominación lager, término proveniente del alemán «lagern», que significa almacenar. Los estilos más difundidos del grupo lager son pilsen, draft, ice, märzen, bock y rauch. Dentro de ellos, sin duda, el más comercializado a nivel global es el primero. (González, 2017)

F. Color

La tonalidad de la cerveza, aunque proviene de solo un tipo de materia prima, que son los granos, está sujeta al tratamiento que se le aplica. Los diferentes grados de tostado de la malta, y la mezcla que se haga de ella, proporcionan toda una gama de colores (González, 2017).

De las clasificaciones más tradicionales de la cerveza, además de los aspectos tales como temperaturas, procesos post fermentativos, ingredientes o aditivos, también se basa en el color, que puede tomar desde el convencional ámbar pasando por tonos más oscuros como los marrones rojizos hasta el negro (Gisbert, 2016).

Figura 1. Espectro de colores de las cervezas artesanales



Fuente: Gisbert, 2020

La evaluación del color es un elemento esencial en la elaboración de cerveza. Se utilizan diversas escalas, como Lovibond, el Método de Referencia Estándar (SRM) y la Convención Europea de Cervecerías (EBC), para medirlo. El valor SRM de la malta se relaciona con el color del mosto resultante al mezclar 1 libra de malta en 1 galón de agua (puedes encontrar más detalles en la sección adjunta). Es importante señalar que las maltas oscuras pueden tener un potencial de color cientos de veces mayor que las maltas pálidas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el mosto adquiere un color adicional durante la cocción debido a la formación de melanoidinas, un proceso que exploraremos en el Capítulo 6. Este fenómeno es especialmente relevante en las cervezas muy claras, ya que un cambio de 1 grado en el color SRM en una cerveza porter apenas se notaría. No obstante, la simple medición del color no cuenta toda la historia. Desde un punto de vista analítico, un mosto de color naranja brillante y otro de tono marrón grisáceo pueden presentar valores de color SRM similares, a pesar de manifestar notables diferencias visuales (Mallet, 2014).

G. Turbidez

La turbidez está formada por partículas en suspensión, que reflejan la luz. Entre estas partículas, destacan las células de levadura, las proteínas y los taninos (polifenoles), que son las principales culpables de los problemas de claridad. Para medir la turbidez tan sólo necesitamos un medidor de turbidez, es decir, un dispositivo especial que mide la intensidad de luz reflejada en las partículas de una muestra de cerveza, en un ángulo de 90 grados y, en general, según la escala de color EBC.

La turbidez es el parámetro utilizado para determinar el índice de partículas en suspensión en el medio y que de una u otra forma impiden el paso de luz y a la vez la reflejan. La luz reflejada es el principal factor para la determinación de la turbidez, se suele utilizar equipos para medir la turbidez de muestras líquidas, utilizando la reflexión de la luz como principio. Este instrumento tiene una cámara oscura inundada con agua, donde se coloca la muestra dentro de un recipiente adecuado. Se hace pasar un haz de luz a través de la muestra, una parte la atraviesa y otra parte es reflejada a un ángulo de 90°. La parte que atraviesa la muestra es medida en intensidad por una fotocelda, este es el haz de referencia. Los resultados de la turbidez se presentan en dos principales unidades de Turbidez las cuales son EBC: European Brewery Convention y FTU: Formation Turbidity Unit (Espinoza & Alfaro, 2015).

H. Extracto

Se manejan dos tipos de extracto, el extracto real y extracto aparente, el extracto real es una cifra que muestra la cantidad real de extracto que permanece en la cerveza después de la fermentación y que proporciona cuerpo, color, estabilidad de espuma y sabor a la cerveza. El extracto real depende de la gravedad original y de la cantidad de extracto que ha sido convertida en alcohol y en dióxido de carbono.

El extracto aparente es el extracto de la cerveza después de la fermentación, se llama aparente porque no corresponde a la concentración de las sustancias solubles presentes en la cerveza pues el alcohol afecta la densidad. Si el extracto final es más elevado que

lo deseado, una o más de las condiciones siguientes pueden ser las causas: La fermentación fue detenida por un enfriamiento prematuro, antes de alcanzar la fermentación final. Si el extracto aparente es menor que lo normal y el alcohol medido por peso también es menor, esto indica que la cerveza ha sido diluida con agua durante el proceso (Espinoza & Alfaro, 2015).

I. Unidades de amargor medido por IBU

Las Unidades Internacionales de Amargor (IBUs) miden la percepción del nivel de tenor amargo de la cerveza. Una IBU equivale a un miligramo de iso-alfa ácidos por litro de cerveza. Las IBUs se midieron a través de un espectrofotómetro a partir de su extracción con disolvente. El valor de IBUs también es obtenido a partir de una fórmula empírica con la cual los cerveceros ajustan sus recetas y formulaciones. El valor analítico obtenido representa la concentración total de compuestos amargos que contiene la cerveza (Díaz, Brown, & de Cuyo, 2020).

La composición del lúpulo, siendo un producto vegetal, exhibe notables variaciones. Por ejemplo, su capacidad para añadir amargura a la cerveza está sujeta a diversos factores, como el contenido de alfa-ácidos, particularidades de la cosecha, características propias de la marca, grado de isomerización, temperatura de ebullición del mosto, densidad de este y duración de la cocción.

Para lograr una estimación precisa de cómo una variedad específica de lúpulo afectará el amargor, los cerveceros maestros han ideado distintas escalas que les brindan una medida y pronóstico de esta influencia. A continuación, examinaremos algunas de estas escalas.

La escala IBU fue concebida por la Sociedad Americana de Químicos Cerveceros y es ampliamente aceptada hoy en día como el estándar para cuantificar el amargor de una cerveza. A diferencia de la escala HBU, la IBU se enfoca en la cantidad efectiva de alfa-ácidos presentes en la cerveza, es decir, el porcentaje que se ha transformado en iso-alfa-ácidos (también conocidos como iso-humulonas) durante la cocción del mosto. Esta escala varía de 0 a 100, donde las cervezas cercanas a 0 son más ligeras y menos amargas, aunque algunas excepciones excepcionalmente amargas pueden superar los 100 IBU. Para facilitar su interpretación, muchos fabricantes han establecido rangos empíricos de amargor basados en esta escala. En las grandes fábricas cerveceras, la medición de IBU se realiza directamente en el producto terminado mediante análisis químicos avanzados que utilizan espectrofotómetros o cromatógrafos.

Figura 2. Calificación de escala IBU

<u>IBU</u>	<u>Calificación</u>
5-10	Poco amargo
10-40	Amargo
40-60	Muy amargo
60-100	Extremadamente amargo
Más de 100	Excepcionalmente amargo

Fuente: Gonzáles, 2017

Por otro lado, en elaboraciones caseras y artesanales, es más sencillo y económico estimar previamente la cantidad de iso-alfa-ácidos en la cerveza antes de la fermentación. Varios autores han desarrollado fórmulas para calcular o predecir los IBU de una cerveza, aunque lamentablemente no hay consenso en la comunidad cervecera sobre un método único. Estas fórmulas suelen ser bastante complejas, pero para los fines de esta obra, se proponen las recomendadas por Michael Hall debido a su simplicidad y relevancia (Gonzáles, 2017).

Figura 3. Fórmula empírica para lúpulos agregados al principio de la cocción

$$IBU = \frac{18,7 \times \text{Onzas de lúpulo} \times AA \%}{\text{Galones de cerveza}}$$

Fuente: Gonzáles, 2017

Mientras más temprano se agregan los lúpulos en la cocción mayor será su eficiencia del extracto de ácidos-alfa, por lo cual los lúpulos que se agregan pasado el tiempo de cocimiento va disminuyendo la cantidad de amargor que le aporta al mosto, siendo que si se agrega al final de la cocción se les da un valor de 0 IBU ya que al no estar expuestos durante mucho tiempo a altas temperaturas no aporta más que aromas y sabores al mosto.

Figura 4. Fórmula empírica en la adición de lúpulos en fase intermedia del cocimiento

$$IBU = \frac{7,5 \times \text{Onzas de lúpulo} \times AA \%}{\text{Galones de cerveza}}$$

Fuente: Gonzáles, 2017

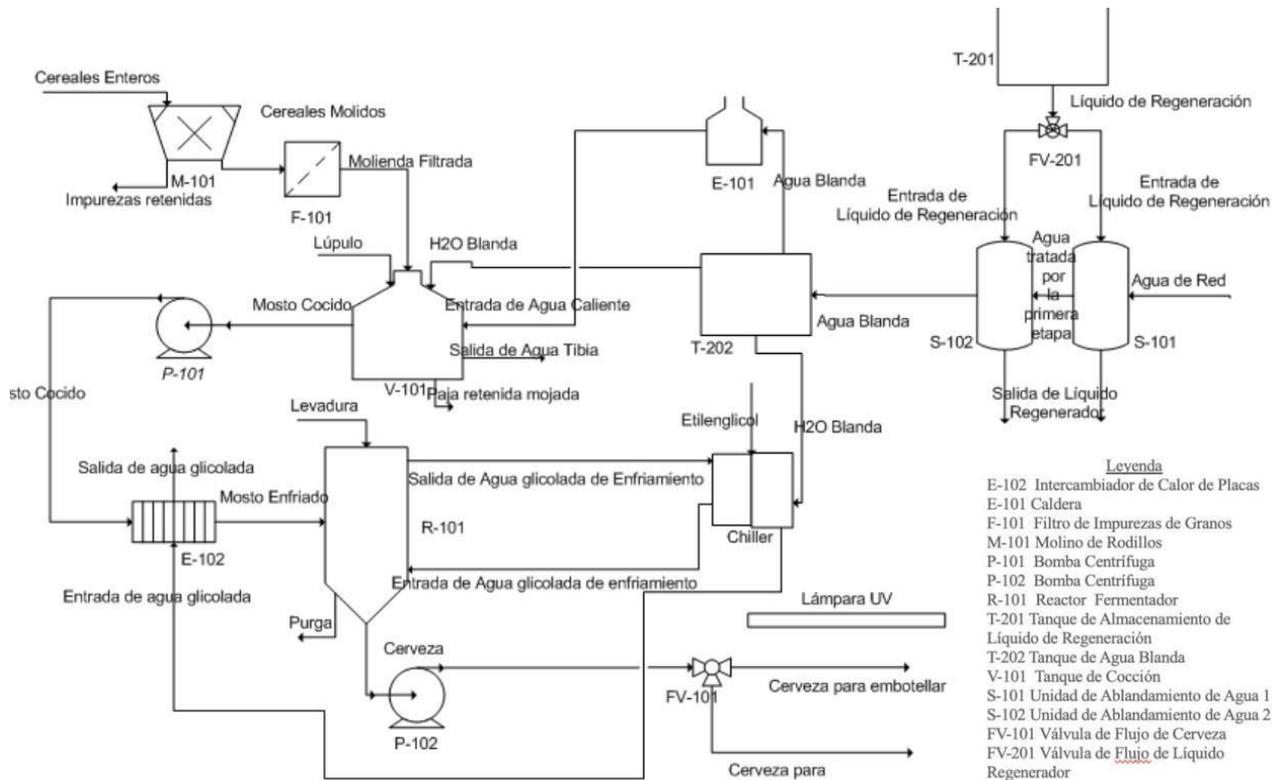
J. Proceso de la cerveza artesanal

El proceso de elaboración de cerveza artesanal está bastante estandarizado a nivel mundial. La mayoría de las cervecerías, artesanales y en escalas mayores, utilizan procesos muy similares y en líneas generales varían muy poco. El proceso consta de 3 grandes etapas: Molienda, Maceración/Cocción y Fermentación/Maduración. Cada uno

de los procesos es importante porque si falla alguno la calidad de la cerveza se ve afectada directamente. Sin embargo, la etapa central es la etapa de fermentación (Ñañez, 2020).

Más a detalle el proceso de elaboración de cerveza artesanal consta de las siguientes etapas principales: malteado del grano de cebada, molienda, maceración, filtración post maceración, cocción, fermentación, maduración, filtración final, carbonatación y envasado (González, 2017).

Figura 5. Proceso elaboración de cerveza



Fuente: Ñañez, 2020

K. Secado

Se recurre al secado para eliminar la mayor cantidad de agua de los granos consiguiéndose así una humedad próxima al 5 % esto sirve para prolongar los tiempos de almacenado del grano si no se va a moler inmediatamente después de germinar. Asimismo, el tostado también es empleado para reducir la cantidad de agua de los granos, pero a la vez que se le da una cierta tonalidad al grano que puede ir desde su color original hasta un color marrón oscuro, el objetivo que se persigue con el tostado es otorgar sabores diferentes a los granos, lo cual posteriormente dará una cerveza con un sabor más amargo y/o un color más oscuro (Gisbert, 2016).

L. Molienda

Este proceso se basa en la producción de partículas de pequeño tamaño de grano para que sea más fácil y rápido el proceso de ser atacadas por los enzimas en la cuba de maceración. Para la molienda se debe cumplir con aspectos tales como: No deben quedar granos sin moler, la mayoría de las cascarillas deben partirse de extremo a extremo, el endospermo (reservas de almidón) debe quedar libre de la cascarilla, homogeneizar el tamaño del endospermo y minimizar la cantidad (Gisbert, 2016).

La molienda de los granos de malta se erige como un proceso de importancia crítica en la producción cervecera, con un impacto significativo en múltiples parámetros clave. Este procedimiento implica la fragmentación de los granos de malta en partículas más pequeñas, lo que conlleva un aumento exponencial en la superficie específica disponible para el contacto con el agua durante la maceración. Este incremento en la superficie facilita la liberación de azúcares esenciales para la fermentación, garantizando una extracción homogénea que mantiene la uniformidad en el sabor y la calidad de la cerveza resultante.

Además de esta función primordial, una molienda adecuada mejora la eficiencia en la maceración, optimizando la solubilidad de los componentes necesarios para el proceso de fermentación. Además, contribuye a la formación de un lecho de filtración más eficaz en la etapa de filtración del mosto, lo que es esencial para obtener un líquido limpio y claro.

Es importante destacar que la molienda también ejerce una influencia determinante en el perfil de sabor de la cerveza, ya que permite a los cerveceros ajustar y controlar la concentración de compuestos aromáticos y sabores en el producto final. En resumen, la molienda de la malta es un eslabón crítico en la cadena de producción cervecera, asegurando la extracción eficiente de azúcares, la calidad y la homogeneidad del producto y permitiendo un control preciso de la elaboración (Ñañez, 2020).

M. Gelatinización del grano

La gelatinización es el proceso que ocurre en el grano de almidón cuando, por efecto de la temperatura, éste absorbe agua, se hace soluble y se transforma en un gel. En estas condiciones el almidón se hace traslúcido y semifluido. El fenómeno tiene una importancia vital para la maceración ya que las enzimas diastásicas solo pueden actuar sobre el almidón gelatinizado. De hecho, antes de someter la mezcla de granos a las temperaturas de actividad enzimática, ésta debe ser calentada hasta la temperatura de gelatinización específica para los granos que la constituyen. Para propiciar la gelatinización se recomienda la trituración o partido de los granos que se van a macerar con el objetivo de que el almidón se exponga completamente al agua. Por ello, la mayoría de los comercios que abastece a los fabricantes caseros y artesanales ofrece la opción de molienda previa de los granos cerveceros que vende (González, 2017).

Figura 6. Temperaturas de gelatinización específicas

Cebada	60-65 °C
Trigo	58-64 °C
Centeno	57-70 °C
Avena	53-59 °C
Maíz	62-74 °C
Arroz	68-78 °C

Fuente: González, 2017

N. Maceración

Consiste fundamentalmente en el proceso de someter una mezcla de agua y granos a una temperatura determinada y durante un tiempo específico con el objetivo de lograr que las enzimas de la malta (diastasas) actúen sobre los cereales y adjuntos no malteados transformando su almidón en azúcar fermentable. Una acción adicional que se consigue con la maceración es activar las enzimas que degradan las proteínas de alto peso molecular como son las proteasas a aminoácidos y oligopéptidos. Ello permite obtener una cerveza más transparente y una mejor retención de la espuma

Existe la maceración simple y escalonada, la simple consiste en someter la mezcla a solo un rango de temperatura. Ésta debe ser mantenida entre 65 y 68 °C durante una hora. Finalmente se retira el grano agotado y se tiene el líquido azucarado llamado mosto. La mayoría de los cerveceros caseros y muchos artesanales, ante el hecho de carecer de tanques termorregulados, optan por emplear una heladera portátil playera o «cava» para mantener la temperatura del proceso. En ella agregan los granos y el agua a una temperatura de 75 °C, de esta manera se logra que la mezcla se estabilice alrededor de 67 °C (González, 2017).

La maceración escalonada consiste en realizar la maceración en varias etapas, someten la mezcla a rangos de temperaturas específicos para activar así de manera selectiva las diversas enzimas involucradas en el proceso. Aunque la gama de enzimas capaces de ser manipuladas para lograr una maceración óptima es bastante amplia tales como: proteasas, Beta-amilasas (amilasas β), alfa amilasas (amilasas α) (González, 2017).

Principales reacciones enzimáticas de la maceración:

La transformación del almidón: El almidón es sometido a un proceso de degradación mediante dos enzimas clave, la α -amilasa y la β -amilasa. La α -amilasa trabaja para descomponer el almidón en dextrinas, que desempeñan un papel fundamental en la textura y la estabilidad de la espuma en la cerveza final. Por otro lado, la β -amilasa descompone el almidón en azúcares fermentables, en particular maltosa, que la levadura luego convierte en alcohol.

La degradación de las proteínas: Las proteínas son objeto de degradación gracias a las proteasas, que las convierten en péptidos y aminoácidos libres. Estos compuestos no solo proporcionan nutrientes esenciales para la levadura durante la fermentación, sino que también contribuyen al sabor de la cerveza, ya que son precursores de compuestos aromáticos. Además, tienen un impacto en la formación y la estabilidad de la espuma en la cerveza final. Este proceso es esencial para reducir la probabilidad de que las proteínas precipiten y nublen el producto terminado.

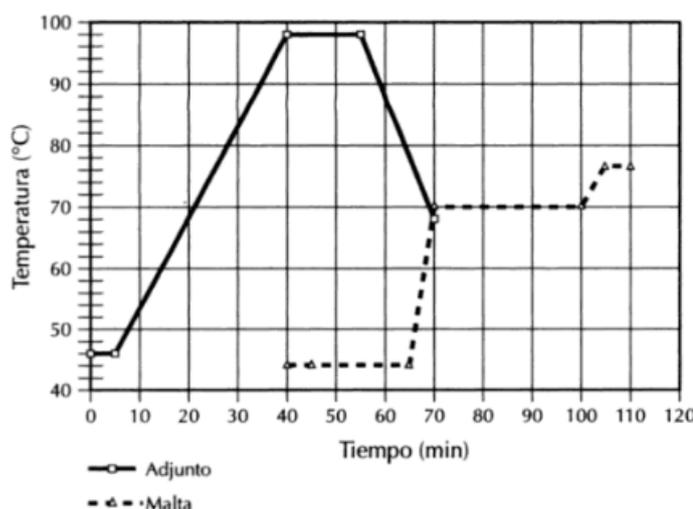
La degradación de β -glucanos: Las β -glucanasas son enzimas responsables de descomponer los glucanos, que son polisacáridos presentes en el mosto. Esta descomposición de los glucanos reduce la viscosidad del mosto, lo que facilita las operaciones de bombeo y filtración durante la producción de la cerveza.

Estas reacciones suelen ocurrir en diferentes condiciones de operación tales como el pH, tiempo y temperatura las cuales afectaran dependiendo de la combinación de estas.

En la etapa de maceración, uno de los parámetros clave bajo observación es el extracto, que se traduce en una medida de la densidad del líquido y está directamente vinculado a las sustancias solubles presentes, especialmente los azúcares.

El proceso se lleva a cabo siguiendo una curva de maceración meticulosamente diseñada por los cerveceros. En esencia, esta curva detalla las temperaturas y los tiempos específicos a los que la malta y los ingredientes adicionales deben someterse durante el proceso de maceración. Es importante destacar que esta curva es única para cada tipo de cerveza y suele mantenerse como un secreto bien guardado por los fabricantes (Hernández, 2016).

Figura 7. Ejemplo de una curva de operación del proceso de maceración



Fuente: Hernández, 2016

O. Cocción/hervido

Proceso por el cual se añade el característico sabor amargo de la cerveza además de asegurar un medio aséptico donde solo se encuentre la levadura que posteriormente se inoculará. Durante la cocción se hace que la mezcla hierva 90 minutos, durante los cuales se añadirá el lúpulo. Para la cocción se puede inocular el lúpulo directamente sobre el mosto y luego filtrarlo o añadirlo mediante recipientes de acero inoxidable perforado o con sacos de tela (Gisbert, 2016).

Las principales funciones que cumple esta operación son las siguientes:

Isomerización de los compuestos del lúpulo: Este paso se enfoca en la transformación de los alfa-ácidos del lúpulo en iso-alfa-ácidos o isohumulonas, compuestos que aportan amargor y solubilidad. Para lograr esta isomerización, es esencial mantener una ebullición sostenida por más de una hora y eliminar los excesos de aceites esenciales.

Coagulación de proteínas: Durante la maceración, algunas proteínas se disuelven en el mosto. Un exceso de proteínas coagulables podría interferir con el proceso de filtrado posterior y afectar la estabilidad coloidal de la cerveza. La aplicación de calor durante la ebullición induce la coagulación de estas proteínas por desnaturalización.

Concentración del mosto: Los lavados durante el lauter tienden a diluir el mosto, pero mediante la evaporación del agua durante la ebullición, se logra restablecer las concentraciones necesarias de solutos en el mosto.

Formación de compuestos aromáticos y de color: Parte del sabor y el color característicos de la cerveza se generan mediante la reacción de azúcares reductores con aminoácidos presentes en el mosto. Esta reacción depende de un suministro de energía calórica.

Inactivación de enzimas: Una vez se ha formado el mosto, es crucial desactivar cualquier actividad enzimática adicional, ya que podría alterar las características deseadas. La aplicación de calor es efectiva para este propósito.

Reducción de la carga microbiana: La ebullición elimina prácticamente cualquier microorganismo presente en el mosto, reduciendo significativamente el riesgo de contaminación durante el proceso.

Es importante destacar que, en la actualidad, durante la ebullición es común emplear aditivos como alginatos y carragenina o sílice gel para facilitar la clarificación del mosto en etapas posteriores y añadir color natural para intensificar el tono del producto final (Hernández, 2016).

P. Inoculación

Para este proceso la principal incógnita que se debe resolver en esta etapa de la fabricación es cuánta levadura debe agregar el encargado de elaboración. Los maestros cerveceros han llegado a la conclusión que la cantidad de levaduras ideal para obtener una fermentación efectiva es, en promedio, de 1 millón de células viables en cada mililitro de mosto. Por supuesto, esta cifra varía en función de diversos factores, siendo

el principal la cantidad de azúcares que serán fermentados, estimados como gravedad específica (G.E.) o grados Plató (°P). De lo anterior se deriva la siguiente fórmula.

Figura 8. Fórmula para determinación del uso de levadura

$$\text{Inóculo} = 1 \text{ millón cel. viables} \times \text{Vol. mosto (ml)} \times \text{° Plato}$$

A pesar de esto, el tipo y estilo de la cerveza que se está elaborando determina de manera explícita la concentración de células viables que debe contener un inóculo.

Entonces, es de esperar que aquellas cervezas que se fermentan a temperaturas relativamente bajas, como las lagers, requieran una cantidad mayor de levaduras (González, 2017).

Figura 9. Relación del inóculo con la gravedad específica para cervezas Lager

Cervezas Lager	
Gravedad original	Inóculo (millones de cel/ml mosto)
hasta 1,060	1
1,061-1,076	1,5
1,076-1,100	2

Fuente: González, 2017

Q. Fermentación

El proceso de fermentación se divide en varias categorías, dependiendo de los productos finales obtenidos. En el proceso de fermentación alcohólica, las enzimas producidas por la levadura degradan los carbohidratos en etanol y dióxido de carbono. Del mismo modo, el ácido láctico se produce a partir de carbohidratos en la fermentación del ácido láctico.

En la fermentación heteroláctica, una molécula de glucosa se convierte en una molécula de ácido láctico, una de etanol y una de dióxido de carbono (Mehta, Eldin, & Iwanski, 2012).

Figura 10. Reacción de la fermentación alcohólica



Fuente: Mehta, Eldin, & Iwanski, 2012

La fermentación alcohólica es una biorreacción que permite degradar azúcares en alcohol y dióxido de carbono. La *Saccharomyces cerevisiae*, es la especie de levadura usada con más frecuencia para bebidas alcohólicas (Vásquez & Dacosta, 2007). Este proceso es iniciado por la acción de una levadura que procesa los hidratos de carbono (azúcares como la glucosa, fructosa y sacarosa) obteniendo como resultado etanol,

dióxido de carbono y moléculas de ATP las cuales proceden a consumir a los microorganismos en su metabolismo celular anaeróbico, de esto resulta etanol el cual es el que se utiliza para muchas bebidas alcohólicas (Lee, 2019).

R. Turbidez

La turbidez no deseada es un problema el cual surge como consecuencia de prácticas inadecuadas de manufactura. Suele derivarse de tres causas principales, la cuales se mencionan a continuación.

- Presencia de materia vegetal y levaduras empleadas normalmente en el proceso de fabricación. Es una turbidez que puede ser corregida de forma sencilla.
- Condensación de ciertas proteínas por acción del frío, fenómeno conocido en el ámbito cervecero como chill haze. Éste consiste en la formación natural de complejos proteínas-taninos (ambos provenientes de la malta) que son solubles a temperatura ambiente pero no a las bajas.
- Desarrollo de levaduras y bacterias contaminantes. Se evidencia por un velo blanquecino que empaña la cerveza.

Los dos primeros defectos suelen ser corregidos mediante el agregado de agentes clarificantes que inducen la aglutinación y floculación de las partículas suspendidas, El tercero, sin embargo, es de difícil reversión y generalmente significa la pérdida del producto para el fabricante. Los clarificantes han sido agrupados, de manera empírica en clarificantes de olla, de fermentador y de botella, según la fase de elaboración en la cual son agregados.

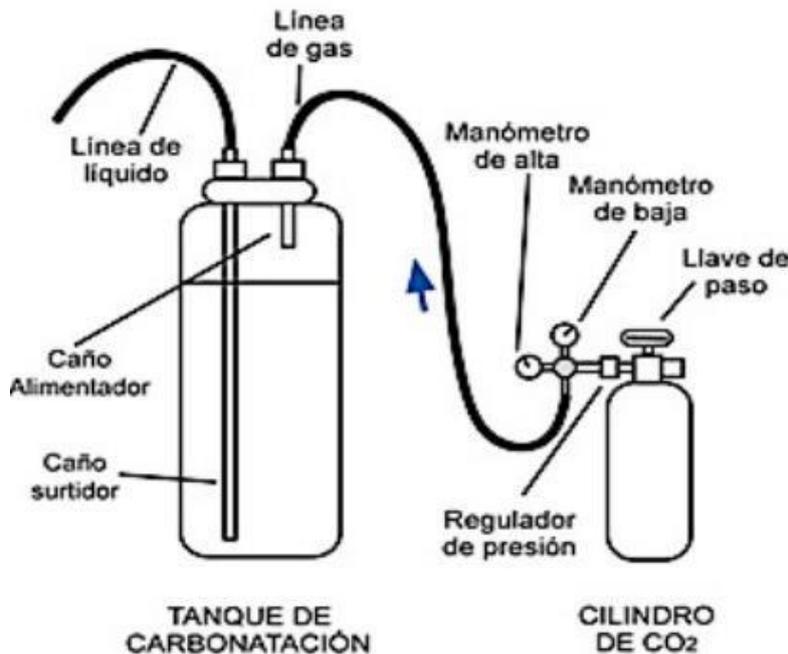
S. Maduración

La maduración del producto es una parte esencial en el proceso ya que asegura el afinamiento de los sabores y los olores de la cerveza. Cuanto más tiempo se tenga en maduración mayores matices tendrá nuestra cerveza. Las mejores cervezas se almacenan en barriles cuya fabricación puede ir desde el acero hasta cualquiera de las maderas existentes. Generalmente la maduración dura desde las 2 semanas hasta los 6 meses posteriores a la fermentación, aunque existen cervezas con tiempos de residencia mucho mayores. El proceso llevado a cabo artesanalmente es básicamente el mismo solo variarían los recipientes en los que se realicen las diferentes operaciones del proceso (Gisbert, 2016).

T. Carbonatación

Luego de pasar por el proceso de fermentación la cerveza procede a perder gran parte del gas generado. Existen dos métodos clásicos de carbonatación se suelen emplear en el rubro de cervezas artesanales para dar a sus productos el típico contenido de gas carbónico. El primero consiste en inducir una breve fermentación en la botella mediante el agregado de azúcar. El segundo, más complejo y técnico, se basa en la disolución de CO₂ directamente en el seno de la cerveza utilizando cilindros presurizados. Este último siendo el que más se utiliza, consiste en un cilindro que provee el gas carbónico y un regulador de presión, pasando de manera forzada debido a su alta presión disolviéndose en la cerveza (González, 2017).

Figura 11. Sistema de inyección de CO₂



Fuente: González, 2017

U. Pasteurización

Existe cierto debate en el mundo de la cerveza artesanal entre los cerveceros más conservadores que dicen que la cerveza no se debería de pasteurizar debido a la exposición a altas temperaturas a las que se tiene que exponer el producto terminado alterando la composición del producto. Mientras que otros piensan que si es necesario o es un valor agregado al producto para garantizar la inocuidad de la cerveza. La pasteurización desempeña un papel fundamental al brindar estabilidad y facilidad de almacenamiento al producto. Esto, lamentablemente, puede ir en detrimento de la pureza de los aromas y sabores, a veces dejando un matiz de sabor cocido. En el proceso de embotellado, la pasteurización se lleva a cabo a 60 °C durante 10 o 15 minutos para botellas. Mientras tanto, en los barriles destinados a la presión, la cerveza se somete a una pasteurización previa al envasado a 70 °C durante unos segundos, seguida de un enfriamiento rápido. Básicamente se realiza con el objetivo de eliminar los posibles microorganismos presentes en la cerveza después del filtrado (Pilla & Vinci, 2012).

V. Cerveza artesanal sin alcohol o bajo contenido de alcohol

Las cervezas artesanales sin alcohol son bebidas que están teniendo un auge muy grande en muchas partes del mundo, siendo características por como su nombre lo dice ser bajas en contenido alcohólico. La cerveza sin alcohol es una cerveza con un contenido muy bajo o nulo de alcohol, la mayoría de las cervezas sin alcohol son lager, pero también hay algunas variedades ale o inclusive oscuras como stout o porters. En

la Unión Europea, la cerveza no puede contener más del 1% de alcohol por volumen para ser etiquetada como “sin alcohol” a diferencia de Guatemala que en donde para ser comercializada como una cerveza “sin alcohol” con bajo contenido de alcohol debe contener un porcentaje en v/v menor al 0.5% (RTCA, 2023).

W. Métodos de producción de cerveza artesanal sin alcohol

Existen diversas técnicas para reducir o eliminar el contenido de alcohol en la cerveza, que generalmente se dividen en dos categorías principales:

- Tratamientos biológicos: Su propósito principal es limitar la generación de etanol, y a su vez, estos métodos pueden ser clasificados en diferentes categorías.
- Tratamientos físicos posteriores: En esta categoría se incluyen los procedimientos que se aplican después de que la cerveza ha sido elaborada para separar el etanol. Estos métodos tienden a eliminar una mayor cantidad de alcohol, pero a menudo requieren el uso de maquinaria especializada, lo que puede aumentar los costos del proceso.

Tratamientos biológicos:

a. Modificación del proceso de elaboración

Dado que la maceración es la fase encargada de convertir el almidón en azúcares fermentables mediante enzimas, esta técnica implica modificar la capacidad de degradación del almidón de forma física, química o bioquímica. Esto podría reducir la cantidad de maltosa en el mosto, lo que resultaría en una menor producción de etanol durante la fermentación por parte de la levadura. No obstante, el reto principal consiste en encontrar un punto de equilibrio que permita mantener las cualidades sensoriales del producto, ya que ajustar este proceso de manera óptima presenta dificultades (Brányik, et.al. 2012). Una de las formas más común de realizarse es iniciar con un mosto de baja concentración, generalmente logrado mediante la adición de agua al mosto inicial, seguido de una fermentación bajo control. No obstante, este enfoque plantea una cuestión importante, ya que aparte de resultar en un bajo contenido alcohólico, también conlleva una disminución significativa en el sabor (Muñoz, 2017).

b. Fermentación interrumpida

Esta técnica implica el uso de levadura común en el mosto y posteriormente luego de iniciar la fermentación, eliminar las levaduras en un periodo muy corto de tiempo para detener la fermentación. A pesar de evitar las complicaciones y desventajas asociadas con la desalcoholización, la fermentación reducida en tiempo no es adecuada para lograr una cerveza sin alcohol ni una conversión efectiva del mosto en cerveza. Esto resulta en un producto final con deficiencias en compuestos aromáticos y un sabor dominado por el mosto (Neves, 2019).

c. Uso de cepas de levadura modificadas o especiales

Esta técnica implica el uso de levaduras que solo pueden fermentar el mosto de manera parcial debido a su ineficiencia en la degradación de la maltosa, el azúcar más abundante en el mosto. Esto resulta en un rendimiento relativamente bajo en la producción de etanol (Neves, 2019).

d. Fermentación continua con cepas especiales

Esta metodología implica la fijación de estas levaduras a un sustrato sólido, después de lo cual tanto el sustrato como las levaduras se introducen en un reactor por el cual fluye el mosto. La principal ventaja de este enfoque es que la inmovilización de las levaduras resulta en una mayor cantidad de biomasa por unidad de volumen del reactor en un período de tiempo más breve. Aunque esta técnica facilita la formación de los característicos compuestos aromáticos de la cerveza, requiere la utilización de biorreactores especiales (Neves, 2019).

Tratamientos físicos:

a. Evaporación al vacío

Este procedimiento implica exponer la mezcla a temperaturas elevadas para permitir que el alcohol se evapore. Además, se utiliza un dispositivo de vacío para reducir la temperatura de ebullición y acelerar el proceso al disminuir el tiempo que el líquido permanece en la zona de calentamiento (Muñoz, 2017).

b. Evaporación convencional

Se emplean evaporadores de capa delgada que generan películas finas mediante procesos mecánicos a temperaturas y presiones moderadas. El alcohol se vaporiza y separa en un condensador mientras la cerveza sufre una desalcoholización parcial. Luego, el producto se somete nuevamente a este proceso en un segundo evaporador de flujo descendente para alcanzar una desalcoholización del producto hasta un 0.05% en volumen. También puede llevarse a cabo a temperaturas más altas alrededor de 90°C durante un periodo de tiempo entre 40 minutos y una hora. (Neves, 2019).

c. Rectificación continua al vacío

La cerveza con contenido alcohólico, producida en la fase de elaboración, pasa primero por un precalentamiento en un intercambiador de placas, elevando su temperatura a unos 42°C, un paso necesario para llevar a cabo el proceso de desalcoholización. Luego, el líquido entra en un ventilador que se encarga de eliminar el dióxido de carbono (CO₂), una sustancia que podría interferir con la desalcoholización. Una vez libre de CO₂, la cerveza fluye hacia una columna de rectificación y asciende por ella. A partir de este punto, ocurre la rectificación, donde el alcohol se evapora a una temperatura más baja de lo que se requeriría en una destilación simple, gracias a la aplicación de vacío en las condiciones de operación. El vapor resultante llega a un condensador donde se enfría y se obtiene como destilado, que puede ser comercializado como alcohol puro, proporcionando un beneficio adicional al proceso, como se mencionó previamente (Muñoz, 2017).

d. Filtración por membranas

Estos procedimientos se fundamentan en la aplicación de membranas semipermeables que tienen la habilidad de separar moléculas de menor tamaño, como el agua y el etanol, de los componentes presentes en la cerveza. Entre estas técnicas, cabe mencionar la diálisis y la osmosis inversa como ejemplos significativos (Brányik, 2012).

X. Características fenólicas en la cerveza

Los polifenoles desempeñan un papel fundamental como antioxidantes naturales que ejercen una notable influencia en la calidad de la cerveza. En este contexto, la capacidad antioxidante de la malta y la cerveza se vincula generalmente a compuestos fenólicos. En realidad, se ha comprobado que los ácidos fenólicos presentan una destacada actividad antioxidante gracias a su habilidad para ceder hidrógeno y electrones, además de formar intermediarios radicales estables que resguardan a otros compuestos de la oxidación. No obstante, los compuestos con una estructura flavonoide tienden a mostrar una actividad antioxidante aún más pronunciada en comparación con los compuestos no flavonoides, en gran medida debido a la presencia de grupos hidroxilo.

Para indagar en esta cuestión, se procedió a realizar un análisis mediante HPLC, donde se examinaron diversos compuestos, incluyendo derivados del ácido hidroxycinámico, como el vanílico, el cafeico y el p-cumárico, así como el derivado del ácido hidroxibenzoico conocido como siríngico. Paralelamente, se evaluaron componentes flavonoides clave, como la catequina y la quercetina, que son comunes en la mayoría de las cervezas. Los resultados pusieron de manifiesto que el ácido gálico exhibía la mayor concentración, con valores oscilantes entre 22.8 y 160 mg/L, seguido por el cafeico (2.0-5.10 mg/L), el vanílico (2.0-12.70 mg/L), el p-cumárico (1.0-2.40 mg/L) y el siríngico (1.0-2.26 mg/L). En lo que respecta a los flavonoides, la catequina registró valores en un rango de 1.1-11.96 mg/L, mientras que la quercetina fluctuaba entre 0 y 6 mg/L. Es importante destacar que es común observar en las cervezas tipo lager menores concentraciones de ácidos cafeico, siríngico y p-cumárico en comparación con las cervezas de estilo lambic y ale. Además, los ácidos fenólicos en las cervezas tienden a estar en forma conjugada (Manju, Kumar & Grover, 2023).

Figura 12. Perfiles fenólicos comunes en la cerveza

	Compuestos fenolicos (mg/L)							
	LB	CL	WB	CWB	AB	DB	BBB	KB
Vainilla	1.96	1.30	1.10	1.80	5.56	2.00	2.82	2.70
Ácido gálico	24.40	22.80	47.00	36.00	134.63	160.00	42.00	83.00
Siríngico	1.05	1.00	1.00	1.00	1.81	2.00	2.07	1.26
Café	2.63	3.40	2.00	3.00	4.05	18.00	2.74	5.10
P-Cumarico	1.15	0.90	1.12	3.00	3.14	2.87	1.26	1.40
Flavonoides (mg/L)								
Catequina	1.42	1.10	3.00	7.00	11.96	6.00	2.23	6.75
Quercetina	0.72	0.10	6.00	6.00	3.83	1.00	0.85	2.46

Fuente: Manju, Kumar & Grover, 2023

V. Antecedentes

En 2014 se elaboró un trabajo de graduación en la universidad de Guayaquil, Ecuador nombrado: *Propuesta para la elaboración y comercialización de una cerveza sin alcohol como bebida hidratante y nutritiva para la población de la ciudad de guayaquil*. En este proyecto se realizó una investigación de mercado de Guayaquil sobre la aceptación que tendría una cerveza sin alcohol, además de establecer el método de producción para la cerveza sin alcohol. Concluyendo que existen aspectos muy importantes que influyen en el éxito de la propuesta, como es la falta de una cerveza sin alcohol en el mercado y la forma de promocionar el producto, al igual que un amplio mercado a favor del 26% para la venta en la ciudad de Guayaquil (García, 2004).

En el 2017 se elaboró un trabajo de graduación en la universidad de Sevilla titulado: *Diseño de una planta de desalcoholización de cervezas en microcervecías con una producción de 18.5 L/h*. En este proyecto se realizó una búsqueda de las diferentes técnicas de desalcoholización existentes y aplicables en grandes industrias. Teniendo en cuenta las principales características de cada una de ellas, siendo seleccionada la que mejor se aplica a microcervecías, la cual fue la rectificación continua a vacío, para realizar el diseño del proceso utilizando una columna de destilación se definieron condiciones de operación y se realizó un prediseño de forma manual empleando el método de McCabe-Thiele (Muñoz, C. 2017).

En 2020 se realizó un proyecto de graduación en la universidad nacional de Nicaragua titulada: *Estudio del proceso de producción de una cerveza artesanal en bajo porcentaje de alcohol*. En este proyecto se identificó que la levadura mayormente utilizada es de la familia cerevisae (fermentación alta) donde se realizó una búsqueda en la literatura para una levadura que tenga un efecto para un bajo porcentaje de alcohol, donde se identificó que la más apropiada es WYFAST 1318 (London III) en consideración a las condiciones climáticas de Nicaragua. Se comparó teóricamente las cervezas artesanales en consideración al porcentaje de alcohol, dentro de las cuales se encuentran las cervezas tipo Ale (Fermentación alta), Lager (Fermentación baja) e industriales en donde se describió un proceso tecnológico acertado de cervezas artesanales en bajo contenido de alcohol teóricamente (Aguirre, et. al. 2020).

VI. Metodología

A. Limpieza de equipos

1. Se realizó una solución de soda caustica pesando 150 g de NaOH en 1.5 L de agua caliente para obtener una solución al 10%.
2. Se procedió a agregar la solución al Braumeister durante 10 minutos, luego de pasar el tiempo se procedió a retirar la solución dejando escurrir lo mejor posible.
3. Se realizó una solución de ácido clorhídrico pesando 150 g y agregándolo a 1.5L de agua para tener una solución al 10%.
4. Se añadió la solución al 10% de HCl al Braumeister durante 10 minutos. Luego de pasar el tiempo se procedió a retirar la solución dejando escurrir lo mejor posible.
5. Por último, se dejó circular agua en el Braumeister para retirar cualquier traza restante de las soluciones de limpieza.

B. Producción de cerveza por método de evaporación de etanol y uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri* (LA-01)

1. Preparación del agua de proceso

- a. Se agregó agua tratada la cual pasa por un filtro de luz UV y carbón activado al Braumeister hasta la línea que indica 20 L.
- b. Con el objetivo de obtener un pH de 5.4 en el agua se pesó 4 g de sulfato de calcio dihidratado, 3 g de cloruro de calcio dihidratado y 10 g de ácido láctico.
- c. Se agregaron todos estos químicos a un beaker de 50 mL y se agito hasta obtener una solución homogénea.
- d. Posteriormente se agregó la solución reguladora del pH al Braumeister.

2. Molienda

- a. Se utilizó un molino de rodillos del cual se limpió la superficie quitando restos de moliendas anteriores con una brocha para molino.
- b. Se ajustó los rodillos del molino a una separación de 1.5 mm.
- c. Se peso en una cubeta ya tarada 6.8 lb de malta pilsen.
- d. Se colocó otra cubeta debajo del molino de rodillos para recibir la malta molida.
- e. Se encendió el molino de rodillos y se agregó gradualmente las 6.8 lb la malta por la tolva del equipo.
- f. El producto molido obtenido en la cubeta colocada en la parte de abajo se pesó para determinar la pérdida de materia prima durante el proceso.

3. Maceración/Cocimiento

- a. El agua contenida en el Braumeister se calentó hasta 50°C.
- b. Se colocó el malt pipe con las dos mallas inferiores de diferente mesh.
- c. Se agregó lentamente la malta refinada mientras se agita con delicadeza.

- d. Luego de agregar toda la malta se procedió a colocar la última malla y asegurar el malt pipe con la tuerca de mariposa superior.
- e. Se prendió el motor del equipo para generar la convección forzada del mosto y se tapó el Braumeister, elevando la temperatura gradualmente hasta 61°C. Al llegar a esta temperatura se inicia la maceración y la contabilización del tiempo la cual fue de 50 minutos.
- f. Al terminar los 50 minutos se inició el proceso de mash out en donde se elevó la temperatura a 74°C y se contabilizó 10 minutos.
- g. Se apagó la bomba y se procedió a elevar el malt pipe con guantes de calor y se dejó sostenido en una barra para que drenara durante 5 minutos.
- h. Se sacó el malt pipe utilizando guantes de calor y se retiró el afrecho o residuo (cascara y solidos de la malta), el cual al enfriar se procedió a pesarlo.

4. Ebullición/Hervido

- a. Ya únicamente con el mosto en el Braumeister se elevó la temperatura a 92°C.
- b. Se pesó 11.34 g (0.4 oz) de lúpulo sorachi ace en un beaker de 100 mL en forma de pellets en lo que el Braumeister llega a la temperatura deseada.
- c. Al llegar a los 92°C se empiezan a contabilizar 60 minutos dejando sin tapa el equipo.
- d. Al llegar a los 10 minutos se agregó los 11.34 g de lúpulo dejando el mosto ebulviendo sin tapadera durante el resto de los 50 minutos.
- e. Se agregó 4 gotas de antifoam para ayudar a que no se cree tanta espuma por la convección que genera la temperatura en el mosto.
- f. Se sacó una muestra para determinar la gravedad original con un hidrómetro y refractómetro.

5. Cooling

- a. Finalizando los 60 minutos se procedió a colocar rápidamente un serpentín con una punta conectada con manguera hacía la salida de la fuente de agua y la otra punta con otra manguera hacía el punto de desecho del agua.
- b. Se deja fluir el agua hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 20°C, esto para detener la acción de los alfa-ácidos del lúpulo y otros procesos químicos.
- c. Se midió el tiempo de enfriamiento.
- d. Al llegar a la temperatura deseada se dejó reposar durante 10 minutos.
- e. Se sacó una muestra para determinar la gravedad original con un hidrómetro y refractómetro.

6. Activación de levadura

- a. Se agregó agua en un recipiente de acero inoxidable y en una estufa se procedió a llegar al punto de ebullición dejándolo a dicha temperatura durante 10 minutos.
- b. Al finalizar los 10 minutos se esperó a que el agua disminuyera a una temperatura alrededor de 25°C.
- c. Se esterilizó 2 beakers de 500 mL con alcohol etílico al 70% y se agregó aproximadamente 130 mL de agua en cada beaker.
- d. Se peso 14 g de levadura saccharomyces cerevisiae (W) en un beaker y 14 g de levadura Saccharomyces cerevisiae var. Chevalieri LA-01 (L) en otro beaker.

- e. Se agregó los 14 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (W) y 14 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. Chevalieri LA-01 (L) en sus respectivos beaker y se tapó con aluminio agitando muy suavemente.

7. Dilución de mosto

- a. Se traspasó 8.04 kg de mosto a un tanque de fermentación con capacidad de 20L de acero inoxidable.
- b. El resto de mosto siendo de 8.03 kg se traspasó a otro tanque de fermentación de igual manera de 20L y de acero inoxidable.
- c. Según lo calculado originalmente para obtener una gravedad original de 1.020 se procedió a diluir los mostos agregando 7.74 kg de agua en el primer tanque de fermentación el cual se rotuló con el nombre W.
- d. Al segundo fermentador se diluyó con 7.77 kg de agua rotulándolo con el nombre L.
- e. Se procedió a agregar la levadura ya activada a ambos tanques según su rotulado.

8. Fermentación

- a. Por medio de CO₂ presurizado conectado a una boquilla con una manguera se removió el oxígeno que existía dentro de los tanques de fermentación.
- b. Se procedió a colocar una manguera en una de las boquillas del tanque de fermentación colocando la otra punta de la manguera en una probeta con agua sirviendo como trampa de CO₂, esto para ambos tanques de fermentación.
- c. El tanque W se dejó durante 14 días fermentando.
- d. El tanque LA-01 únicamente se dejó fermentar durante 3 días.
- e. Luego de su respectivo tiempo de fermentación y maduración se trasladó ambos tanques a un refrigerador a 3°C durante 2 días para realizar el cold crashing y cortar el proceso de fermentación.
- f. Se sacó una muestra para determinar la gravedad final de ambos tanques con un hidrómetro y refractómetro.

9. Carbonatación

- a. Se conectó dos mangueras esterilizadas, una en cada alimentación del tanque, se dirigió una manguera hacía un keg y otra proveniente de un tanque de CO₂ presurizado con el cual se trasvaso la cerveza.
- b. Se dejó presurizados los dos kegs a 3°C durante 2 días a una presión de 20 psig para obtener el volumen de carbonatación deseado.
- c. Se determinó el %v/v de CO₂ en el producto final utilizando un zham and nagel por medio de la presión y temperatura.

10. Evaporación de Lote W

- a. Se conectó una manguera en la salida del tanque y en la entrada otra manguera conectada al tanque de CO₂ presurizado.
- b. Se trasladó la cerveza nuevamente hacía el Braumeister por medio del CO₂ presurizado.
- c. Se programó el Braumeister para que trabajara a una temperatura de 92°C durante 40 minutos para evaporar el exceso de etanol presente en la cerveza para llegar a 0.5 % v/v.

11. Enlatado

- a. Para ambos lotes se realizó el enlatado de la misma manera, se conectó una manguera proveniente del tanque de CO₂ para transferir la cerveza a las latas.
- b. Se colocó un sensor de nivel para obtener un volumen estándar en todas las latas.
- c. Por medio del equipo de marca Cannular se enlato el producto para dejarlo en su presentación final.

12. Pasteurización de lote LA-01

- a. Luego del proceso de enlatado, se colocaron las latas obtenidas dentro del macerador de la planta.
- b. Se agregó 50 L de agua y se procedió a calentar a una temperatura de 64°C durante 30 minutos.

13. Pruebas microbiológicas

Prueba NBBA AGAR:

- a. Se preparó el medio de cultivo NBBA AGAR el cual fue el utilizado para realizar los análisis microbiológicos de la cerveza tanto del lote W como el LA-01.
- b. Se colocó un frasco de agar en el autoclave durante 15 minutos a 98°C.
- c. Se vertió el medio en cajas Petri y se dejó en refrigeración hasta tener una consistencia gelatinosa sólida.
- d. Se preparó el manifold para sembrar las muestras por filtración colocando una membrana blanca de 0.45 micras, y se vertió 150 ml de muestra en la copa.
- e. Luego de que se filtró la muestra, se colocó la membrana en la caja Petri con el medio preparado anteriormente y se dejó incubando a 28°C durante 6 días.
- f. A los 6 días se sacaron las cajas Petri y se evaluó si presentaba crecimiento microbiano de lactobacilos.

Prueba con agar mosto:

- a. Se disolvió 44.5 g de agar en polvo en 1 L de agua desmineralizada y se dejó reposar durante 15 minutos para luego agregar 10 mL de glicerina.
- b. Se calentó y agito con un agitador magnético hasta que todo el agar estuviera disuelto.
- c. Se procedió a esterilizar el agar en autoclave durante 15 minutos a 121°C y luego se vertió en cajas Petri agitando constantemente de manera lenta.
- d. Se preparó el manifold para sembrar las muestras por filtración colocando una membrana negra de 0.65 micras, y se vertió 150 ml de muestra en la copa.
- e. Luego de que se filtró la muestra, se colocó con pinzas esterilizadas la membrana en la caja Petri con el medio preparado anteriormente y se dejó incubando a 37°C durante 4 días.
- f. A los 4 días se sacaron las muestras de la incubadora y se evaluó si presentaba crecimiento de levadura.

Prueba con sulfato de cobre:

- a. Se colocó frascos a utilizarse de sulfato de cobre en el autoclave durante 15 minutos a 98°C.

- b. Se vertió el medio en cajas Petri y se dejó en refrigeración hasta tener una consistencia gelatinosa sólida.
- c. Se preparó el manifold para sembrar las muestras por filtración colocando una membrana negra de 0.65 micras, y se vertió 150 ml de muestra en la copa.
- d. Luego de que se filtró la muestra, se colocó la membrana en la caja Petri con el medio preparado anteriormente y se dejó incubando a 28°C durante 4 días.
- e. A los 4 días se sacaron las cajas Petri y se evaluó si presentaba levadura salvaje.

14. Concentración de alcohol

- a. Se realizó mediciones de gravedad original y gravedad final en el proceso de elaboración de las cervezas.
- b. Con estos valores se procedió a determinar el valor esperado de alcohol en %v/v por medio de una ecuación empírica, la cual es la multiplicación del factor 131.5 por la diferencia de la gravedad original y la final.
- c. Con el producto terminado se procedió a utilizar un alcoyzer de Anton Paar obteniendo un valor más preciso del porcentaje de alcohol en v/v.
- d. Para esto se colocó un triplicado de cada cerveza a descarbonatar durante 5 minutos, luego se procedió a filtrar las muestras con papel filtro.
- e. Luego se colocó un triplicado de las muestras filtradas en viales de 50 mL.
- f. Estos viales se ingresaron al carrusel del equipo y se configuró el equipo para obtener el análisis de porcentaje de alcohol en la muestra.

15. Determinación de extracto, turbidez y IBU

Determinación de extracto original, real y aparente:

- a. Se realizó este análisis por medio del analizador de cerveza alcoyzer de marca Anton Paar.
- b. Para esto se colocó un triplicado de cada cerveza a descarbonatar durante 5 minutos, luego se procedió a filtrar las muestras con papel filtro.
- c. Luego se colocó un triplicado de las muestras filtradas en viales de 50 mL.
- d. Estos viales se ingresaron al carrusel del equipo y se configuró el equipo para obtener el análisis de extracto real y aparente en la muestra.

Medición de turbidez:

- a. Para este análisis se utilizó un turbidímetro
- b. Se procedió verificando que el agua esté circulando correctamente en el equipo. Luego se configuró para que el equipo tuviera las unidades correctas.
- c. Se llenó una botella de presión con la muestra a analizar, luego se abrió la compuerta del turbidímetro y se introdujo la muestra.
- d. Se presionó el botón “start” y se anotó el valor de turbidez registrado.

Determinación de IBU:

- a. Se descarbonató ambas cervezas durante 5 minutos.
- b. Se colocó 10 mL de muestra de cerveza a un tubo de centrifuga con tapa de 50 mL.
- c. Se añadió 3 gotas de silicona antiespumante a la muestra para prevenir la formación de espuma y coagulación durante la extracción para luego agregar 0.5 mL de HCl 6N y 20 mL de Isooctano.

- d. Se taparon los tubos y se agitó mecánicamente durante 15 minutos a 20°C.
- e. Se configuró el espectrofotómetro a una longitud de onda de 275 nm y se colocó una celda de cuarzo de 10mm con isooctano como blanco.
- f. Se procedió a pipetear la emulsión para obtener la fase clara suspendida en la parte superior la cual es la muestra que se desea leer en el espectrofotómetro.
- g. Se tomó la lectura dada por el espectrofotómetro y se multiplico por un factor de 50.

C. Balance de masa y energía

1. Se realizó los cálculos de la cantidad de materia prima que se necesitaría al utilizar la capacidad del Braumeister de 20 a 25 L.
2. Los balances de masa y energía se trabajaron de manera separada según el método analizado por medio de la medición de lo utilizado y las perdidas obtenidas en cada parte del proceso, al igual que la cuantificación del consumo energético.

D. Catado de análisis sensorial

1. Se realizó un panel de catado triangular y de análisis sensorial para 48 personas.
2. Se le colocó las muestras a cada persona de forma aleatoria habiendo dos muestras de un lote y una muestra del otro lote, con el objetivo de evaluar y determinar cuál es la cerveza diferente.
3. Junto con las muestras se les coloco a los panelistas un vaso con agua y galletas sin sal para neutralizar su paladar luego de evaluar cada muestra.
4. Se les pasó una boleta con los datos de los tres vasos para que pudieran colocar cual creían que era la muestra diferente y un espacio para los comentarios en donde colocaron que fue lo que notaron distinto como para elegir la muestra distinta.
5. Posteriormente se les dejó únicamente 2 vasos, uno con cada cerveza, y se le pidió que por medio de una encuesta evaluaran individualmente del 1 a 10, siendo 1 poco agradable y 10 muy agradable, diferentes aspectos organolépticos de cada cerveza como lo es el aroma, espuma, color, sabor, amargor y cuerpo.
6. En la encuesta también se le solicitó la información general de la persona como su género, edad, que tan frecuente era su consumo de cerveza, si sabía de la existencia de cervezas sin alcohol (o bajo contenido de alcohol), si estaría dispuesto a comprar cervezas sin alcohol.

E. Análisis estadístico

1. Se realizó en Excel 2016 para los cálculos descritos a continuación.
2. Para el catado triangular se realizó un análisis por medio de la prueba t para evaluar si hay una diferencia significativa en las percepciones entre las dos muestras.
3. La evaluación realizada para las características organolépticas de ambas cervezas se analizó por medio de prueba t, prueba F, estadística descriptiva.

F. Elaboración de diseño y ficha de especificaciones del equipo para el método ganador

1. Se determinará el método que prefiere el panel de catado según el catado triangular y la comparación de ambas muestras.
2. Si el panel prefiere el método W se realizará el diseño y ficha de especificaciones de un equipo para la remoción de alcohol acorde a la capacidad de la planta de la cervecería Quiscalus.
3. Si el panel prefiere el método L se realizará la propuesta para una pasteurizadora acorde a la capacidad de la planta de cerveza Quiscalus.

VII. Resultados

Tabla 1. Porcentaje de alcohol según método utilizado buscando el <0.5% v/v.

Método	Porcentaje de alcohol (%v/v) Lote 2		Porcentaje de alcohol (%v/v) Lote 1	
	Resultado	Porcentaje de error (%)	Resultado	Porcentaje de error (%)
Método W (<i>saccharomyces cerevisiae</i>)	0.52	4.0	1.58	216
Método L (LA-01)	0.31	0	3.02	504

Tabla 2. Especificaciones finales obtenidas según método utilizado lote 2.

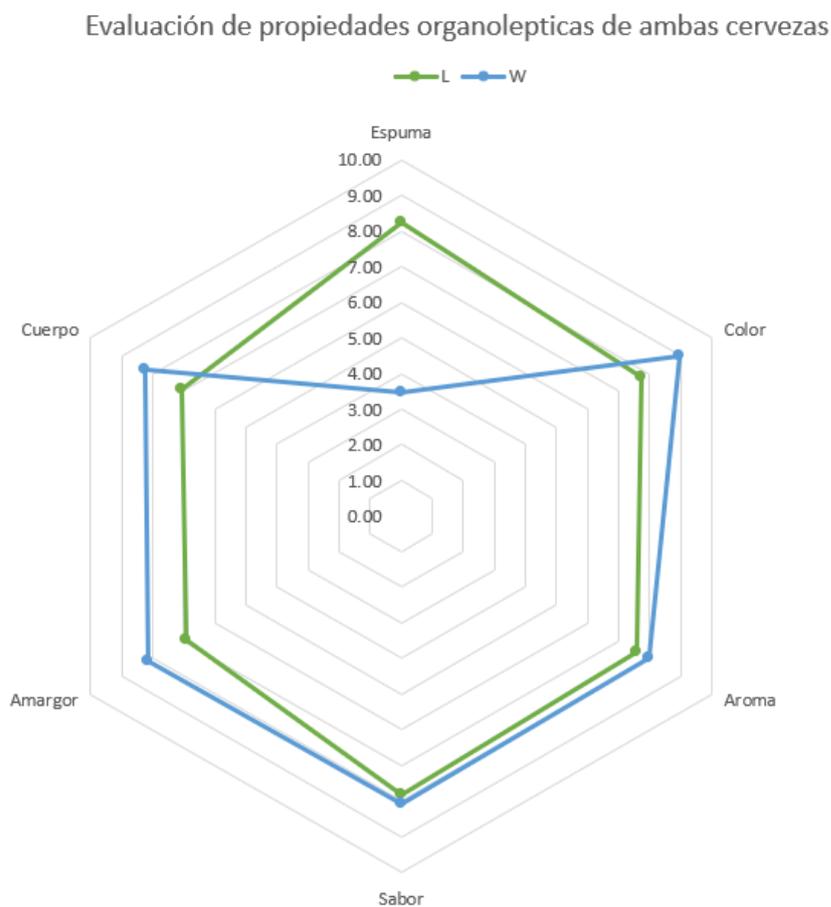
Especificaciones	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>Chevalieri</i> LA-01 (L)	<i>saccharomyces cerevisiae</i> (W)
% de alcohol (V/V)	0.31	0.53
IBU (EBC)	7.88	8.15
Color (EBC)	8.18	5.63
Turbidez (EBC)	18.3	14.0
%CO ₂ (V/V)	2.57	1.92
pH	4.49	4.45

Extraído del apartado de cálculos de muestra cálculo 29, y cálculo 31. Así como del apartado de datos calculados en la Tabla 24, Tabla 26 y Tabla 28

Tabla 3. Resultados microbiológicos para producto terminado de ambos métodos

Método (Lote 2)	Agar NBBA (Lactobacilos)	Agar Mosto (Levadura)	Sulfato de cobre (Levadura salvaje)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>Chevalieri</i> LA-01 (L)	Negativo	Negativo	Negativo
<i>saccharomyces cerevisiae</i> (W)	Negativo	Negativo	Negativo

Tabla 4. Resultado de panel de comparación organoléptica entre ambos métodos de cerveza



Resultados obtenidos del panel sensorial presentado en la Tabla 20 y Tabla 21 del apartado de datos originales.

Tabla 5. Prueba t para propiedades organolépticas evaluadas durante el catado

Especificaciones	Media obtenida método L	Media obtenida método W	Prueba t para diferencia de medias
Espuma	8.25	3.48	16.93
Color	7.75	8.96	4.70
Aroma	7.60	8.00	1.55
Sabor	7.83	8.06	0.92
Amargor	6.94	8.17	4.87
Cuerpo	7.08	8.23	4.73

Resultados estadísticos mostrados en las Tablas 32 a 36 en el apartado de datos calculados

Tabla 6. Prueba P y F para propiedades organolépticas evaluadas durante el catado

Especificaciones	Prueba P	Prueba F
Espuma	2.59E-30	0.54
Color	8.77E-6	1.98
Aroma	0.122	1.02
Sabor	0.359	0.68
Amargor	4.42E-6	0.78
Cuerpo	7.75E-6	1.34

Resultados estadísticos mostrados en las tablas 32 a 36 en el apartado de datos calculados.

Figura 13. Dimensionamiento de evaporador

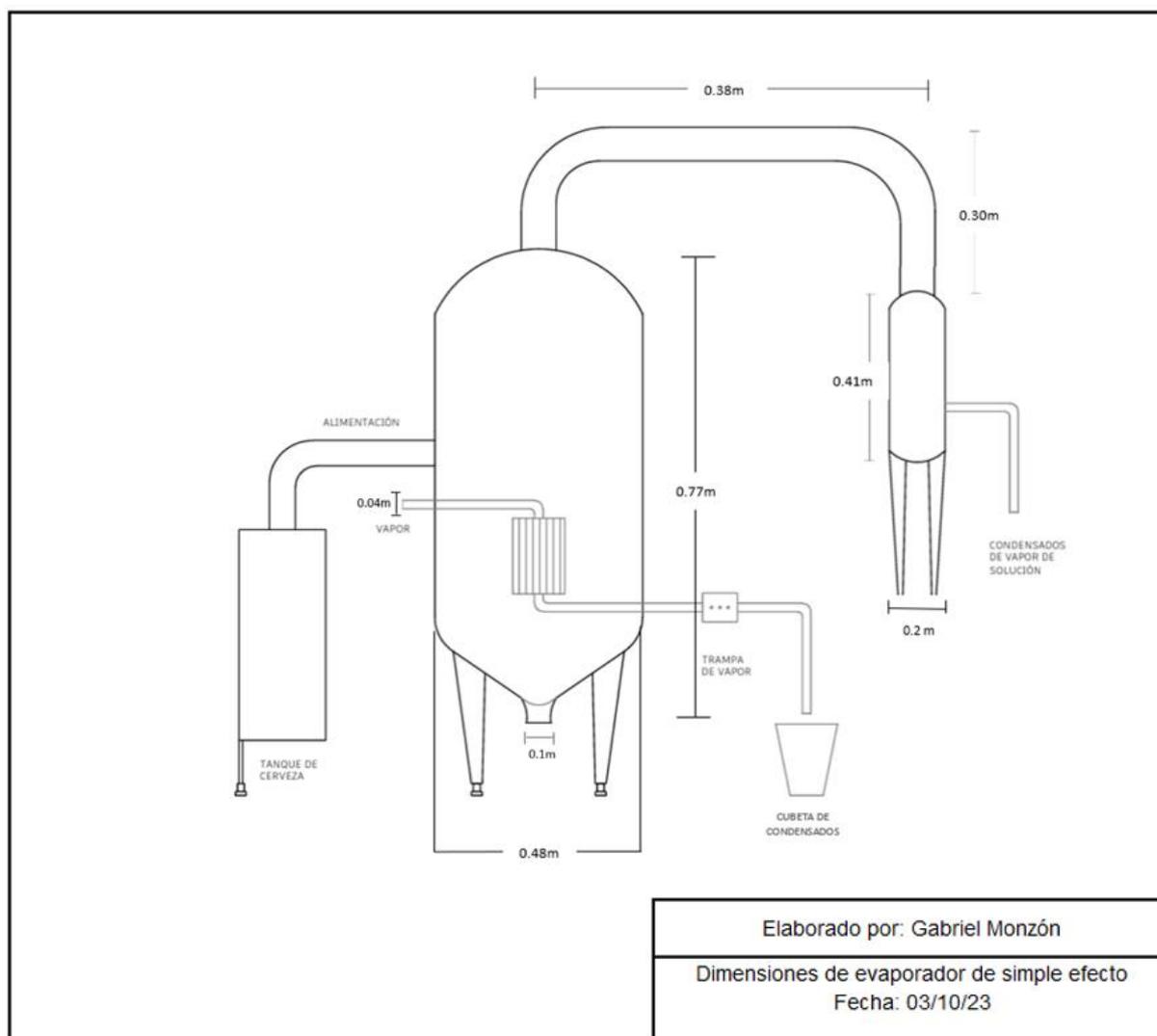
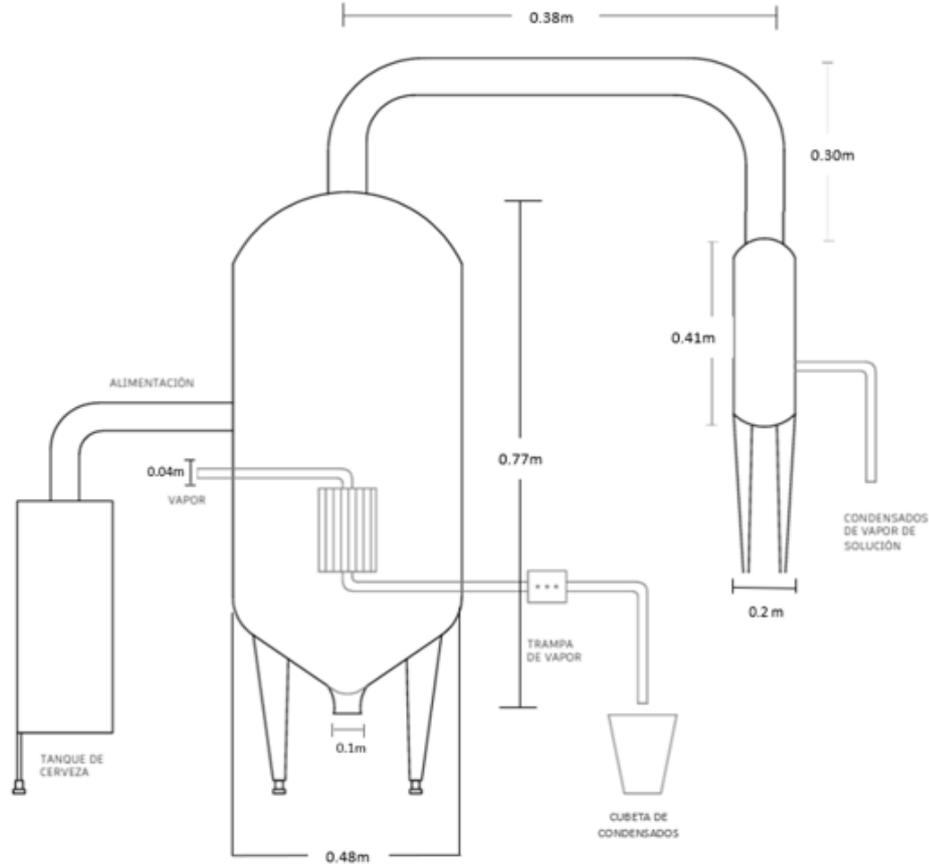


Figura 14. Ficha técnica de evaporador de simple efecto

				Ficha de especificación del evaporador de simple efecto		Doc. No: 1	
Nombre del equipo: Evaporador de simple efecto							
Proveedor		Pendiente					



Información de operación		Materiales de construcción	
Temperatura de entrada de vapor	110 °C	Tuberías	Acero inoxidable 304
Temperatura de alimentación	15 - 20 °C	Evaporador	Acero inoxidable 304
Presión de operación	48.3 KPa	Condensador	Aleación Aluminio
Alimentación de vapor	30 Kg/h	Serpentín	Acero inoxidable 304
Alimentación de cerveza	120 L		
Reglas de diseño			
Trampa de vapor	Mecanica/cúbeta invertida	ASME Sec. VIII Div. 1	
Limpieza en evaporador	CIP	ASME serie B31. 3	
Largo de serpentín	0.58 m		
No. De paso o vueltas	4	Tipo de condensador	Barométrico/riego
Díametro interno	0.08 m	Altura	0.41 m
Coefficiente de transf. De calor	375.94 W/m ² °C	Díametro	0.2 m
Volumen total	120 L		
Volumen de diseño	140 L		
Altura	0.77 m		
Diámetro	0.48 m		
Radio de evaporador	0.24 m		
Area de superficie	2.23 m ²		

VIII. Discusión

El presente trabajo se realizó con el objetivo de comparar los resultados de dos métodos para la elaboración de una cerveza artesanal estilo pilsen sin alcohol, cumpliendo lo establecido con el reglamento técnico centroamericano en donde el porcentaje de alcohol en volumen tiene que ser menor al 0.5% para poder ser llamada una cerveza sin alcohol o con bajo contenido de alcohol. Se realizó el primer lote de la experimentación utilizando la receta original de la cervecería artesanal Quiscalus establecida para 120 L el lote, modificando las cantidades para trabajar cada lote de 20 litros. Se trabajó con dos levaduras distintas, una para el método W en donde se utilizó una cepa *Saccharomyces Cerevisiae* con atenuación aparente según información del proveedor de 79% y para el método L se trabajó con una cepa de levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. Chevalieri (LA-01) con una atenuación aparente según información del proveedor del 15%. A partir de esto giró la comparación de ambos métodos en donde en el método W se realizó el proceso de producción manera normal con dos semanas de fermentación únicamente añadiendo la operación de evaporación en el proceso para evaporar el porcentaje de etanol sobrante de la cerveza, haciéndolo a 90°C durante 40 minutos. Por otro lado, el método L se realizó con la cepa especial la cual esta modificada para no asimilar los azúcares maltosa y la maltotriosa y únicamente ser afin a la glucosa, fructosa y demás azúcares simples. Exponiéndola a un periodo de fermentación de dos semanas y sometiéndola a un proceso de pasteurización. La cerveza se realizó por medio de un solo mosto con el objetivo que para los dos métodos se tuvieran las mismas condiciones al llegar al proceso de fermentación, por lo que el proceso de maceración, hervido y enfriamiento fue solo uno, luego de esto se realizó la separación en 2 del mosto diluyendo cada uno de los mostos con agua para llegar a una gravedad original deseada.

Para el método W al tener como objetivo una cantidad de 0.5% v/v de alcohol, se estableció una gravedad original de 1.035 con el cual sabiendo el grado de conversión de la levadura se esperaba lograr el porcentaje de alcohol propuesto, luego de diluir el mosto en agua se obtuvo una gravedad original de 1.034, a pesar de esto luego del proceso de fermentación se obtuvo un porcentaje de alcohol teórico de 3.67% v/v, aun habiendo aplicado la operación de evaporación, el porcentaje de alcohol no se redujo lo suficiente, alcanzando un valor de 1.65% v/v el cual excedió ampliamente el límite deseado de 0.5% v/v para una cerveza sin alcohol. Esto se debe a que no se contemplaron las curvas de operación del sistema y la cantidad de etanol que es posible evaporar a las condiciones expuestas, ya que de realizarse por más tiempo se pone en riesgo las propiedades de la cerveza al igual que el consumo energético sería muy elevado.

En el método L, utilizando la cepa de levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. Chevalieri (LA-01) se obtuvo una gravedad original de 1.037 con el mosto ya diluido obteniendo luego de la fermentación un porcentaje de alcohol teórico de 3.02% v/v, lo cual era demasiado alto para una cerveza sin alcohol. Además, se percibieron propiedades organolépticas fenólicas y poco agradables, lo que pudo ser causado por una posible contaminación durante la fermentación. Este alto porcentaje de alcohol se debió principalmente a que el método L se dejó dos semanas en periodo de fermentación y no se realizó de manera inmediata el cold crashing por lo que no se detuvo el proceso de fermentación. A pesar de que la cepa es capaz de producir menos alcohol al no consumir directamente la maltosa y la maltotriosa, esta si se deja mucho tiempo seguirá fermentando hasta la etapa de muerte de la levadura. También se consideró que, al ser una cepa muy susceptible a la contaminación, las propiedades organolépticas encontradas en este lote se

pueden deber a una contaminación por levadura salvaje u otro contaminante. Estas condiciones al no cumplir con los parámetros mínimos de calidad tanto de sabor, contaminación y porcentaje de alcohol se procedió a descartar el producto.

Para la realización del segundo lote de la experimentación se hicieron cambios en el proceso los cuales fueron los que quedaron establecidos en la metodología, se realizaron cambios en la formulación en donde se pesó menos cantidad de malta siendo en esta ocasión únicamente 6.8 lb, luego del proceso de cocimiento del mosto se procedió nuevamente a dividir este en dos agregándolo en tanques de fermentación, cabe destacar que el método de separación no fue el más adecuado, únicamente dejando caer la cerveza a los tanques haciendo que tenga contacto en exceso con el ambiente y siendo muy propenso a contaminación, así como a pérdida de producto. Luego se diluyó con agua (ver Tabla 14) para obtener una gravedad original de 1.020 para el método L y 1.018 para el método W. A partir de esto en el método W luego de las dos semanas de fermentación se obtuvo una gravedad final de 1.006 con el cual se determinó el porcentaje de alcohol en la muestra de manera empírica (ver cálculo 23) siendo de 1.58% v/v al cual luego de someter al proceso de evaporación a 92°C (ver Tabla 18) durante 45 minutos se obtuvo un porcentaje de alcohol del 0.52% v/v el cual a pesar de no cumplir estrictamente con la norma de ser menor a 0.5 %v/v, teniendo un porcentaje de error de 4.0%, siempre se suele tener un rango de ± 2 siendo aceptable conforme al mercado.

Ahora para el método L el principal cambio importante que se le hizo a la metodología fue el de realizar la fermentación únicamente por 3 días, esto para permitir que la levadura tenga un corto periodo de fermentación produciendo únicamente el porcentaje de alcohol deseado y para que brinde las propiedades necesarias a la cerveza y de esta manera también evitar que se vuelva a contaminar el lote con alguna levadura salvaje presente en la cerveza, con este cambio se obtuvo una gravedad final de 1.016 el cual con el mismo cálculo empírico, se obtuvo un porcentaje de alcohol de 0.53% v/v, el cual luego de analizarlo en un analizador de cerveza para verificar el resultado dio una concentración final de 0.31%v/v cumpliendo con éxito el objetivo de una cerveza sin alcohol. Por motivos de inocuidad alimenticia se realizaron pruebas microbiológicas a ambos métodos los cuales fueron por medio de agar mosto, agar NBBA y sulfato de cobre, esto se tomó como una medida adicional de valor para el producto, ya que el tiempo de vida de la cerveza siendo únicamente de 6 meses y manejando una rotación alta para una cerveza artesanal, donde aproximadamente a los 2 meses ya se consumió el producto, no es particularmente necesario este proceso. De igual manera los resultados fueron satisfactorios al no tener crecimiento de ningún tipo de lactobacilos, levadura o levadura salvaje en el producto terminado, esto debido a las operaciones unitarias realizadas de evaporación en el método W y pasteurización en el método L lo cual, a pesar de no ser el objetivo principal en el método W, aportaron a una buena estabilidad microbiológica en el producto. Los resultados de estos lotes resaltan la importancia de ajustar los procesos de producción y las cepas de levadura utilizadas para lograr los objetivos deseados en la elaboración de cervezas sin alcohol. Aunque se encontraron desafíos en el primer lote, los ajustes realizados en el segundo intento demostraron ser más efectivos para obtener cervezas con bajo contenido de alcohol, con porcentajes de alcohol dentro de los límites establecidos por el RTCA.

A partir de obtener el producto final deseado con la concentración de alcohol exitosamente por debajo de 0.5 %v/v se procedió a evaluar el resto de las propiedades

fisicoquímicas a ambos métodos tomando como referencia el lote 2 el cual fue el que tuvo resultados óptimos, en la tabla 2 se pueden observar los distintos resultados tanto para el IBU, color, Turbidez, %CO₂, pH y alcohol. Analizando el IBU, el cual fue determinado por medio de fórmula empírica y por medio de espectrofotometría, dando como resultado 7.88 EBC para el método L y 8.15 EBC para el método W, se determinó que el método L tiene un valor menor debido a que el periodo de fermentación es muy corto por lo que la cantidad de maltosa y maltotriosa (conocidos por ser disacáridos dulces) restante en la cerveza durante el periodo de maduración antes de la pasteurización es más alta, bajándole el índice de amargor al producto final. Otra razón por la cual el método W tiene mayor IBU es debido al periodo de evaporación, ya que, al volver a exponer la cerveza a altas temperaturas, más alfa-ácidos se logran extraer del lúpulo agregado aumentando los IBUs de la cerveza. Para el tema de color en donde el método W tiene un color significativamente más bajo que el método L con resultado de 5.6 EBC y 8.18 EBC respectivamente, se determinó que es por causa a la dilución de los mostos ya que se agregó en el método W 0.3 kg más de agua, asimismo al utilizar diferente tipo de levadura es normal estos cambios visuales, ya que la levadura puede reducir la intensidad del color durante la fermentación debido a la forma en que la cepa utilizada metaboliza los pigmentos de la malta. Este cambio en el color principalmente se debe también a temas de oxidación de la cerveza al momento de la evaporación en el método W ya que esta se realizó con la cerveza descubierta durante 45 minutos lo cual afectó de manera drástica muchas propiedades de la cerveza siendo una de estas el color siendo notablemente más bronce u opaca que el producto terminado del método L. Con respecto a la turbidez de la cerveza donde el método L obtuvo 18.3 EBC y el método W 14.0 EBC, esta diferencia es muy habitual en métodos artesanales de cerveza ya que al no realizar un proceso de filtración muchos sólidos suspendidos como sedimentación de levadura y sólidos del mosto restantes quedan en el producto final haciendo que tengan esa característica de turbidez. También se debe a la actividad metabólica de la levadura durante la fermentación, si la levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri* LA-01 (L) o *saccharomyces cerevisiae* (W) produce más subproductos o genera más sedimentos durante la fermentación, esta afectará directamente la turbidez del producto terminado. El otro parámetro fisicoquímico a comparar fue el %v/v de CO₂ el cual para el método L fue de 2.57% y 1.92% para el método W el cual está muy bajo y es evidente desde el nivel de espuma hasta como afectó el cuerpo de la cerveza, la principal causa fue la evaporación de la cerveza al remover el exceso de etanol, ya que la convección generada en la cerveza y principalmente la alta temperatura provoca que la solubilidad del CO₂ en el líquido disminuya significativamente y a medida que la temperatura aumenta, las moléculas de CO₂ se vuelven menos capaces de permanecer disueltas en el líquido y tienden a escapar hacia la atmósfera.

Con el proceso de la cerveza completo se procedió a realizar dos catados para determinar cuál de los dos métodos prefería el panel de catado, esto se realizó por medio de un primer catado triangular y un segundo catado para evaluación de propiedades organolépticas entre ambos métodos. En la Tabla 19 se observa cómo se distribuyeron las muestras de manera aleatoria habiendo 2 muestras de un método y una muestra diferente con el fin de evaluar si el catador era capaz de identificar la muestra distinta. En los catados para que fueran representativos se tomó una muestra de 48 personas distintas en un promedio de edad de 26 años en donde de ser posible, que la mayoría tuviera un conocimiento medio sobre cerveza, en donde un 58% de la población fue masculina y un 42% femenina. De este catado se obtuvo una amplia población que sí logró identificar la

muestra distinta, siendo un 83.3% mientras que el resto siendo de 16.3% no logró identificar la muestra diferente. Este comportamiento era el esperado debido a que la diferencia en propiedades organolépticas, principalmente en el olor, eran muy notorias a modo que los catadores con solo oler las muestras ya se lograban guiar e identificar la muestra diferente, además del olor la muestra del método L presentaba un sabor ligeramente más dulce por el corto periodo de fermentación.

Al recopilar los comentarios de los panelistas se determinó que hubo 4 factores principales con respecto a características organolépticas de las cervezas por lo cual la mayoría pudo detectar la muestra diferente del catado triangular, siendo que la muestra L presentó un sabor muy fuerte a DMS que se caracteriza por ser similar a maíz dulce o a vegetales, este defecto se le suele remover a la cerveza durante el periodo de hervido al ser una sustancia volátil, de igual forma esta razón se descarta en este caso, ya que al partir del mismo mosto para ambos métodos se tuvo que haber presentado en el método W también, por lo que se le amerita a propiedades que aporta la levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri* LA-01. Los panelistas también comentaron que en la muestra W era muy evidente la falta de espuma evidenciando en los tres vasos cual era la diferente sin si quiera haberla probado, esto se debió al proceso de evaporación en el cual se pierden muchas propiedades de la cerveza siendo uno de estos el CO₂ y la espuma, por lo que lo ideal es trabajar evaporaciones al vacío para no tener que elevar demasiado la temperatura del mosto. Otro comentario que se repitió en la encuesta fue que a la muestra W se le siente un sabor más parecido a la cerveza comercial, presentando toques de amargor más fuertes con ligera acidez y una mayor astringencia en el paladar, por lo que esta similitud a una cerveza comercial como a las que está acostumbrada la mayoría de las personas evaluadas fue un punto importante para la selección de la muestra diferente en el catado. Esta similitud en el sabor y cuerpo de la cerveza a una más comercial se debe a que sí tuvo una fermentación completa de dos semanas dejando que la levadura aporte las características que se suelen tener al completar su periodo de fermentación, contribuyendo significativamente al perfil de aroma, sabor y cuerpo final de la cerveza. La última característica que se destacó en los comentarios de los catadores fue la diferencia de color entre las muestras, en donde la muestra L presenta un color significativamente más claro que la muestra W, esto debiéndose a que las diferentes cepas de levadura producen diferentes metabolitos durante la fermentación, los cuales pueden influir en el color de la cerveza produciendo más compuestos de melanoidinas, que son responsables de los colores más oscuros y de tonos más profundos en la cerveza, también al considerar que el resto de las condiciones fueron las mismas para ambos lotes, se puede determinar que otra de las causas en el cambio de color del producto terminado es el cambio tan abrupto que hay en la atenuación aparente entre cada cepa de levadura utilizada, siendo del 70% para la *Saccharomyces Cerevisiae* (método W) y 20% *Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri* LA-01 (método L) (ver cálculo 24).

Seguido del catado triangular, se le dejó únicamente un vaso de cada método a los catadores, esto con el objetivo de realizar un segundo catado en donde se evaluaron las propiedades organolépticas por medio de una encuesta en donde se calificó de 1 a 10, siendo 1 nada agradable y 10 muy agradable, el aroma, espuma, color, sabor, cuerpo y amargor de ambas cervezas. De estos resultados se realizó un promedio de cada aspecto, así como también se determinó la varianza para realizar una prueba t para muestras independientes con varianzas iguales, esto luego de comprobarse por medio de una prueba F para comparación de varianzas, determinando que, si existe una diferencia significativa en las medias basado en las calificaciones realizadas por los catadores. A partir de estos resultados

analizados se vuelve aún más notable la diferencia en la espuma, color, amargor y cuerpo que coinciden precisamente con los principales comentarios de los catadores durante el catado triangular. A partir de estos resultados se determinó que el método seleccionado por el panel de catado fue el método W basado en los aspectos organolépticos evaluados y a los comentarios del catado triangular, obteniendo un resultado en donde un 70.8% prefirió el método W y un 29.2% el método L, otorgándoles una calificación general de 7.48 y 7.58 respectivamente (ver Tabla 20 y 21). Cabe mencionar que se toma como método ganador el método W debido a que la valoración otorgada para el aspecto de espuma en este método es demasiado bajo y diferencial por lo que al ser una distribución muy alta entre los resultados se decidió descartarlo para la selección del método ganador al no afectar directamente a la cerveza en el sabor y apreciación del consumidor final.

Por último, se enfocó en el diseño de un evaporador de simple efecto para su implementación en la cervecería Quiscalus, tomando como referencia la capacidad máxima de producción de la misma, establecida en 120 L por lote. La elección del método de evaporación se basó en las preferencias del panel de catado, lo que resalta la importancia de no solo la eficiencia en producción, sino también la aceptación sensorial del potencial cliente final.

Para llevar a cabo este diseño, se consideró una solución de etanol-agua con concentraciones cercanas a las utilizadas en el proceso. Esta decisión se tomó por practicidad en la obtención de valores teóricos significativos. A partir de esto se realizó el balance de masa y energía del sistema el cual es crucial en el proceso de diseño, permitiendo la determinación del tiempo de operación, el cual se estableció de 1.17h con el cual, al tener el flujo de entrada, por medio de la densidad y el tiempo de retención de la cerveza durante la operación se determinó el volumen del evaporador siendo de 140 L. Esta cifra, que supera ligeramente la capacidad máxima de producción de la cervecería, funciona perfectamente en temas de diseño como seguridad y capacidad adicional en el diseño de equipos industriales. Además del volumen, se determinaron las dimensiones físicas del evaporador, con una altura de 0.77 metros y un diámetro de 0.48 metros, así como el área superficial del mismo con un valor de 2.23 m², siendo estos parámetros fundamentales para la construcción y la instalación práctica del equipo. Para la decisión del material de construcción se tomó como primera opción el acero inoxidable 304 por temas de inocuidad en alimentos, aunque se podrían considerar otras opciones ya que el acero inoxidable no es el único aprobado por entidades internacionales para mantener la inocuidad del proceso, esto según los aspectos de diseño tomados en cuenta en base a las normas ASME. Es importante tener en cuenta que este diseño se basó en condiciones específicas, incluyendo la concentración de la solución, el método de evaporación y el tiempo de operación. Variaciones en estos parámetros podrían requerir ajustes en el diseño del evaporador dependiendo de las modificaciones empleadas en cada sistema.

Del balance de masa se determinó la cantidad necesaria de vapor para realizar la operación dando como resultado 30 kg/h el cual al tener una solución de 120 L hace sentido que no requiera de tanto vapor al no ser una cantidad grande de volumen a evaporar. Para esto se evaluó diferentes propuestas de calderas de diferentes proveedores que fueran de escala laboratorio/planta piloto, ya que actualmente no se cuenta con ninguna generación de vapor en la planta de la cervecería. Las calderas que pueden satisfacer la demanda

mínima de 30 kg/h de vapor se muestran en las figuras 21 a 24, no se pudo obtener cotización de los proveedores para determinar los precios y poder compararlos de mejor manera en cuanto a rentabilidad y costos en un periodo de tiempo, por lo que únicamente se compararon por sus características y capacidad de operación.

Finalmente, no cabe más que mencionar que se alcanzó a evaluar exitosamente los comportamientos de la cerveza a diferentes métodos de remoción de alcohol y compararlos entre sí, lo cual es un tema poco tratado a profundidad, siendo un mercado muy importante el que existe para este producto por lo que el campo de investigación sigue abierto a seguir comparando e investigando acerca del resto de los métodos que existen para obtener este maravilloso producto con gran potencial.

IX. Conclusiones

1. Se determinaron las propiedades fisicoquímicas para ambos métodos siendo de 0.31%v/v de alcohol, 7.88 de IBU, 8.18 de color, 18.3 de turbidez y 2.57%v/v de CO₂ para el método con levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. Chevalieri LA-01 (método L), y siendo de 0.52%v/v de alcohol, 8.15 de IBU, 5.63 de color, 14.0 de turbidez y 1.92%v/v de CO₂ para el método (W) con levadura *saccharomyces cerevisiae* (evaporación), cumpliendo con el límite alcohólico establecido por el reglamento técnico centroamericano y permitiendo comparar entre ambas cervezas las diferencias que presentaron y evaluando los motivos de estas diferencias.
2. Se determinó que existe una diferencia sensorial significativa entre ambos métodos de cerveza sin alcohol por medio de los resultados de los catados realizados con un 83.3% de la población detectando de manera exitosa la muestra diferente y un 16.3% que no logró detectar diferencias entre la muestra del método L y el método W. Así como también se determinó que existe una amplia preferencia hacia el método W realizado por medio de la cepa *saccharomyces cerevisiae* y con un proceso de evaporación para la remoción del alcohol siendo del 70.8% de los panelistas contra un 29.2% que prefirieron el método L.
3. Se realizó la ficha técnica de un evaporador de simple efecto para su utilización en la planta de producción de la cervecería Quiscalus, S.A. Siendo este de un volumen de 140 L de material acero inoxidable 304, así como también las condiciones y flujos necesarios con una base de cálculo de 120 kg de cerveza.

X. Recomendaciones

1. Realizar para el método de levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. *Chevalieri* LA-01 (L) un tiempo de fermentación de 3 a 4 días para interrumpir la reacción y evitar tanto el aumento de alcohol en la cerveza como una posible contaminación al ser una cepa muy sensible.
2. Evaluar procesos alternos de remoción de alcohol, con la finalidad de alterar lo menos posible las propiedades de la cerveza, ya que al realizarse con vacío no es necesario elevar demasiado la temperatura para la evaporación del alcohol siendo posible la recuperación de aromas y propiedades de la cerveza final.
3. Realizar de manera más controlada y precisa la transferencia del mosto al dividirlo en dos para evitar perder la mayor cantidad de mosto posible al igual que evitar posibles puntos de contaminación y oxidación en la cerveza.
4. Realizar un estudio económico para la selección de propuestas e instalación del evaporador en la planta de producción basándose en el dimensionamiento realizado. Ejecutar los cálculos de instalación para la implementación del evaporador en la planta para completar la información brindada en este proyecto.
5. Evaluar diferentes métodos de remoción de alcohol o de producción de cerveza con bajo contenido de alcohol por medio de métodos biológicos y/o físicos para seguir ampliando las bases de investigación de este tema y buscar alternativas a los procesos evaluados en este proyecto.
6. Se recomienda la realización de un análisis de mercado más a profundidad acerca de la aceptación de este producto en la sociedad guatemalteca.

XI. Bibliografía

Aguirre, A. Acevedo, M, Pérez, S. (2020). *Estudio del proceso de producción de una cerveza artesanal en bajo porcentaje de alcohol*. Universidad de Managua, Nicaragua. Extraído de: <https://repositorio.unan.edu.ni/15524/1/15524.pdf>

Alfaro Villaroel, S. M., & Espinoza Huanca, G. (2015). *Experiencias en el control de calidad del proceso de producción y producto terminado de la cerveza Pilsener y Tropical Extra en la industria cervecera* (Doctoral dissertation).

Alimentarius, C. (2005). *Reglamento Técnico Centroamericano. Alimentos y bebidas procesados. Néctares de frutas. Especificaciones*. RTCA, 67(48), 8.

Brányik, T. Silva, D. Baszczyński, M. Lehnert, R. Almeida, J. (2012). *A review of methods of low alcoholic and alcoholic-free beer production*. Journal of food engineering. Extraído de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877411005140>

Díaz, A. Brown, A. & de Cuyo, C. (2020). *Cervezas artesanales: estudio comparativo de IBUS obtenidos por cálculo de tablas y los cuantificados por espectrofotometría*. CPA M 5528 HB, 41-42.

Forbes Centroamérica. (2019). *Cerveceras, un negocio que crece como espuma*. Extraído de: <https://forbescentroamerica.com/2019/06/24/cerveceras-un-negocio-que-crece-como-espuma>

García, J. (2004). *Propuesta para la elaboración y comercialización de una cerveza sin alcohol como bebida hidratante y nutritiva para la población de la ciudad de guayaquil*. Universidad de Guayaquil, Ecuador. Extraído de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8008>

Galanakis, C. (2020). *Trends in non-alcoholic beverages*. Elsevier, editorial Academic Press. Estados Unidos. Extraído de: https://www.google.com.gt/books/edition/Trends_in_Non_alcoholic_Beverages/Rw6sDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=non+alcoholic+beer&printsec=frontcover

Gisbert Verdú, M. (2016). *Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

González, M. (2017). *Principios de Elaboración de las Cervezas Artesanales, primera edición*. Editorial Lulu press inc. Estados Unidos. Extraído de: https://www.google.com.gt/books/edition/Principios_de_Elaboraci_n_de_las_Cerveza/0COaDgAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=IBU+en+cervezas+artesanales&printsec=frontcover

Hasik, T. (2015). *The world of beer & beers of the world*. Editorial Thorium. Extraído de: https://www.google.com.gt/books/edition/The_World_of_Beer_and_Beers_of_the_World/cu3YBgAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=The+world+of+beer+%26+beers+of+the+world&pg=PA57&printsec=frontcover

Hernández, A. (2016). *Microbiología industrial*. San José, Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). Extraído de: https://www.google.com.gt/books/edition/Microbiolog%C3%ADa_Industrial/KFq4oEQQjdEC?hl=es-419&gbpv=1&dq=proceso+de+molienda+en+cerveza&pg=PA119&printsec=frontcover

Jaramillo, P. (2016). *Cervezas artesanales, un mercado que emerge bien*. *Gestión*, 269, 50-55.

Lee, J. M. (1992). *Biochemical engineering* (pp. 21-31). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Mallet, J. (2014). *Malt, a practical guide from field to brewhouse*. Publicado por: Brewer's publications.

Manju, N. Kumar, S. Grover, N. (2023). *Craft Beers, Fortification, processing, and production*. Editorial CRC Press Taylor & Francis group.

Mencia, G. A., & Pérez, R. D. (2016). *Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (Zea mays), cebada (Hordeum vulgare), carbonatada con azúcar y miel de abeja*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Extraído de: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b29b9a8f-d5a3-42e5-8340-3990babda5d7/content>

Mehta, B. Eldin, A. Iwanski, R. (2012). *Fermentation effects on food properties*. Editorial CRC Press. Estados Unidos.

Mosher, R. (2017). *Tasting beer, an insider's guide to the world's greatest drink*. Edited by Storey Publishing, LLC.

Muñoz, C. (2017). *Diseño de una planta de desalcoholización de cervezas en microcervecías con una producción de 18,5 L/h*. Universidad de Sevilla, España. Extraído de: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/84828/TFG-1833-MU%C3%83_OZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Neves, E. Muller, C. Guimaraes, M. Gomes, L. (2019). *Processes for alcohol-free beer production*. Extraído de: https://www.researchgate.net/publication/338527534_Processes_for_alcohol-free_beer_production_a_review#:~:text=Alcohol%2Dfree%20beers%20can%20be,of%20alcohol%20through%20membrane%20processes.

Ñañez Mouchard, I. (2020). *El proceso de producción de cerveza artesanal y su mejoramiento mediante técnicas de recirculación de levaduras en la etapa de fermentación*. Repositorio Institucional de la UTEC. Lima, Perú. Extraído de: <https://repositorio.utec.edu.pe/handle/20.500.12815/139>

Pilla, S. Vinci, G. (2012). *Cervezas de todo el mundo, enciclopedia práctica*. Barcelona, España. Editorial de Vecchi, S.A.

Vázquez, H. & Dacosta, O. (2007). *Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas*. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 8(4), 249-259.

Wiley, H. (1908). *Methods of analysis, Assosiation of official agricultural chemists*. U.S. department of agriculture. Washington, Estados Unidos.

White, C. Zainasheff, J. (2010). *Yeast, the practical guide to beer fermentation*. Brewers publication.

XII. Anexos

A. Datos originales

Tabla 7. Mediciones de malta para cada lote realizado

Lote	Masa de malta lb (± 0.01 lb)
L1	4.3
W1	6.8
L2	4.3
W2	6.8

Tabla 8. Pérdidas de masa en el proceso de molienda

Lote	Masa de malta perdida g (± 0.5 g)
L1	7.26
W1	7.26
L2	9.5
W2	9.5

Tabla 9. Caracterización del agua de proceso

Elemento	Resultado (ppm)
Ca^{2+}	3.0
Mg^{2+}	7.6
Na^+	<0.5
Cl^-	8.2
SO_4^{2-}	7.0
HCO_3^-	122
pH	6.6

Tabla 10. Medición de químicos para acondicionamiento del agua

Lote	$CaCl_2 \cdot H_2O$ g (± 0.5 g)	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ g (± 0.5 g)	Ácido láctico g (± 0.5 g)
L1	3.0	3.0	8.0
W1	3.0	3.0	8.0
L2	3.0	3.0	10.0
W2	3.0	3.0	10.0

Tabla 11. Mosto obtenido al finalizar la maceración y el hervido

Lote	Mosto macerado kg (± 0.01 kg)	Mosto hervido kg (± 0.01 kg)
L1	18.23	16.37
W1	18.23	16.37
L2	18.02	16.09
W2	18.02	16.09

Tabla 12. Masa de lúpulo agregado por lote

Lote	Lúpulo g (± 0.5 g)
L1	18.23
W1	18.23
L2	11.34
W2	11.34

Tabla 13. Cantidad de agua utilizada para el enfriamiento del mosto

Lote	Masa de agua utilizada kg (± 0.01 kg)
L1	170.2
W1	170.2
L2	166.3
W2	166.3

Tabla 14. Cantidad de agua agregada para dilución del mosto

Lote	Cantidad de agua agregada en kg (± 0.01 kg)	Masa final del mosto diluido en kg (± 0.01 kg)
L1	7.56	15.74
W1	7.59	15.77
L2	7.74	15.78
W2	7.77	15.80

Tabla 15. Levadura agregada a cada lote

Tipo de levadura	Lote	
	L1 y L2 g (± 0.5 g)	W1 y W2 g (± 0.5 g)
Saccharomyces cerevisiae (W)	14	14
Saccharomyces cerevisiae var. Chevalieri LA-01 (L)	14	14

Tabla 16. Datos de edad y género de los catadores

Genero de los catadores	Total	Distribución porcentual del género de los catadores	Promedio de edad en años
M	28	42%	26
F	20	58%	

Tabla 17. Tiempo vs alcohol evaporado para el lote 1

Tiempo (min)	Alcohol (% v/v)
0	3.67
5	3.37
10	2.14
15	2.04
20	1.9
30	1.78
40	1.65

Tabla 18. Tiempo vs alcohol evaporado para el lote 2

Tiempo (min)	Alcohol (% v/v)
0	1.53
1	1.26
5	1.1
10	1.05
15	0.92
20	0.85
30	0.72
40	0.59
45	0.52

Tabla 19. Resultados de preferencia de los catadores en el catado triangular

L = <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. Chevalieri LA-01	Identifico diferencia:	A	Le gustó L:	C
W = <i>saccharomyces cerevisiae</i>	No identifico diferencia:	B	Le gustó W:	D

Resultado	
A	C
A	D

A	D
A	D
A	D
B	C
A	D
A	C
A	D
A	D
A	C
B	D
A	D
A	C
A	D
A	C
A	D
A	D
A	D
A	D
B	D
A	D
A	C
A	C
A	D
A	D
B	C
A	D
A	D
B	D
B	C
A	D
A	D
A	D
A	D
A	C
A	D
A	D
B	D
A	C
B	D
A	C

A	D
A	D
A	D
A	C
A	D
A	D

Tabla 20. Datos obtenidos del catado de comparación de propiedades organolépticas método L

Muestra L (escala hedónica 1 a 10)					
Espuma	Color	Aroma	Sabor	Amargor	Cuerpo
8	6	7	8	6	7
8	7	9	9	5	9
9	9	8	7	7	6
8	8	7	10	9	9
10	2	9	6	8	6
7	7	7	6	5	8
7	7	8	7	7	8
10	8	8	8	9	8
7	8	9	6	7	7
9	10	8	9	9	7
8	8	6	7	7	5
10	10	9	8	6	6
8	7	7	7	8	7
9	7	8	7	9	4
10	7	10	8	8	5
9	10	7	10	6	6
9	7	9	7	6	8
8	9	8	8	7	6
9	7	6	7	6	7
9	7	8	8	8	8
9	6	4	7	6	7
8	9	9	10	6	9
7	7	7	8	8	5
8	9	8	7	6	7
10	6	7	8	7	5
7	7	6	6	7	5
10	8	8	8	6	7
10	8	7	9	6	8
9	9	9	8	7	9

Espuma	Color	Aroma	Sabor	Amargor	Cuerpo	
8	9	8	8	5	7	
7	8	6	8	8	7	
9	7	9	9	7	6	
8	9	7	8	6	8	
8	9	8	9	5	7	
7	9	6	7	6	6	
9	6	10	7	8	6	
8	7	7	8	7	7	
7	8	6	7	8	8	
6	8	6	8	6	9	
6	6	8	7	8	8	
7	6	8	9	7	7	
10	7	9	9	6	7	
8	8	7	8	8	8	
6	9	6	9	8	7	
8	9	6	7	6	9	
7	10	9	6	7	8	
8	9	8	8	6	7	
9	8	8	10	9	9	
8.25	7.75	7.60	7.83	6.94	7.08	Promedio (X)
7.58						Valoración general

Tabla 21. Datos obtenidos del catado de comparación de propiedades organolépticas método

Muestra W (escala hedónica 1 a 10)					
Espuma	Color	Aroma	Sabor	Amargor	Cuerpo
4	9	8	10	10	10
5	10	7	7	7	9
7	9	6	8	6	10
4	10	10	8	6	7
1	6	7	7	10	8
3	10	9	9	9	10
3	9	8	10	8	9
4	10	7	9	10	8
3	8	8	8	9	10
2	8	6	7	10	10
1	9	8	8	8	7

Espuma	Color	Aroma	Sabor	Amargor	Cuerpo	
3	9	7	6	9	8	
3	10	8	8	8	10	
4	10	10	10	7	8	
6	8	9	7	8	9	
3	9	7	6	7	8	
1	9	7	8	9	9	
4	8	8	7	8	8	
2	10	7	4	7	7	
5	8	8	7	8	9	
2	8	5	5	6	6	
2	10	10	8	8	7	
4	9	7	10	7	7	
5	10	6	10	9	8	
4	10	8	8	10	8	
4	9	8	10	10	8	
2	9	9	9	7	10	
3	10	9	10	5	9	
5	10	8	8	10	7	
3	9	9	9	8	8	
5	8	6	7	7	8	
3	10	9	8	8	7	
1	7	6	9	9	9	
3	9	9	8	9	9	
4	10	8	8	9	8	
1	9	7	8	8	8	
3	6	9	8	9	9	
4	9	9	9	9	7	
3	8	8	8	9	8	
2	10	9	8	8	10	
5	10	10	7	8	8	
3	9	8	7	6	6	
6	8	9	9	7	8	
7	9	7	8	10	8	
3	8	9	8	9	7	
5	9	10	7	9	7	
1	8	8	10	6	8	
6	10	9	9	8	8	
3.48	8.96	8.00	8.06	8.17	8.23	Promedio (X)
7.48						Valoración general

B. Cálculos de muestra

Cálculo 1: Uso de recurso energético del molino de cilindros

Sabiendo que la potencia del motor es de 186.42 W y que fue utilizado durante 1.7 minutos.

$$186.42 \text{ W} * 1.7 \text{ min} = 5.2819 \text{ Wh}$$

$$5.2819 \text{ Wh} * \left(\frac{1 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{1 \text{ W}} \right) * \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) * \left(\frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ J}} \right) = 19.01 \text{ kJ}$$

Cálculo 2: Balance de masa para adecuación de pH del agua de proceso

$$E_A + E_{Q1} + E_{Q2} + E_{Q3} = S_{AA}$$

Donde:

E_A : Entrada de agua

E_{Q1} : Entrada de químico 1 ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

E_{Q2} : Entrada de químico 2 ()

E_{Q3} : Entrada de químico 3 (ácido acético)

S_{AA} : Salida de agua acondicionada

$$19.96 \text{ kg}_{\text{agua}} + 0.003 \text{ kg}_{\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + 0.004 \text{ kg}_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} + 0.01 \text{ kg}_{\text{ácido láctico}} \\ = 19.98 \text{ kg}_{\text{agua acondicionada}}$$

Cálculo 3: Balance de masa del proceso de molienda

$$E_M = S_{MR} + P_{MP}$$

$$P_{MP} = E_M - S_{MR}$$

Donde:

E_M : Entrada de malta a la tolva

S_{MR} : Salida de malta refinada

P_{MP} : Perdidas de malta en polvo

$$6.80 \text{ lb}_{\text{Malta pilsen}} - 6.77 \text{ lb}_{\text{Malta refinada}} = 0.03 \text{ lb}_{\text{perdida en polvo}}$$

Cálculo 4: Dimensionamiento de Braumeister

El proceso se repitió para dimensionar el peso del malt pipe

$$P_{Braumeister} = p_a * \left((\pi * D * L) + \frac{\pi * D^2}{4} \right)$$

Donde:

P_a : Densidad del acero

D : Diámetro

L : Largo

$$\frac{7.86 \text{ kg}}{\text{m}^2} * \left(\pi * 0.37\text{m} * 0.41\text{m} + \frac{\pi * 0.37^2}{4} \right) = 4.59 \text{ kg}$$

$$4.59\text{Kg} + \text{Malt pipe} = 7.29\text{kg}$$

Cálculo 5: Balance de masa proceso de maceración

$$E_t = E_{MR} + E_{AA}$$

$$S_t = E_{MR} + E_{AA} - S_b$$

Donde:

E_t : Entrada total al proceso

S_t : Salida total del proceso

E_{MR} : Entrada de malta refinada

E_{AA} : Entrada de agua acondicionada

S_{PA} : Salida de bagazo y perdida de mosto

$$E_t = 19.98\text{kg}_{\text{agua acondicionada}} + 3.07 \text{ kg}_{\text{Malta refinada}} = 23.05\text{kg}_{\text{mosto con sólidos}}$$

$$S_t = 19.98\text{kg}_{\text{agua acondicionada}} + 3.07 \text{ kg}_{\text{Malta refinada}} - 5.03 \text{ kg}_{\text{bagazo y agua}} \\ = 18.02 \text{ kg}_{\text{mosto}}$$

Cálculo 6: Balance de energía del calor requerido para los primeros 50 minutos de maceración

$$Q_{Req} = m_a C p_a \Delta T_{\text{agua}} + m_m C p_m \Delta T_{\text{malta}} + m_{ac} C p_{ac} \Delta T_{\text{acero}}$$

Donde:

Q_{req} : Q requerido

m: masa de agua, malta y tanque de acero

C_p : Calor específico del material

ΔT : Diferencial de temperatura de maceración

$$Q_{req} = 19,98kg_{agua} * 4.198 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (61 - 21) + 3.07kg_{malta} * 1.173 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (61 - 21) + 7.29 kg_{acero} * 0.5 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (61 - 21) = 3644.89 kJ$$

Cálculo 7: Balance de energía para las pérdidas de calor durante los primeros 50 minutos de maceración

$$Q_r = Q_p + Q_{req}$$

$$Q_p = Q_r - Q_{req}$$

Donde:

Q_R : Q real

Q_p : Q perdidas

Q_{req} : Q requerido

Para una resistencia de 2kW que usa el Braumeister se determinó lo siguiente:

$$Q_r = 2kW * \left(\frac{5}{6}h\right) * \left(\frac{1 \frac{kJ}{s}}{1kW}\right) * \left(\frac{3600s}{1h}\right) = 6,000 kJ$$

$$Q_p = 6000kJ - 3644.89kJ = 2355.11kJ$$

Cálculo 8: Balance de energía del calor requerido para los 10 minutos del mash out durante la maceración

Se utilizó nuevamente la ecuación del cálculo 6.

$$Q_{req} = 19,98kg_{agua} * 4.198 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (74 - 61) + 3.07kg_{malta} * 1.173 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (74 - 61) + 7.29 kg_{acero} * 0.5 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (74 - 61) = 1184.59 kJ$$

Cálculo 9: Balance de energía para las pérdidas de calor durante los 10 minutos del mash out durante la maceración

Se utilizó nuevamente la ecuación del cálculo 7.

$$Q_r = 2kW * \left(\frac{1}{6}h\right) * \left(\frac{1 \frac{kJ}{s}}{1kW}\right) * \left(\frac{3600s}{1h}\right) = 1,200 kJ$$

$$Q_p = 1200kJ - 1184.59 = 15.41kJ$$

Q_p en total de los 60 minutos de maceración

$$Q_p = (1200 + 6000)kJ - (3644.89 + 1184.59)kJ = 2370.52 kJ$$

Cálculo 10: Masa de lúpulo agregada

$$\frac{IBU * V_m * 10}{\%AA * (0.12)}$$

Donde:

IBU: Concentración de amargor

V_m: Volumen de mosto utilizado

$$\frac{0.0815 * 18.02 * 10}{12\% * (0.12)} = 11.12 g$$

Cálculo 11: Balance de masa para proceso de ebullición/hervido

$$S_t = E_M - P_E$$

Donde:

S_t: Salida total de mosto

E_M: Masa de mosto ingresada

P_E: Pérdida de masa por evaporación

Se determinó la cantidad de agua/etanol evaporado por diferencia de peso, pesando el producto al finalizar el periodo de ebullición.

$$18.02kg_{mosto} + 0.0113kg_{lúpulo} - 1.93kg_{agua/etanol} = 16.10 kg_{mosto}$$

Cálculo 12: Determinación de °Brix del mosto por medio de ecuación experimental

$$^{\circ}Brix = 261.3 * (OG - 1)$$

Donde:

OG: Gravedad original por sus siglas en ingles

$$Brix = 261.3 * (1.041 - 1) = 10.71 ^{\circ}Brix$$

Por medio de las figuras 44 y 45 se obtuvo los °Brix siendo de 10.46 y 10.50 respectivamente

Promedio de grados Brix:

$$\frac{10.71 + 10.46 + 10.50}{3} = 10.58 ^{\circ}Brix$$

Cálculo 13: Balance de energía para el calor requerido durante el proceso de ebullición/hervido de mosto

$$Cp = 1 - 0.006 * ^{\circ}Brix$$

$$Cp = 1 - 0.006 * 10.58 ^{\circ}Brix * \frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kCal}} = 3.918 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$$

A partir del cálculo 4 se obtuvo la masa del Braumeister siendo de 4.59 kg, a partir de esto se calculó las pérdidas de calor en el sistema.

$$Q_{Req} = m_{mo}Cp_{mo}\Delta T_{mosto} + m_{ac}Cp_{ac}\Delta T_{acero} + m_v * \lambda_v$$

Donde:

Q_{Req} : Q requerido

M_o : masa de mosto

m_{ac} : masa del acero

m_v : masa del vapor

Cp : Calor específico del material

λ_v : Calor de vaporización del agua

ΔT : Diferencial de temperatura

$$Q_{req} = 16.09 \text{ kg}_{mosto} * 3.918 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (92 - 74)^{\circ}\text{C} + 4.59 \text{ kg}_{acero} * 0.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (92 - 74)^{\circ}\text{C} + 1.93 \text{ kg}_{agua} * \frac{2276.1 \text{ kJ}}{1 \text{ kg}} = 5568.91 \text{ kJ}$$

$$Q_r = 2kW * 1h * \left(\frac{1 \frac{kJ}{s}}{1kW}\right) * \left(\frac{3600s}{1h}\right) = 7,200 \text{ kJ}$$

Cálculo 14: Balance de energía para las pérdidas de calor durante el proceso de ebullición/hervido de mosto

$$Q_r = Q_p + Q_{req}$$

$$Q_p = Q_r - Q_{req}$$

Donde:

Q_R : Q real

Q_p : Q perdidas

Q_{req} : Q requerido

$$Q_p = (7200 - 5568.91)kJ = 1630.09 \text{ kJ}$$

Cálculo 15: Balance de masa para el agua utilizada en el enfriamiento del mosto

$$Q_{agua} * T_o * \rho_{agua} = M_{agua \text{ utilizada}}$$

$$M_{agua \text{ utilizada}} = M_{agua \text{ de salida}}$$

Donde:

Q_{agua} : Caudal de agua

ρ_{agua} : Densidad del agua

T_o : Tiempo de operación

M: masa de agua utilizada

$$\frac{0.352 \text{ L}}{1.81 \text{ s}} * 0.998 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 857 \text{ s} = 166.33 \text{ kg}_{agua}$$

Cálculo 16: Balance de energía en proceso de enfriamiento de mosto

$$Q_{Cm} = m_m C_{p_m} \Delta T_{mosto}$$

Donde:

Q_{Cm} : Calor requerido por el mosto

m_m : Masa del mosto obtenido

C_{p_m} : Calor específico del mosto

ΔT : Cambio de temperatura del sistema

$$16.09 \text{ kg}_{mosto} * 3.198 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (92 - 23)^\circ\text{C} = 3550.45 \text{ kJ}$$

Cálculo 17: Separación de mosto

Se separó en partes igual el mosto en diferentes tanques de fermentación

$$\frac{16.1kg_{mosto}}{2} = 8.05kg_{mosto}$$

8.05 kg_{mosto} para lote W y 8.05 kg_{mosto} para lote L

Cálculo 18: Dilución de mosto

Considerando que en la separación se perdió 0.03 kg de mosto por derrame, se tomó la OG de 1.035 y se realizó el siguiente cálculo para determinar el volumen de agua necesario para llegar a una OG aproximada de 1.018. Los valores de OG se toman como enteros, ejemplo el 1.018 se toma como 22.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$V2 = \frac{C1 * V1}{C2}$$

Donde:

C₁: Concentración de mosto sin diluir

V₁: Volumen del mosto concentrado

C₂: Concentración final deseada

V₂: Volumen final a obtener

V_{agua}: Volumen de agua a añadir al mosto

$$\begin{aligned} 35 * 8.04L &= 18 * V2 \\ &= 15.78 L \end{aligned}$$

$$V_{agua} = 15.78 L_{agua} - 8.04 L_{mosto} = 7.74 L_{agua}$$

Cálculo 19: Determinación de °Brix del mosto ya diluido por medio de ecuación experimental

$$°Brix = 261.3 * (OG - 1)$$

Donde:

OG: Gravedad original por sus siglas en ingles

$$Brix = 261.3 * (1.022 - 1) = 5.78 °Brix$$

Por medio de las figuras 44 y 45 se obtuvo los °Brix siendo de 5.4 y 5.57 respectivamente

Promedio de grados Brix:

$$\frac{5.78 + 5.40 + 5.57}{3} = 5.58 \text{ } ^\circ\text{Brix}$$

Cálculo 20: Determinación del calor específico de mosto diluido

$$Cp = 1 - 0.006 * \text{ } ^\circ\text{Brix}$$

$$Cp = 1 - 0.006 * 5.58 \text{ } ^\circ\text{Brix} * \frac{4.184 \text{ kJ}}{1 \text{ kCal}} = 4.0439 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

Cálculo 21: Energía utilizada en el proceso de maduración

$$Q = m_m Cp_m \Delta T$$

Donde:

Q: Calor removido

m_m: masa del mosto

ΔT: diferencial de temperatura del proceso

$$8.04 \text{ kg}_{\text{mosto}} * 4.0439 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (22 - 3) = 617.75 \text{ kJ}$$

Cálculo 22: Dimensionamiento de macerador donde se realizó la evaporación

$$P_{\text{Braumeister}} = p_a * \left((\pi * D * L) + \frac{\pi * D^2}{4} \right)$$

Donde:

P_a: Densidad del acero

D: Diámetro

L: Largo

$$\frac{7.86 \text{ kg}}{\text{m}^2} * \left(\pi * 64 \text{ m} * 0.72 \text{ m} + \frac{\pi * 0.64^2}{4} \right) = 13.96 \text{ kg}$$

Cálculo 23: Balance de energía para pasteurización de la cerveza lote L

$$Q_{\text{Req}} = m_a Cp_a \Delta T_{\text{agua}} + m_m Cp_m \Delta T_{\text{macerador}} + m_{ac} Cp_{ac} \Delta T_{\text{aluminio}}$$

Donde:

Q_{Req} : Q requerido

m: masa de agua, macerador y latas de aluminio

C_p : Calor específico del material

ΔT : Diferencial de temperatura de maceración

$$\begin{aligned} Q_{req} &= 49.5kg_{agua} * 4.198 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} * (64 - 17) + 13.96kg_{macerador} * 0.5 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \\ &\quad * (64 - 17) + 12.46 kg_{aluminio} * 0.897 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} * (64 - 17) \\ &= 10,620.01kJ \end{aligned}$$

Cálculo 24: Balance de energía para las pérdidas de calor durante la pasteurización

$$Q_r = Q_p + Q_{req}$$

$$Q_p = Q_r - Q_{req}$$

Donde:

Q_R : Q real

Q_p : Q perdidas

Q_{req} : Q requerido

Para una resistencia de 2kW que usa el Braumeister se determinó lo siguiente:

$$Q_r = 2 * 5.5kW \left(\frac{3}{6} h \right) * \left(\frac{1 \frac{kJ}{s}}{1kW} \right) * \left(\frac{3600s}{1h} \right) = 19,800 kJ$$

$$Q_p = 19,800kJ - 10,620.01kJ = 9,179.99kJ$$

Cálculo 25: Balance de energía para el calor requerido durante el proceso de evaporación del método W

$$Q_{Req} = m_c C_{p_c} \Delta T_c + m_{ac} C_{p_{ac}} \Delta T_{acero} + m_v * \lambda_v$$

Donde:

Q_{Req} : Q requerido

M_c : masa de cerveza

m_{ac} : masa del acero

m_v : masa del vapor

C_p : Calor específico del material

λ_v : Calor de vaporización del etanol

ΔT : Diferencial de temperatura

$$Q_{req} = 15.54 \text{ kg}_{cerveza} * 4.0439 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (92 - 22)^\circ\text{C} + 4.59 \text{ kg}_{acero} * 0.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (92 - 22)^\circ\text{C} + 1.04 \text{ kg}_{etanol} * \frac{1684 \text{ kJ}}{1 \text{ kg}} = 6310.96 \text{ kJ}$$

$$Q_r = 2 \text{ kW} * 1 \text{ h} * \left(\frac{1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1 \text{ kW}} \right) * \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 7,200 \text{ kJ}$$

Cálculo 26: Balance de energía para las pérdidas de calor durante el proceso de evaporación

$$Q_r = Q_p + Q_{req}$$

$$Q_p = Q_r - Q_{req}$$

Donde:

Q_r : Q real

Q_p : Q perdidas

Q_{req} : Q requerido

$$Q_p = (7,200 - 6,310.96) \text{ kJ} = 889.03 \text{ kJ}$$

Cálculo 27: Cálculo empírico de porcentaje de alcohol en producto terminado (método L)

Cálculo realizado para ambos métodos según sus gravedades obtenidas

$$\%ABV = 131.25 * (OG - FG)$$

Donde:

%ABV: porcentaje de alcohol por volumen

OG: Gravedad original

FG: Gravedad final

$$131.25 * (1.020 - 1.016) = 0.53$$

Cálculo 28: Determinación empírica de la atenuación aparente de la cerveza

$$AA = \left(\frac{OG - FG}{OG - 1} \right)$$

Donde:

AA: Atenuación aparente

OG: Gravedad original por sus siglas en ingles

FG: Gravedad final por sus siglas en ingles

$$AA = \frac{1.020 - 1.006}{1.020 - 1} * 100 = 70.0\%$$

Cálculo 29: Determinación experimental de CO₂ en producto terminado con Zahm and Nagel

$$P = P_1 - 3$$

Donde:

P: Presión final a utilizarse

P₁: Presión obtenida por el manómetro del equipo

$$22psi - 3 = 19psi$$

Esta presión se leyó en la tabla de la figura 43 a una temperatura de 11°C obteniendo un volumen de CO₂ de 2.57 %v/v.

Cálculo 30: Determinación grados IBU en producto terminado

$$IBU = \frac{m_L * U\% * \% \alpha * 1000}{V * CrD}$$

Donde:

m_L: Masa del lúpulo

U%: Factor de aprovechamiento del lúpulo

%α: Porcentaje de ácidos alfa (AA)

V: Volumen del mosto

$$\%IBU = \frac{11.34 * 0.11 * 0.12 * 1000}{18.02 * 1} = 8.30 \text{ g/ml}$$

Cálculo 31: Determinación de grados IBU de manera analítica por espectrofotometría

A una longitud de onda de 275 nm

$$\%IBU = \lambda * 50$$

Donde:

λ: Absorbancia

$$\%IBU = 0167 * 50 = 8.35$$

Cálculo 32: Balance de masa para vapor de alimentación en el evaporador propuesto

$$S = \frac{Lh_L + VH_v - Fh_F}{\lambda}$$

Donde:

S: Vapor de alimentación requerido en el sistema

L: Flujo de cerveza a la concentración deseada

h_L : Entalpía de la solución

V: Etanol removido por evaporado

H_v : Entalpía de vapor

F: Alimentación del sistema

h_F : Entalpía de la alimentación

λ_s : Calor latente de vaporización

$$S = \frac{114.28 \frac{kg}{h} \left(0 \frac{kJ}{kg} \right) + 5.72 \frac{kg}{h} \left(2656.9 \frac{kJ}{kg} \right) - 120 \frac{kg}{h} \left(-334.53 \frac{kJ}{kg} \right)}{1848.6 \frac{kJ}{kg}}$$
$$= 29.94 \frac{kg}{h} \text{ vapor}$$

Cálculo 33: Calor requerido del sistema

$$Q = S * \lambda_s$$

Donde:

Q: Calor ingresado al sistema

λ_s : Calor latente de vaporización

$$Q = 29.94 \frac{kg}{h} * 1848.6 \frac{kJ}{kg} = 55,341.1 \frac{kJ}{h}$$

Cálculo 34: Determinación de flujo volumétrico

$$\dot{Q} = F * \rho$$

Donde

\dot{Q} : Flujo volumétrico

F: Alimentación de cerveza

ρ : Densidad de la cerveza

$$\dot{Q} = 120 \frac{kg}{h} * 1002 \frac{kg}{m^3} = 0.11976 \frac{m^3}{h}$$

Cálculo 35: Determinación de volumen del evaporador

$$V = \dot{Q} * Tr$$

Donde:

\dot{Q} : Flujo volumétrico

Tr: Tiempo de retención del proceso

$$V = 0.1197 \frac{m^3}{h} * 1.17h = 0.140 m^3 * \left(\frac{1000L}{1m^3}\right) = 140 L$$

Cálculo 36: Área de transferencia de calor del evaporador

$$A = \frac{S\lambda_s}{U(T_s - T)}$$

Donde:

λ_s : Calor latente de vaporización

U: Coeficiente global de transferencia de calor

T: Temperatura del sistema

$$\frac{29.94 \frac{kg}{h} * 1848 \frac{kJ}{kg}}{1866 \frac{kW}{m^2 \cdot ^\circ C} * (88 - 74.7)^\circ C} = 2.23 m^2$$

Cálculo 37: Flujo de agua para enfriamiento en condensador

$$W = E \frac{(H_E - H_C)}{(H_C - H_W)}$$

Donde:

H_E : Entalpía flujo de entrada

H_C : Entalpía flujo de salida

H_W : Entalpía de agua de enfriamiento

E: Evaporado

$$5.72 \frac{kg}{h} * \frac{\left(2656.9 \frac{kJ}{kg} - 331.18 \frac{kJ}{kg}\right)}{\left(331.18 \frac{kJ}{kg} - 230.28 \frac{kJ}{kg}\right)} = 131.8 \frac{kg}{h}$$

Cálculo 38: Altura del evaporador

$$h = \frac{V}{\pi r^2}$$

Donde:

V: volumen del sistema

r: Radio del sistema

$$\frac{0.140m^3}{\pi * \left(\frac{0.48}{2}\right)^2} = 0.77 m$$

Cálculo 39: Número de pasos de serpentín

$$P = \frac{A}{L}$$

Donde:

A: Área de transferencia de calor

L: Largo de serpentín

$$\frac{2.23}{0.58} = 4$$

Cálculo 40: Largo del serpentín

$$L = \frac{\dot{Q}}{U\pi D_{ext}(T_f - T_o)}$$

Donde

\dot{Q} : Flujo de transferencia de calor

U: Coeficiente global de transferencia de calor

D_{ext} : diámetro externo

T_f : Temperatura final

T_o : Temperatura inicial

$$\frac{1029.7W}{375.94 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * \pi * 0.025m * (74.7 - 15)^\circ C} = 0.58 m$$

Cálculo 41: Determinación de media para los resultados de las evaluaciones organolépticas

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i X}{n}$$

Donde:

\bar{X} : media

n: Número total de muestra

X: suma de los valores medidos

$$\bar{X} = \frac{8 + 7 + 6 + 6 + 7 + 6 + 8 + \dots 9}{48} = 8.25$$

Cálculo 42: Cálculo de varianza común

$$S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde:

S_c^2 : Varianza común

n_1 : Número de muestras para cada análisis comparado

n_2 : Número de muestras para cada análisis del grupo 2

S_1^2 : Varianza 1

S_2^2 : Varianza 2

$$\frac{(48 - 1) * 1.34 + (48 - 1) * 2.46}{48 + 48 - 2} = 1.90$$

Cálculo 43: Cálculo de prueba t

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}}$$

Donde:

t: Prueba t

\bar{X}_1 : Media de datos 1

\bar{X}_2 : Media de datos 2

S_1^2 : Varianza 1

S_2^2 : Varianza 2

$$\frac{7.75 - 8.96}{\sqrt{\frac{1.06}{48} + \frac{1.34}{48}}} = -5.41$$

Este cálculo se realizó para cada uno de los promedios evaluados en el catado de evaluación organoléptica de la cerveza.

C. Datos calculados

Figura 15. Balance de masa y energía proceso de evaporación para lote W

Evaporación

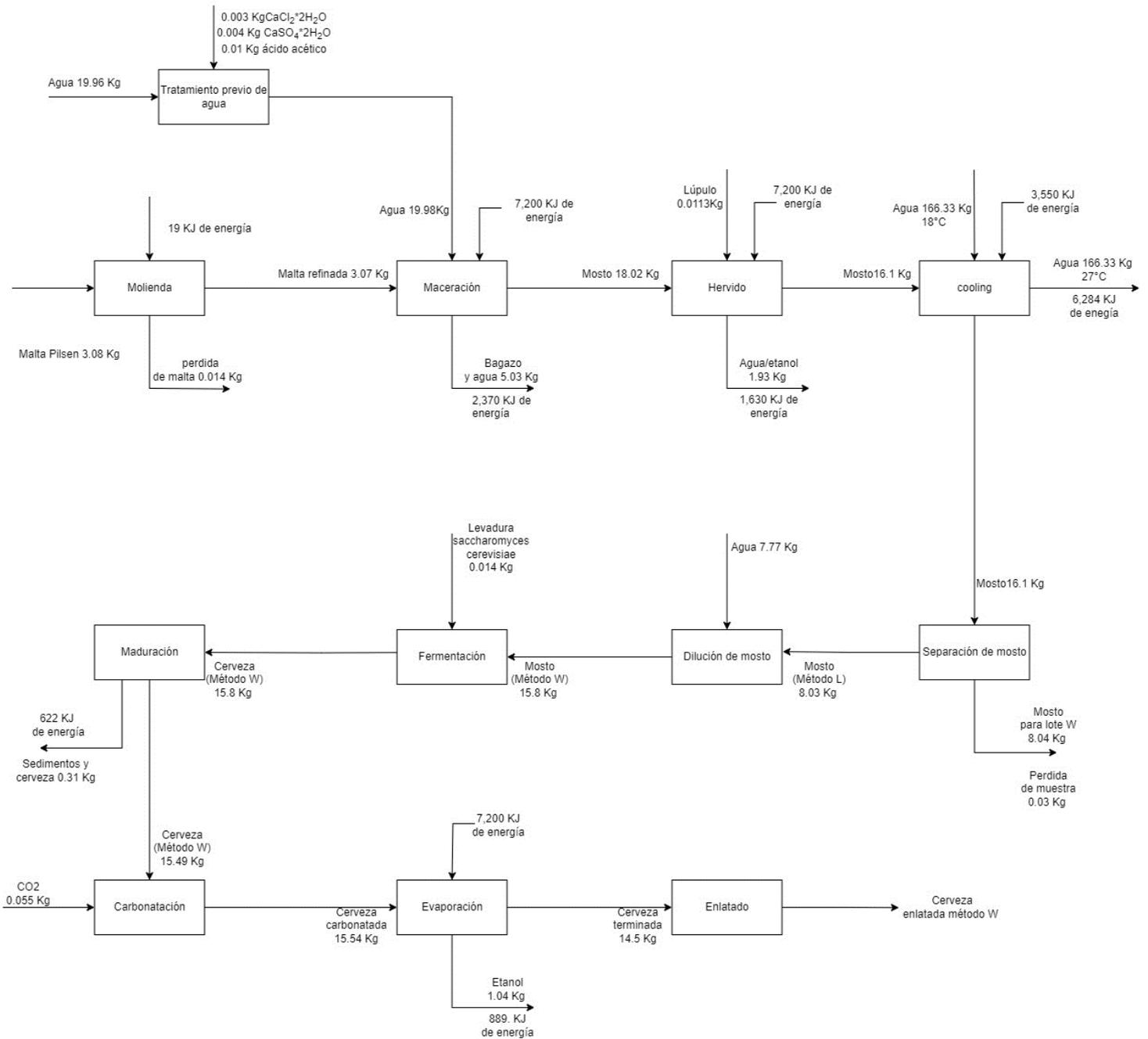


Figura 16. Balance de masa y energía proceso para cepa LA-01 (lote L)

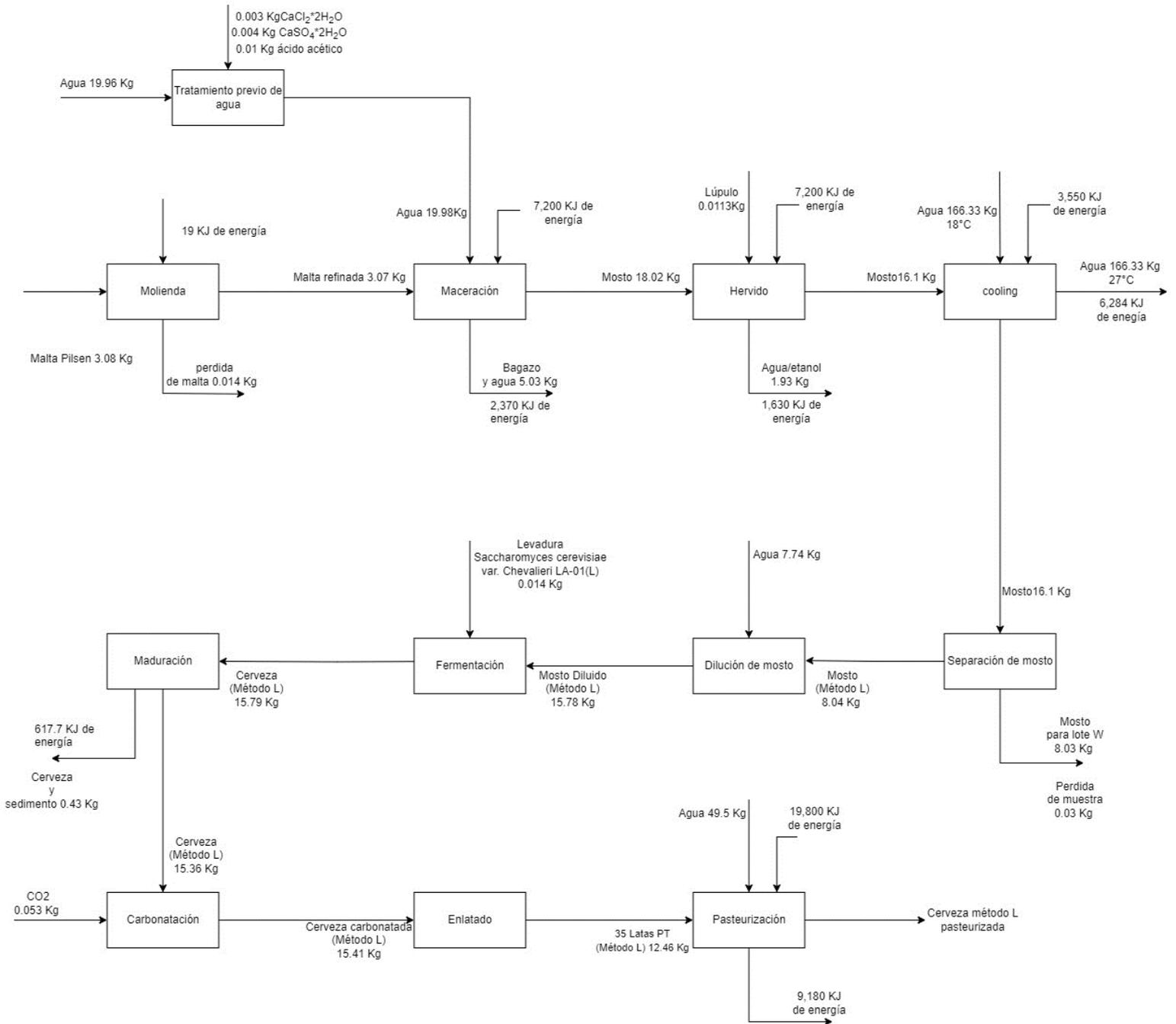


Tabla 22. Gravedades originales

Método	Gravedad original Lote 1	% de error	Gravedad original Lote 2	% de error
Método L	1.038	0.38	1.020	0.19
Método W	1.034	0	1.018	0.39

Se tomó como OG teórica a la establecida al inicio de cada lote.

Tabla 23. Gravedades finales

Método	Gravedad final Lote 1	% de error	Gravedad final Lote 2	Porcentaje de error (%)
Método L	1.015	0.29	1.016	0.58
Método W	1.006	0.49	1.006	1.3

El FG teórico se determinó según lo esperado por la atenuación aparente de cada levadura

Figura 17. Atenuación aparente

Método	Atenuación Aparente	Porcentaje de error (%)
Método L	70%	11.4
Método W	20%	33.3

Figura 18. Curva de ABV contra tiempo para evaporación del lote 1

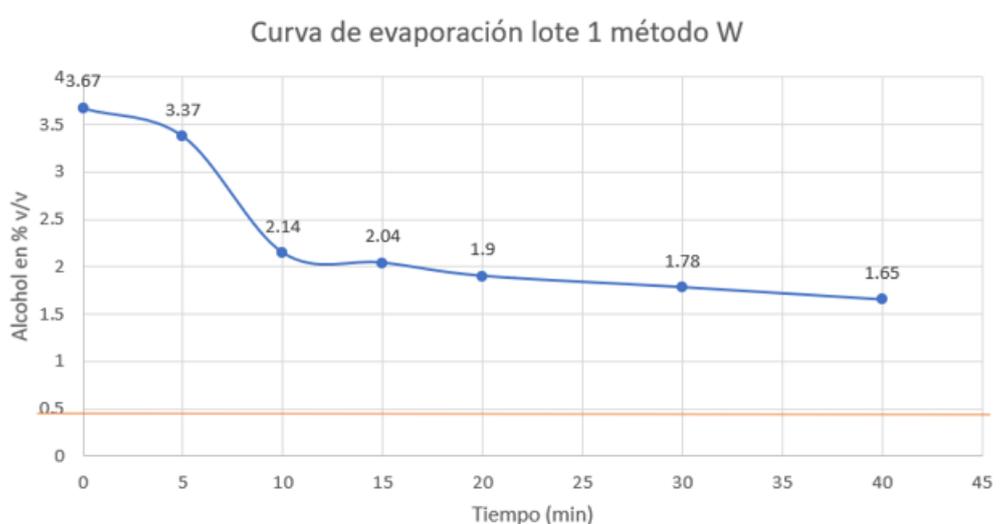


Figura 19. Curva de ABV contra tiempo para evaporación del lote 2

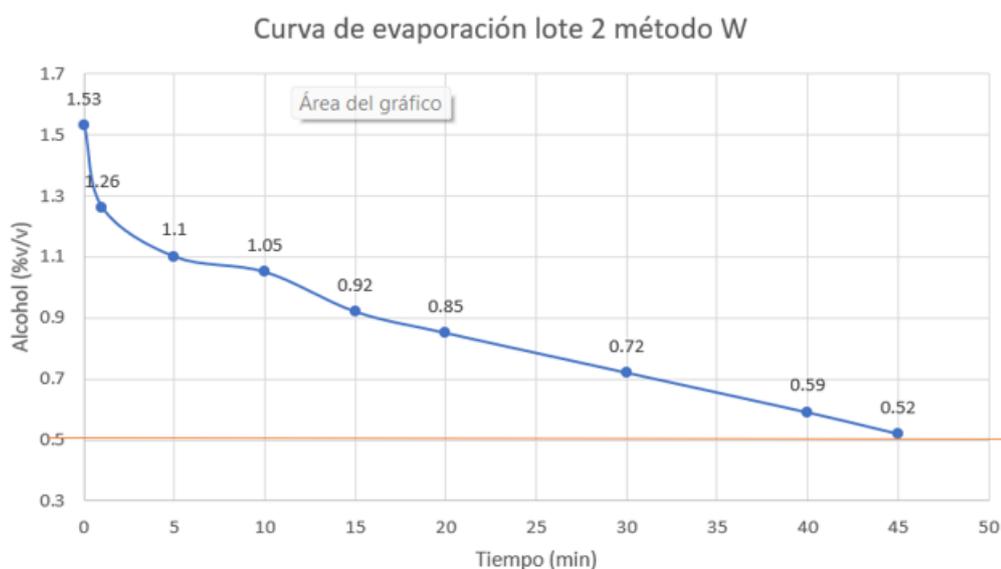


Tabla 24. ABV y su porcentaje de error

Método	Porcentaje de alcohol (v/v) Lote 2		Porcentaje de alcohol (v/v) Lote 1	
	Resultado	Porcentaje de error	Resultado	Porcentaje de error
Método W (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	0.52	4.0	1.58	216
Método L (LA-01)	0.31	0	3.02	504

Tabla 25. Resultados de extracto del producto terminado

Método	Lote 1		Lote 2	
	Extracto real (%m/m)	Extracto aparente (%m/m)	Extracto real (%m/m)	Extracto aparente (%m/m)
Método L	-	-	3.79	3.66
Método W	2.24	1.61	2.02	1.81

Tabla 26. Resultados de color del producto terminado

Método	Color (EBC)
Saccharomyces cerevisiae var. Chevalieri LA-01 (L)	8.18
Saccharomyces cerevisiae (W)	5.63

Tabla 27. Determinación de IBU analítico y empírico

Método	IBU (g/ml) por espectrofotometría	IBU (g/ml) por formula empírica	Porcentaje de error (%)
Saccharomyces cerevisiae var. Chevalieri LA-01 (L)	7.88	8.08	2.54
Saccharomyces cerevisiae (W)	8.15	8.30	1.84

Tomando como valor teórico al método por espectrofotometría

Tabla 28. Determinación de turbidez

Método	Lote 1	Lote 2
Saccharomyces cerevisiae var. Chevalieri LA-01 (L)	17.8	18.3
Saccharomyces cerevisiae (W)	14.5	14.0

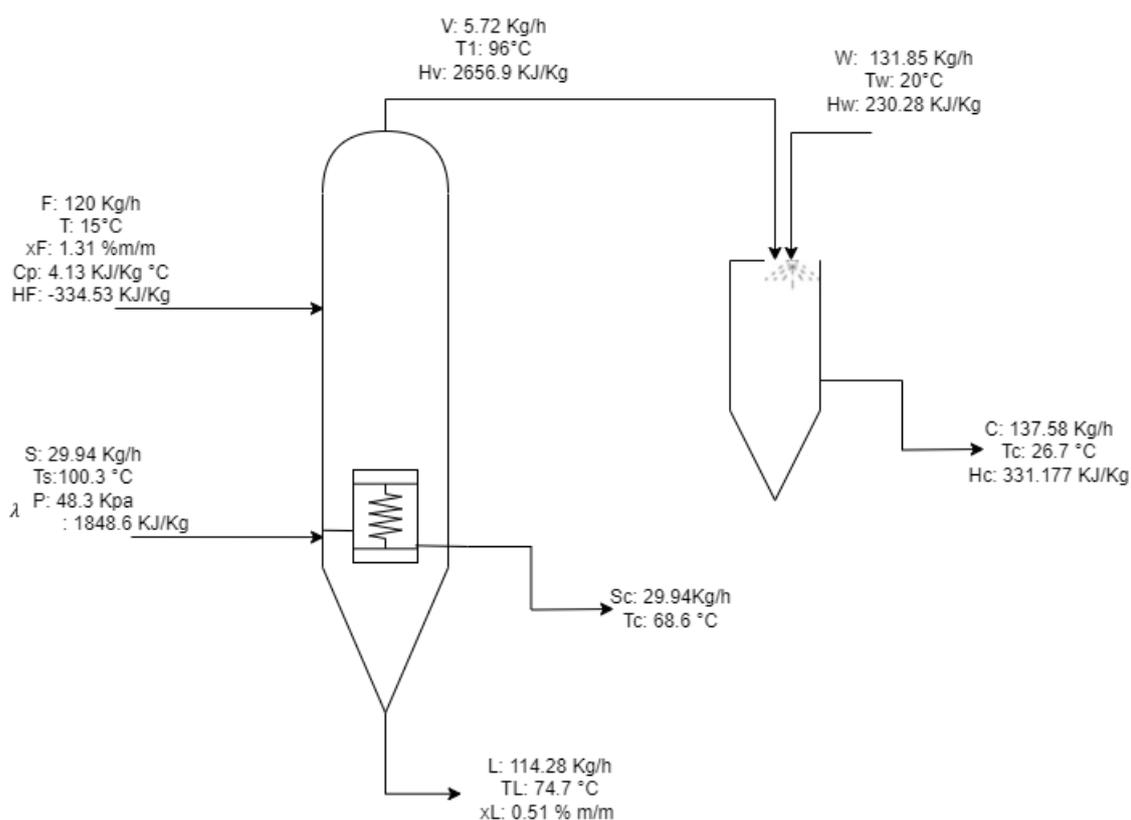
Tabla 29. Determinación de CO₂

Especificación	Saccharomyces cerevisiae var. Chevalieri LA-01 (L)	Saccharomyces cerevisiae (W)
%CO ₂ (V/V)	2.57	1.92

Tabla 30. Pruebas microbiológicas realizadas para ambos métodos

Método (Lote 2)	Agar NBBA (Lactobacilos)	Agar Mosto (Levadura)	Sulfato de cobre (Levadura salvaje)
Saccharomyces cerevisiae var. Chevalieri LA-01 (L)	Negativo	negativo	Negativo
Saccharomyces cerevisiae (W)	Negativo	Negativo	Negativo

Figura 20. Balance de masa y energía del diseño del evaporador



Fuente: Propia

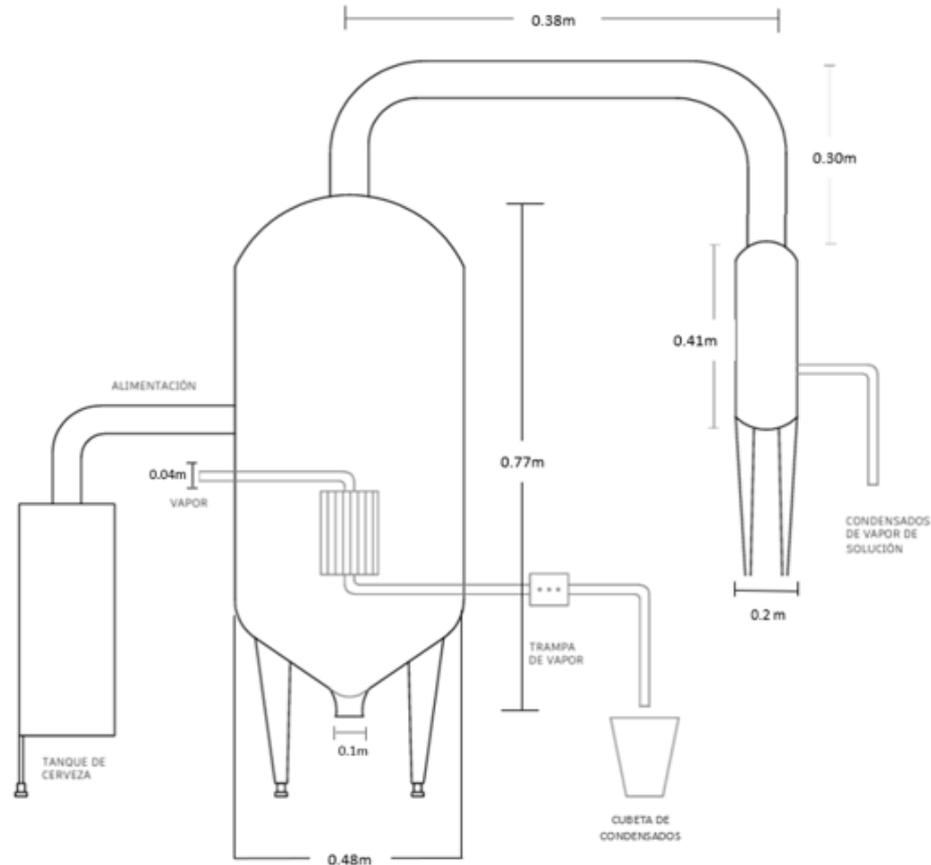
Donde:

- S: Flujo de alimentación de vapor
- F: Alimentación de cerveza
- L: Salida de solución más concentrada
- V: Vapor de etanol

Cabe destacar que condiciones como entalpías y condiciones de operación se estimaron asumiendo un sistema etanol agua.

Figura 21. Ficha técnica del evaporador dimensionado para la planta de cerveza artesanal Quiscalus, S.A.

		Ficha de especificación del evaporador de simple efecto		Doc. No: 1	
Nombre del equipo: Evaporador de simple efecto					
Proveedor		Pendiente			



Información de operación		Materiales de construcción	
Temperatura de entrada de vapor	110 °C	Tuberías	Acero inoxidable 304
Temperatura de alimentación	15 - 20 °C	Evaporador	Acero inoxidable 304
Presión de operación	48.3 KPa	Condensador	Aleación Aluminio
Alimentación de vapor	30 Kg/h	Serpentín	Acero inoxidable 304
Alimentación de cerveza	120 L		
		Reglas de diseño	
Trampa de vapor	Mecanica/cúbeta invertida	ASME Sec. VIII Div. 1	
Limpieza en evaporador	CIP	ASME serie B31. 3	
Largo de serpentín	0.58 m		
No. De paso o vueltas	4	Tipo de condensador	Barométrico/riego
Diámetro interno	0.08 m	Altura	0.41 m
Coefficiente de transf. De calor	375.94 W/m ² °C	Diámetro	0.2 m
Volumen total	120 L		
Volumen de diseño	140 L		
Altura	0.77 m		
Diámetro	0.48 m		
Radio de evaporador	0.24 m		
Area de superficie	2.23 m ²		

Figura 22. Caldera CBL Gaspac

Marca: CBL

Capacidad mínima de vapor: 25 kg/h

Fuente de alimentación: combustible



Fuente: Calprose, 2023

Figura 23. Caldera Nobeth

Marca: Nobeth

Capacidad: 30 – 200 kg/h

Fuente de alimentación: combustible



Fuente: Nobeth, 2023

Figura 24. Caldera Cleaver Brooks

Marca: Cleaver Brooks
Modelo: Clearfire-H Modular Boiler
Capacidad: 50 HP
Fuente de alimentación: Combustible



Fuente: Cleaver Brooks, 2023

Figura 25. Calder ATTSU

Marca: ATTSU
Modelo: GE Series
Capacidad: 20 kg/h
Fuente de alimentación: Energía eléctrica



Fuente: ATTSU, 2023

Figura 26. Distribución de edad y sexo de panelistas

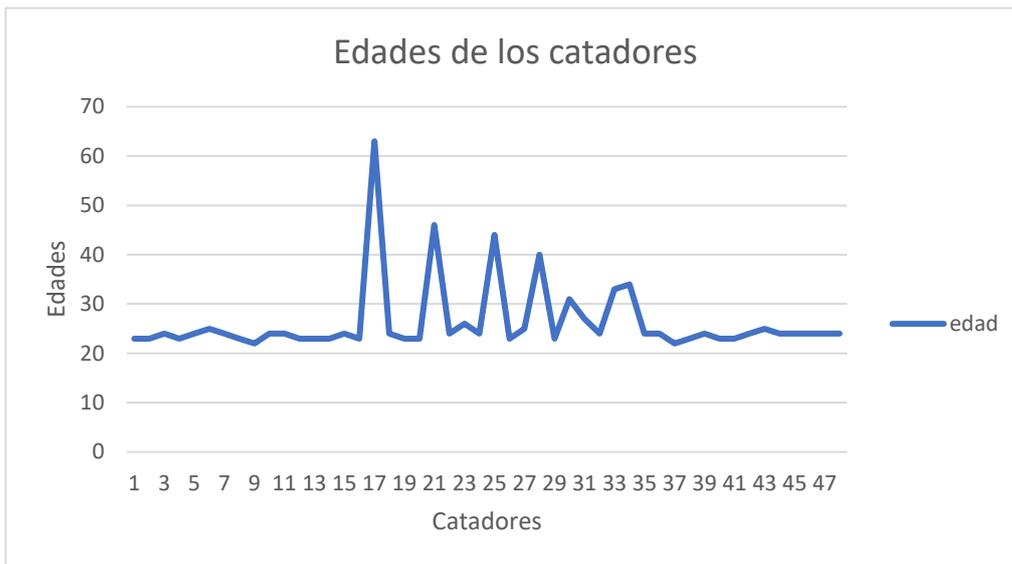


Figura 27. Combinación de resultados para catada triangular

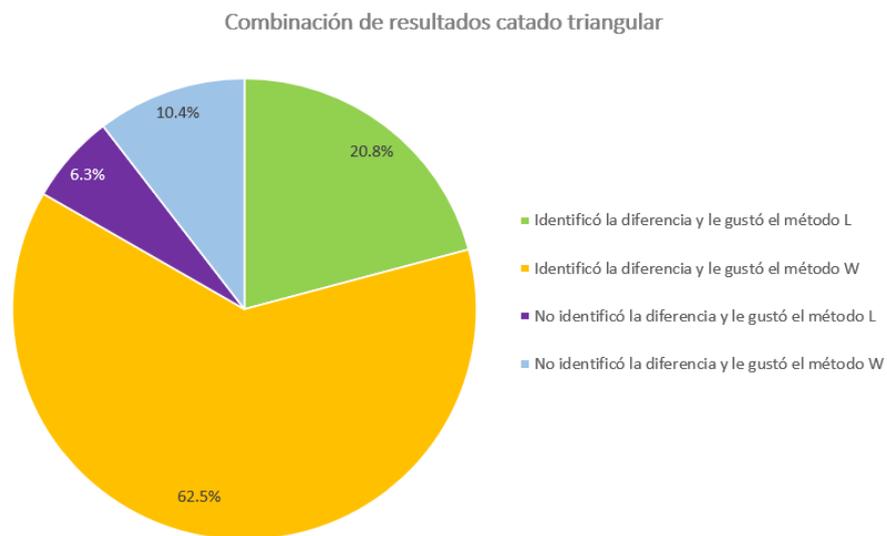


Figura 28. Distribución porcentual de la cantidad de hombres (M) y mujeres (F) que participaron en el catado

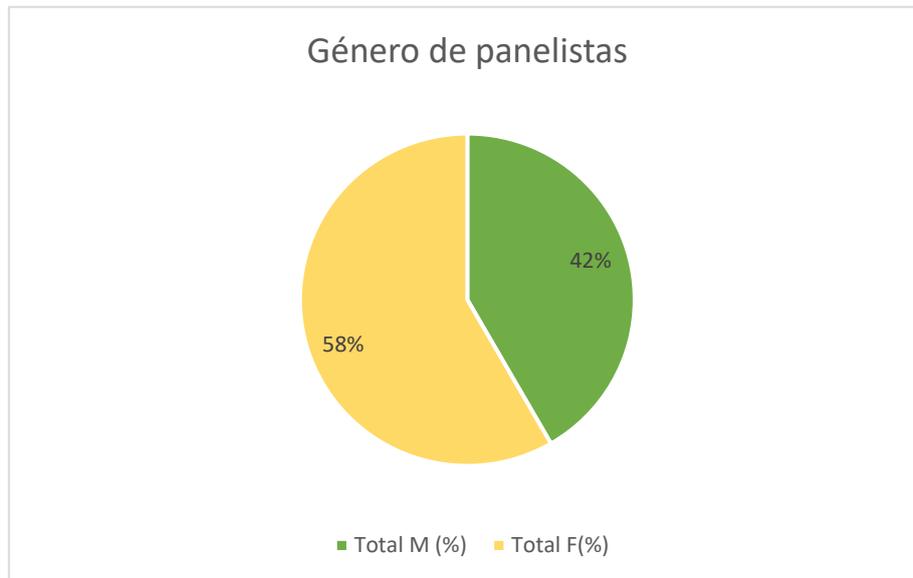


Figura 29. Respuesta a la pregunta de la encuesta “¿Con qué frecuencia consume usted cerveza?”

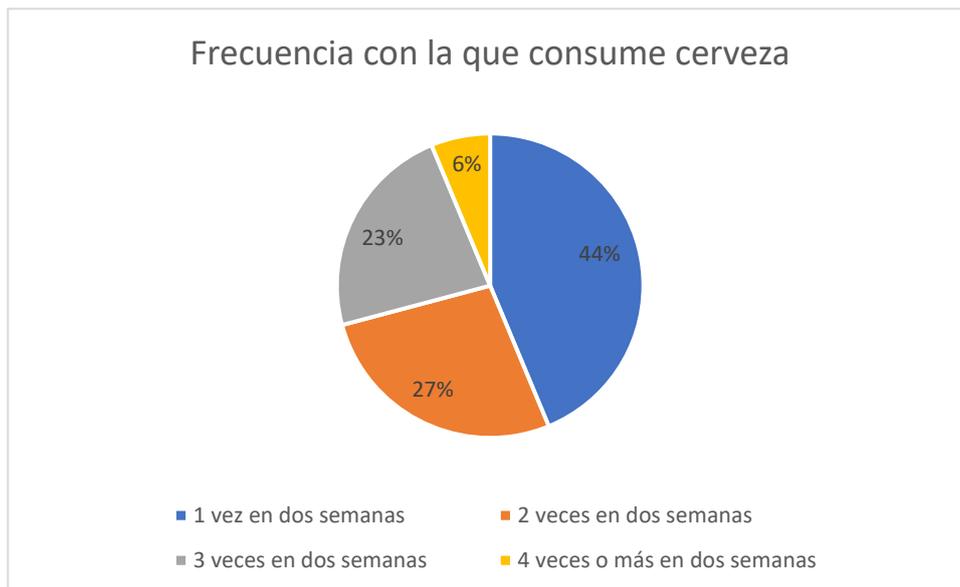


Figura 30. Respuesta a la pregunta de la encuesta “¿Conocía usted de la existencia de las cervezas sin alcohol (con bajo contenido de alcohol)?”



Figura 31. Respuesta a la pregunta de la encuesta “Si tuviera que dejar de consumir alcohol ¿consideraría alguna de estas opciones como alternativa?”

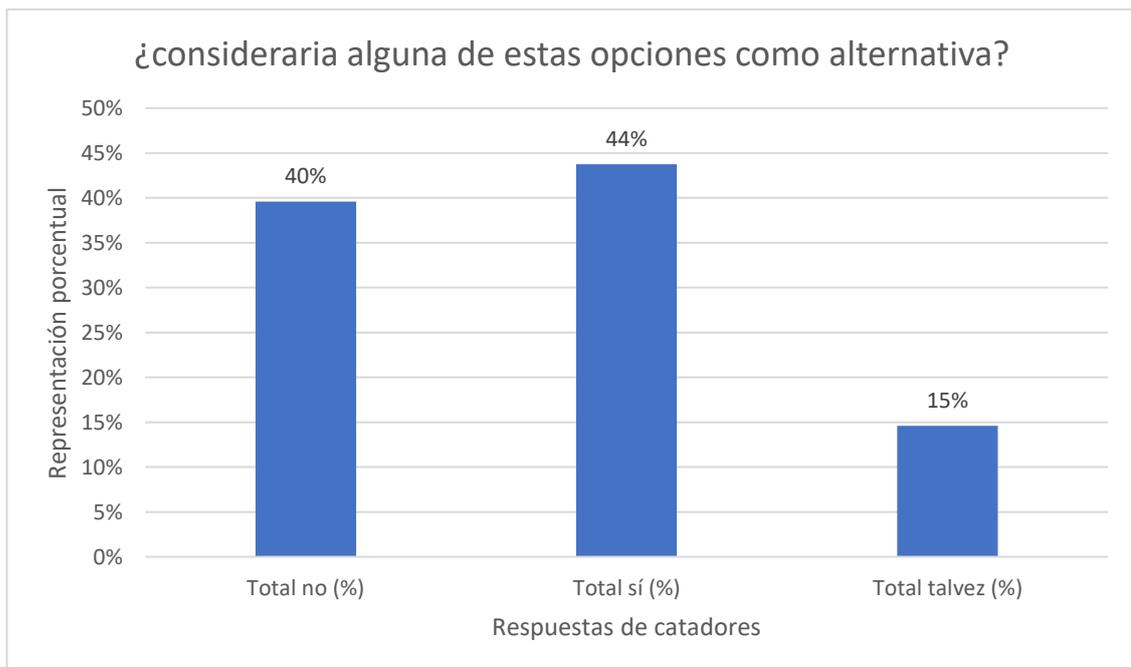


Figura 32. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Espuma) por medio de Excel 2016

Espuma		
	<i>Espuma</i>	<i>Espuma</i>
Media	8.25	3.479166667
Varianza	1.340425532	2.467641844
Observaciones	48	48
Varianza agrupada	1.904033688	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	94	
Estadístico t	16.93801651	
P(T<=t) una cola	1.29523E-30	
Valor crítico de t (una cola)	1.661225855	
P(T<=t) dos colas (P valor)	2.59047E-30	
Valor crítico de t (dos colas) t⁻¹	1.985523442	

Figura 33. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Color) por medio de Excel 2016

Color		
	<i>Color</i>	<i>Color</i>
Media	7.75	8.958333333
Varianza	2.106382979	1.062056738
Observaciones	48	48
Varianza agrupada	1.584219858	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	94	
Estadístico t	-4.703104738	
P(T<=t) una cola	4.38824E-06	
Valor crítico de t (una cola)	1.661225855	
P(T<=t) dos colas	8.77649E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	1.985523442	

Figura 34. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Aroma) por medio de Excel 2016

Aroma		
	<i>Aroma</i>	<i>Aroma</i>
Media	7.604166667	8
Varianza	1.563386525	1.531914894
Observaciones	48	48
Varianza agrupada	1.547650709	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	94	
Estadístico t	-1.558768098	
P(T<=t) una cola	0.061205929	
Valor crítico de t (una cola)	1.661225855	
P(T<=t) dos colas	0.122411859	
Valor crítico de t (dos colas)	1.985523442	

Figura 35. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Sabor) por medio de Excel 2016

Sabor		
	<i>Sabor</i>	<i>Sabor</i>
Media	7.833333333	8.0625
Varianza	1.205673759	1.761968085
Observaciones	48	48
Varianza agrupada	1.483820922	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	94	
Estadístico t	-0.921650628	
P(T<=t) una cola	0.17953515	
Valor crítico de t (una cola)	1.661225855	
P(T<=t) dos colas	0.3590703	
Valor crítico de t (dos colas)	1.985523442	

Figura 36. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Amargor) por medio de Excel 2016

Amargor		
	<i>Amargor</i>	<i>Amargor</i>
Media	6.9375	8.166666667
Varianza	1.33643617	1.716312057
Observaciones	48	48
Varianza agrupada	1.526374113	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	94	
Estadístico t	-4.8740042	
P(T<=t) una cola	2.21431E-06	
Valor crítico de t (una cola)	1.661225855	
P(T<=t) dos colas	4.42862E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	1.985523442	

Figura 37. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales (Cuerpo) por medio de Excel 2016

Cuerpo		
	<i>Cuerpo</i>	<i>Cuerpo</i>
Media	7.083333333	8.229166667
Varianza	1.609929078	1.201684397
Observaciones	48	48
Varianza agrupada	1.405806738	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	94	
Estadístico t	-4.734392532	
P(T<=t) una cola	3.87556E-06	
Valor crítico de t (una cola)	1.661225855	
P(T<=t) dos colas	7.75112E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	1.985523442	

Figura 38. Prueba F para comparación de dos varianzas (Espuma) por medio de Excel 2016

Espuma		
	<i>Espuma</i>	<i>Espuma</i>
Media	8.25	3.47916667
Varianza	1.34042553	2.46764184
Observaciones	48	48
Grados de libertad	47	47
F	0.54320101	
P(F<=f) una cola	0.01945712	
Valor crítico para F (una cola)	0.61585628	

Figura 39. Prueba F para comparación de dos varianzas (Color) por medio de Excel 2016

Color		
	<i>Color</i>	<i>Color</i>
Media	7.75	8.95833333
Varianza	2.10638298	1.06205674
Observaciones	48	48
Grados de libertad	47	47
F	1.98330551	
P(F<=f) una cola	0.01036962	
Valor crítico para F (una cola)	1.62375548	

Figura 40. Prueba F para comparación de dos varianzas (Aroma) por medio de Excel 2016

Aroma		
	<i>Aroma</i>	<i>Aroma</i>
Media	7.60416667	8
Varianza	1.56338652	1.53191489
Observaciones	48	48
Grados de libertad	47	47
F	1.02054398	
P(F<=f) una cola	0.47236059	
Valor crítico para F (una cola)	1.62375548	

Figura 41. Prueba F para comparación de dos varianzas (Sabor) por medio de Excel 2016

Sabor		
	<i>Sabor</i>	<i>Sabor</i>
Media	7.83333333	8.0625
Varianza	1.20567376	1.76196809
Observaciones	48	48
Grados de libertad	47	47
F	0.68427673	
P(F<=f) una cola	0.09856575	
Valor crítico para F (una cola)	0.61585628	

Figura 42. Prueba F para comparación de dos varianzas (Amargor) por medio de Excel 2016

Amargor		
	<i>Amargor</i>	<i>Amargor</i>
Media	6.9375	8.16666667
Varianza	1.33643617	1.71631206
Observaciones	48	48
Grados de libertad	47	47
F	0.77866736	
P(F<=f) una cola	0.19713678	
Valor crítico para F (una cola)	0.61585628	

Figura 43. Prueba F para comparación de dos varianzas (Cuerpo) por medio de Excel 2016

Cuerpo		
	<i>Cuerpo</i>	<i>Cuerpo</i>
Media	7.08333333	8.22916667
Varianza	1.60992908	1.2016844
Observaciones	48	48
Grados de libertad	47	47
F	1.33972704	
P(F<=f) una cola	0.15975981	
Valor crítico para F (una cola)	1.62375548	

D. Análisis de error

Cálculo 44: Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n a_i$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética

n: Número total de muestra

a: dato correspondiente

$$\bar{X} = \frac{8 + 7 + 6 + 6 + 7 + 6 + 8 + \dots 9}{48} = 8.25$$

Cálculo 45: Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (a_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética

n: Número total de muestra

a: dato correspondiente

$$\sqrt{\frac{(4.73 - 4.68)^2 + (5.05 - 4.85)^2}{2}} = 2.09$$

Cálculo 46: Multiplicación y división

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

S_y : Incertidumbre

y: Resultado de la operación original

a: Valor original de a

b: Valor original de b

s_a : Incertidumbre de a

s_b : Incertidumbre de b

$$7.27 \sqrt{\left(\frac{0.010}{0.250}\right)^2 + \left(\frac{0.001}{1.3}\right)^2} = \pm 0.29$$

Cálculo 47: Suma y resta

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

Donde:

S_y : Incertidumbre

s_a : Incertidumbre de a

s_b : Incertidumbre de b

$$\sqrt{(0.01)^2 + (0.015)^2} = 0.018 \text{ kg}$$

E. Equipos y material utilizado

Figura 44. Solubilidad del CO₂ en cerveza con base en la relación presión y temperatura

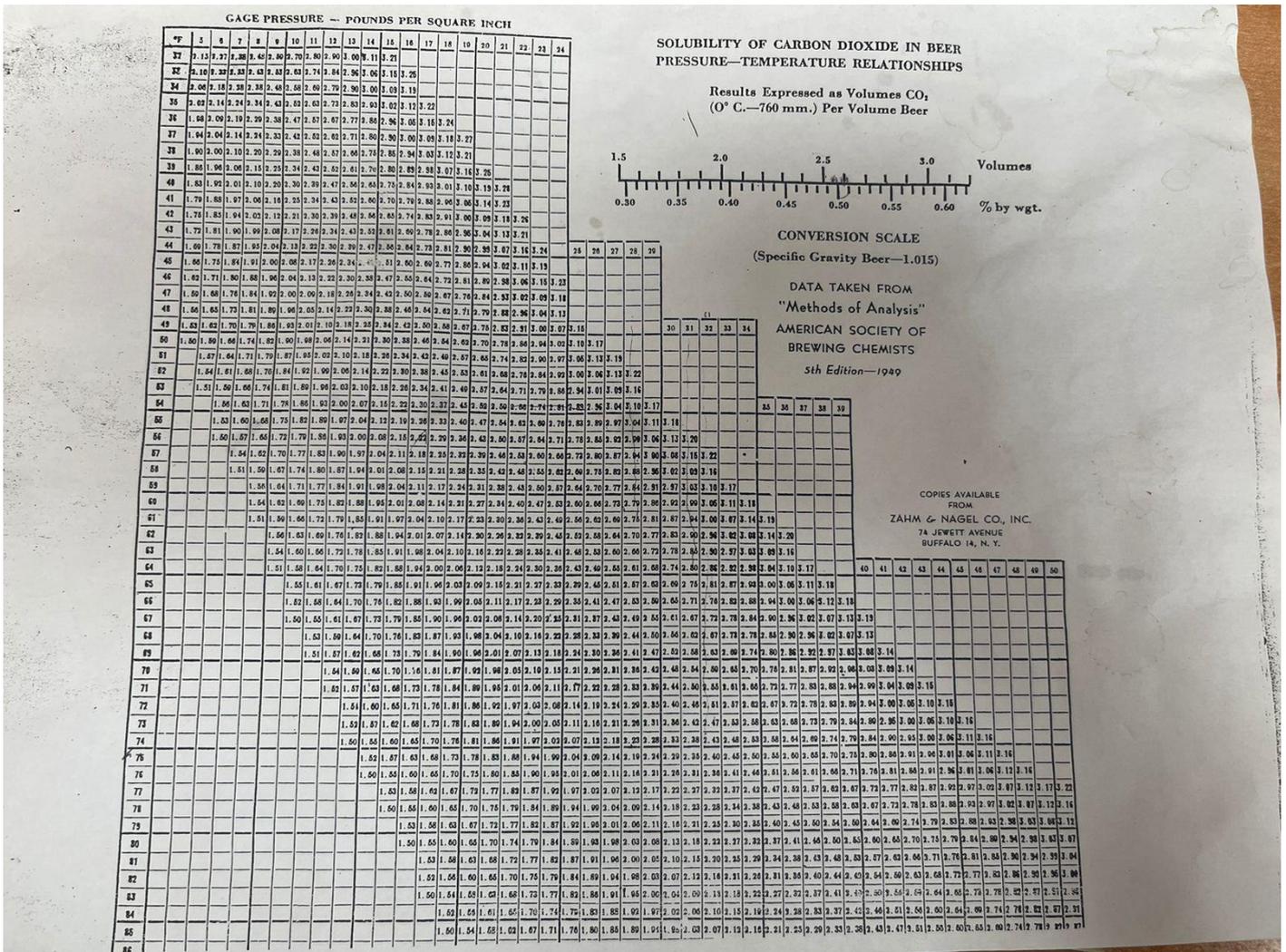


Figura 45. Relación grados brix con gravedad original del mosto

Gravedad específica	Brix	Gravedad específica	Brix	Gravedad específica	Brix	Gravedad específica	Brix	Gravedad específica	Brix
0.990	0.00	1.019	4.83	1.048	11.90	1.077	18.63	1.106	25.05
0.991	0.00	1.020	5.08	1.049	12.14	1.078	18.86	1.107	25.27
0.992	0.00	1.021	5.33	1.050	12.37	1.079	19.08	1.108	25.48
0.993	0.00	1.022	5.57	1.051	12.61	1.080	19.31	1.109	25.70
0.994	0.00	1.023	5.82	1.052	12.85	1.081	19.53	1.110	25.91
0.995	0.00	1.024	6.07	1.053	13.08	1.082	19.76	1.111	26.13
0.996	0.00	1.025	6.32	1.054	13.32	1.083	19.98	1.112	26.34
0.997	0.00	1.026	6.57	1.055	13.55	1.084	20.21	1.113	26.56
0.998	0.00	1.027	6.81	1.056	13.79	1.085	20.43	1.114	26.77
0.999	0.00	1.028	7.06	1.057	14.02	1.086	20.65	1.115	26.98
1.000	0.00	1.029	7.30	1.058	14.26	1.087	20.88	1.116	27.20
1.001	0.26	1.030	7.55	1.059	14.49	1.088	21.10	1.117	27.41
1.002	0.51	1.031	7.80	1.060	14.72	1.089	21.32	1.118	27.62
1.003	0.77	1.032	8.04	1.061	14.96	1.090	21.54	1.119	27.83
1.004	1.03	1.033	8.28	1.062	15.19	1.091	21.77	1.120	28.05
1.005	1.28	1.034	8.53	1.063	15.42	1.092	21.99	1.121	28.26
1.006	1.54	1.035	8.77	1.064	15.65	1.093	22.21	1.122	28.47
1.007	1.80	1.036	9.01	1.065	15.88	1.094	22.43	1.123	28.68
1.008	2.05	1.037	9.26	1.066	16.11	1.095	22.65	1.124	28.89
1.009	2.31	1.038	9.50	1.067	16.34	1.096	22.87	1.125	29.10
1.010	2.56	1.039	9.74	1.068	16.57	1.097	23.09	1.126	29.31
1.011	2.81	1.040	9.98	1.069	16.80	1.098	23.31	1.127	29.52
1.012	3.07	1.041	10.22	1.070	17.03	1.099	23.53	1.128	29.73
1.013	3.32	1.042	10.46	1.071	17.26	1.100	23.75	1.129	29.94
1.014	3.57	1.043	10.70	1.072	17.49	1.101	23.96	1.130	30.15
1.015	3.82	1.044	10.94	1.073	17.72	1.102	24.18		
1.016	4.08	1.045	11.18	1.074	17.95	1.103	24.40		
1.017	4.33	1.046	11.42	1.075	18.18	1.104	24.62		
1.018	4.58	1.047	11.66	1.076	18.40	1.105	24.83		

(República cervecera, 2023)

Figura 46. Relación grados brix con gravedad original del mosto

Per cent of sugar.	Specific gravity.	Degree Baumé.	Per cent of sugar.	Specific gravity.	Degree Baumé.	Per cent of sugar.	Specific gravity.	Degree Baumé.	Per cent of sugar.	Specific gravity.	Degree Baumé.
0.1	1.0003	0.06	6.6	1.0261	3.7	13.1	1.0531	7.3	19.6	1.0815	10.85
0.2	1.0007	0.11	6.7	1.0265	3.7	13.2	1.0536	7.3	19.7	1.0819	10.9
0.3	1.0011	0.17	6.8	1.0269	3.8	13.3	1.0540	7.4	19.8	1.0824	11.0
0.4	1.0015	0.22	6.9	1.0273	3.8	13.4	1.0544	7.4	19.9	1.0828	11.0
0.5	1.0019	0.28	7.0	1.0277	3.9	13.5	1.0548	7.5	20.0	1.0832	11.1
0.6	1.0023	0.33	7.1	1.0281	3.9	13.6	1.0553	7.5	20.1	1.0837	11.1
0.7	1.0027	0.39	7.2	1.0286	4.0	13.7	1.0557	7.6	20.2	1.0841	11.2
0.8	1.0031	0.44	7.3	1.0290	4.1	13.8	1.0561	7.65	20.3	1.0846	11.2
0.9	1.0034	0.5	7.4	1.0294	4.1	13.9	1.0566	7.7	20.4	1.0850	11.3
1.0	1.0038	0.55	7.5	1.0298	4.2	14.0	1.0570	7.8	20.5	1.0855	11.3
1.1	1.0042	0.6	7.6	1.0302	4.2	14.1	1.0574	7.8	20.6	1.0859	11.4
1.2	1.0046	0.7	7.7	1.0306	4.3	14.2	1.0578	7.9	20.7	1.0864	11.45
1.3	1.0050	0.7	7.8	1.0310	4.3	14.3	1.0583	7.9	20.8	1.0868	11.5
1.4	1.0054	0.8	7.9	1.0314	4.4	14.4	1.0587	8.0	20.9	1.0873	11.6
1.5	1.0058	0.8	8.0	1.0318	4.4	14.5	1.0591	8.0	21.0	1.0877	11.6
1.6	1.0062	0.9	8.1	1.0322	4.5	14.6	1.0596	8.1	21.1	1.0882	11.7
1.7	1.0066	0.9	8.2	1.0327	4.55	14.7	1.0600	8.15	21.2	1.0886	11.7
1.8	1.0070	1.0	8.3	1.0331	4.6	14.8	1.0604	8.2	21.3	1.0891	11.8
1.9	1.0074	1.05	8.4	1.0335	4.7	14.9	1.0609	8.3	21.4	1.0895	11.8
2.0	1.0077	1.1	8.5	1.0339	4.7	15.0	1.0613	8.3	21.5	1.0900	11.9
2.1	1.0081	1.2	8.6	1.0343	4.8	15.1	1.0617	8.4	21.6	1.0904	11.95
2.2	1.0085	1.2	8.7	1.0347	4.8	15.2	1.0621	8.4	21.7	1.0909	12.0
2.3	1.0089	1.3	8.8	1.0351	4.9	15.3	1.0626	8.5	21.8	1.0914	12.05
2.4	1.0093	1.3	8.9	1.0355	4.9	15.4	1.0630	8.5	21.9	1.0918	12.1
2.5	1.0097	1.4	9.0	1.0359	5.0	15.5	1.0634	8.6	22.0	1.0923	12.2
2.6	1.0101	1.4	9.1	1.0364	5.05	15.6	1.0639	8.65	22.1	1.0927	12.2
2.7	1.0105	1.5	9.2	1.0368	5.1	15.7	1.0643	8.7	22.2	1.0932	12.3
2.8	1.0109	1.55	9.3	1.0372	5.2	15.8	1.0647	8.8	22.3	1.0936	12.3
2.9	1.0113	1.6	9.4	1.0376	5.2	15.9	1.0652	8.8	22.4	1.0941	12.4
3.0	1.0117	1.7	9.5	1.0380	5.3	16.0	1.0656	8.9	22.5	1.0945	12.4
3.1	1.0121	1.7	9.6	1.0384	5.3	16.1	1.0660	8.9	22.6	1.0950	12.5
3.2	1.0125	1.8	9.7	1.0388	5.4	16.2	1.0665	9.0	22.7	1.0954	12.55
3.3	1.0129	1.8	9.8	1.0393	5.4	16.3	1.0669	9.0	22.8	1.0959	12.6
3.4	1.0133	1.9	9.9	1.0397	5.5	16.4	1.0674	9.1	22.9	1.0964	12.7
3.5	1.0137	1.9	10.0	1.0401	5.55	16.5	1.0678	9.1	23.0	1.0968	12.7
3.6	1.0141	2.0	10.1	1.0405	5.6	16.6	1.0682	9.2	23.1	1.0973	12.8
3.7	1.0145	2.0	10.2	1.0409	5.7	16.7	1.0687	9.25	23.2	1.0977	12.8
3.8	1.0149	2.1	10.3	1.0413	5.7	16.8	1.0691	9.3	23.3	1.0982	12.9
3.9	1.0153	2.2	10.4	1.0418	5.8	16.9	1.0695	9.4	23.4	1.0986	12.9
4.0	1.0157	2.2	10.5	1.0422	5.8	17.0	1.0700	9.4	23.5	1.0991	13.0
4.1	1.0161	2.3	10.6	1.0426	5.9	17.1	1.0704	9.5	23.6	1.0996	13.0
4.2	1.0165	2.3	10.7	1.0430	5.9	17.2	1.0709	9.5	23.7	1.1000	13.1
4.3	1.0169	2.4	10.8	1.0434	6.0	17.3	1.0713	9.6	23.8	1.1005	13.15
4.4	1.0173	2.4	10.9	1.0439	6.05	17.4	1.0717	9.6	23.9	1.1009	13.2
4.5	1.0177	2.5	11.0	1.0443	6.1	17.5	1.0722	9.7	24.0	1.1014	13.3
4.6	1.0181	2.6	11.1	1.0447	6.2	17.6	1.0726	9.75	24.1	1.1019	13.3
4.7	1.0185	2.6	11.2	1.0451	6.2	17.7	1.0730	9.8	24.2	1.1023	13.4
4.8	1.0189	2.7	11.3	1.0455	6.3	17.8	1.0735	9.9	24.3	1.1028	13.4
4.9	1.0193	2.7	11.4	1.0459	6.3	17.9	1.0739	9.9	24.4	1.1032	13.5
5.0	1.0197	2.8	11.5	1.0464	6.4	18.0	1.0744	10.0	24.5	1.1037	13.5
5.1	1.0201	2.8	11.6	1.0468	6.4	18.1	1.0748	10.0	24.6	1.1042	13.6
5.2	1.0205	2.9	11.7	1.0472	6.5	18.2	1.0753	10.1	24.7	1.1046	13.6
5.3	1.0209	2.9	11.8	1.0476	6.55	18.3	1.0757	10.1	24.8	1.1051	13.7
5.4	1.0213	3.0	11.9	1.0481	6.6	18.4	1.0761	10.2	24.9	1.1056	13.75
5.5	1.0217	3.0	12.0	1.0485	6.7	18.5	1.0766	10.2	25.0	1.1060	13.8
5.6	1.0221	3.1	12.1	1.0489	6.7	18.6	1.0770	10.3	25.1	1.1065	13.9
5.7	1.0225	3.2	12.2	1.0493	6.8	18.7	1.0775	10.35	25.2	1.1070	13.9
5.8	1.0229	3.2	12.3	1.0497	6.8	18.8	1.0779	10.4	25.3	1.1074	14.0
5.9	1.0233	3.3	12.4	1.0502	6.9	18.9	1.0783	10.5	25.4	1.1079	14.0
6.0	1.0237	3.3	12.5	1.0506	6.9	19.0	1.0788	10.5	25.5	1.1083	14.1
6.1	1.0241	3.4	12.6	1.0510	7.0	19.1	1.0792	10.6	25.6	1.1088	14.1
6.2	1.0245	3.4	12.7	1.0514	7.05	19.2	1.0797	10.6	25.7	1.1093	14.2
6.3	1.0249	3.5	12.8	1.0519	7.1	19.3	1.0801	10.7	25.8	1.1097	14.2
6.4	1.0253	3.6	12.9	1.0523	7.2	19.4	1.0806	10.7	25.9	1.1102	14.3
6.5	1.0257	3.6	13.0	1.0527	7.2	19.5	1.0810	10.8	26.0	1.1107	14.35

(Wiley, 1908)

F. Documentación del proceso

Figura 47. Pesado de malta pilsen



Figura 48. Preparación de agua



Figura 49. Proceso de evaporación de lote 1 método W



Figura 50. Malta recién filtrada lote 1 método W



Figura 51. Cerveza terminada lote 1 método L



Figura 52. Cocimiento de mosto lote 2



Figura 53. Condiciones de operación para cocimiento de mosto en el Braumeister



Figura 54. Tanques de fermentación en donde se agregó cada método



Figura 55. Distribución de mosto en tanques de fermentación de 20L



Figura 56. Lectura de gravedad final con hidrómetro lote 2 del método L



Figura 57. Lectura de gravedad final con hidrómetro lote 2 del método W

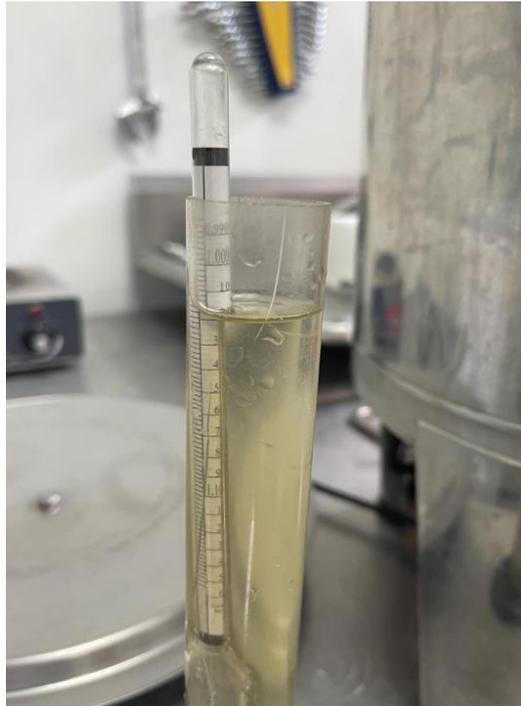


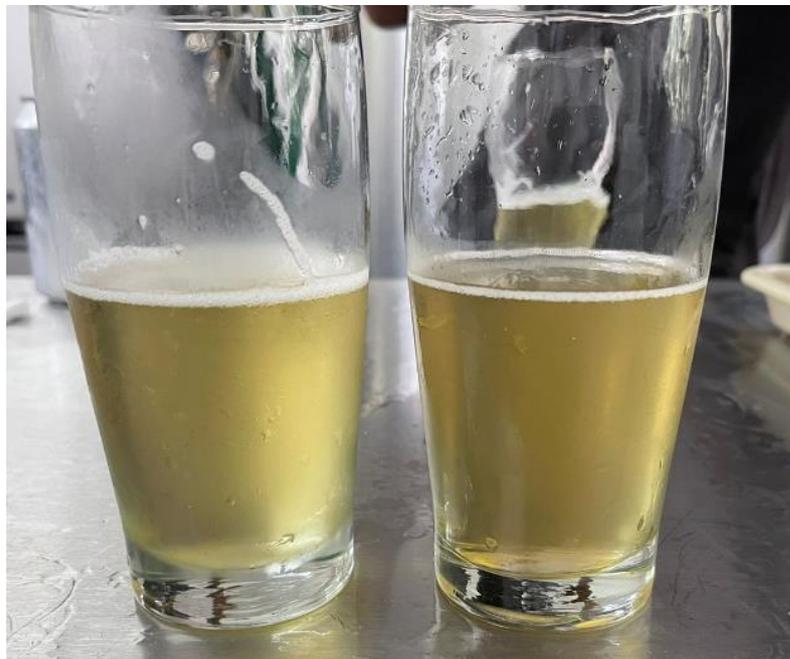
Figura 58. Etapa de fermentación lote 2 método L y W



Figura 59. Proceso de evaporación del método W



Figura 60. Producto terminado



Muestra izquierda es el método L y la muestra derecha es el método W

Figura 61. Medición de muestra leída en alcolyzer



Figura 62. Medición de muestra en turbidímetro



Figura 63. Lectura de IBU en espectrofotómetro



Figura 64. Agar mosto utilizado en microbiología

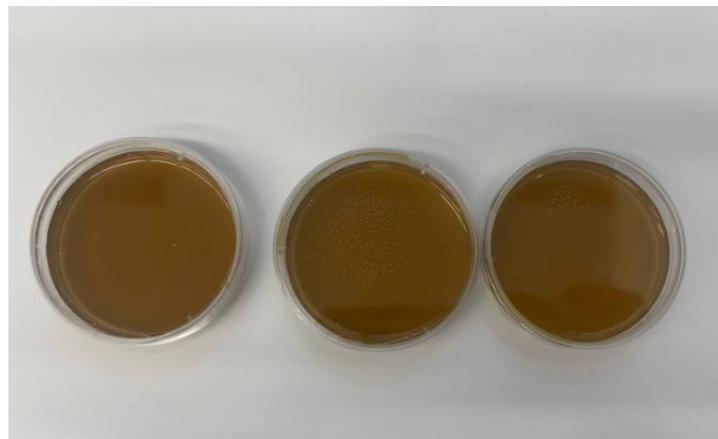


Figura 65. Lecutra de muestras método W

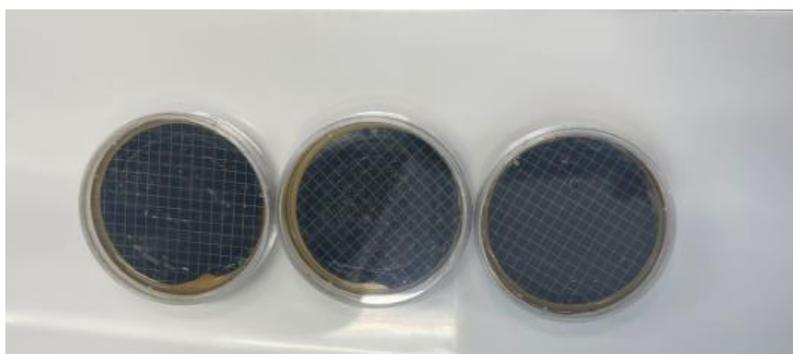


Figura 66. Lectura de muestras método L

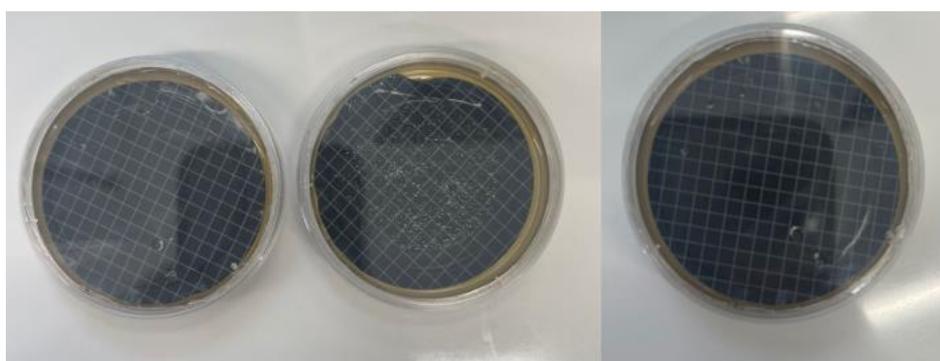


Figura 67. Lectura para muestras en NBB-A de método W



Figura 68. Lectura para muestras en NBB-A de método L



XIII. Glosario

ABV (%): Concentración volumen/volumen de alcohol presente en la cerveza.

Ácidos-alfa: Son compuestos químicos responsables de proporcionar el amargor característico a la cerveza. Se agregan al mosto hirviendo durante la elaboración de la cerveza, convirtiéndose en iso-alfa ácidos, estos siendo los responsables del amargor que se encuentra en la cerveza.

Atenuación aparente: Medida de la conversión de azúcares fermentables en alcohol y dióxido de carbono durante el proceso de fermentación.

Catado hedónico: Catado en donde se busca que uno o varios productos sean evaluados subjetivamente en términos de sabor, aroma, textura, apariencia, entre muchos otros.

Catado triangular: Método de evaluación sensorial utilizado en la industria alimentaria para determinar si hay diferencias perceptibles entre tres muestras. Se llama "triangular" porque implica la comparación de tres muestras, dos de las cuales son idénticas y la tercera es diferente.

Cerveza sin alcohol o bajo contenido alcohólico: Bebida que se asemeja a la cerveza tradicional en sabor, aroma y apariencia, pero que contiene una cantidad extremadamente baja de alcohol, generalmente menos del 0.5% de alcohol por volumen (ABV).

EBC: Los EBC son una medida de color utilizada en Europa para describir el color de la cerveza. Los EBC son una forma de medir la opacidad o la claridad visual de una cerveza y se basan en la absorción de luz que experimenta la cerveza debido a su color.

Fermentación: Es un proceso metabólico que ocurre en organismos vivos, como bacterias, levaduras y algunos tipos de células, en el cual los azúcares u otros compuestos orgánicos son descompuestos obteniendo diferentes tipos de productos de interés humano como alcohol, ácido láctico o gases.

FG: Final gravity por sus siglas en inglés, indica la densidad del mosto luego del proceso de fermentación con el cual junto a la OG se puede determinar de manera empírica la cantidad de alcohol presente en la cerveza.

Grados IBU: International Bitterness Units, o IBU (Unidades Internacionales de Amargor), constituyen una métrica empleada en la fabricación de cerveza para evaluar el grado de sabor amargo en una cerveza, que proviene principalmente de los compuestos amargos presentes en el lúpulo, como los alfa-ácidos.

Levadura: Es un tipo de microorganismo unicelular que pertenece al reino Fungi. Es ampliamente conocida por su papel en la fermentación y su capacidad para convertir azúcares en alcohol y dióxido de carbono a través de un proceso metabólico conocido como fermentación alcohólica.

Maceración: Etapa en el proceso en donde los granos de malta molidos se mezclan con agua caliente para extraer los azúcares, sabores y compuestos aromáticos de los granos y formar el mosto, que es el líquido base para la fermentación de la cerveza.

OG: Original gravity por sus siglas en inglés, es una medida de densidad del mosto para determinar la cantidad de azúcares presentes en la solución.

Pasteurización: Proceso térmico utilizado en alimentos a una temperatura específica durante un tiempo determinado con el propósito de eliminar o reducir significativamente la presencia de microorganismos patógenos (como bacterias, levaduras y mohos) y enzimas que puedan causar deterioro o descomposición del alimento sin alterar significativamente sus propiedades organolépticas (como sabor, aroma y textura).

Turbidez: Apariencia de la cerveza debido a la presencia de partículas en suspensión que dispersan la luz y dan como resultado una falta de transparencia o claridad en el líquido.