

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE MACERACIÓN
EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA IPA EN EL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de graduación presentado por
Juan José Marroquín Donis
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Biotecnología Industrial

Guatemala,

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE MACERACIÓN
EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA IPA EN EL
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de graduación presentado por
Juan José Marroquín Donis
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Biotecnología Industrial

Guatemala,

2023


Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Luis Ernesto Núñez González, M. Sc. & M. BA

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M. Sc.

(f) 
Ing. Carmen Alicia Ortiz Pineda, M. A.

(f) 
Ing. Luis Ernesto Núñez González, M. Sc. & M. BA

Fecha de aprobación: Guatemala 25 de octubre de 2023

PREFACIO

Quiero dar las gracias a todas las personas que hicieron posible la culminación de este trabajo de graduación. En primer lugar, a mi asesor de tesis, cuyo conocimiento y orientación fueron fundamentales en todo el proceso. También, a mi catedrático de laboratorio, por su guía y paciencia en el laboratorio, lo que hizo que todo fuera más fácil.

No puedo olvidar dar las gracias al director de la carrera, quien siempre estuvo disponible para aclarar mis dudas académicas. Y, por supuesto, a mis amigos, que me apoyaron y motivaron a lo largo de esta travesía académica.

Por último, quiero agradecer a mi familia. Su apoyo constante y paciencia fueron esenciales para mi desarrollo. A todos ustedes, gracias por acompañarme en este camino

ÍNDICE

PREFACIO	v
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS.....	4
IV. MARCO TEÓRICO	5
A. ESTANDARIZACIÓN.....	5
B. ESCALAMIENTO.....	5
C. ESCALA LABORATORIO.....	6
D. ESCALA PLANTA PILOTO.....	7
E. REACCIONES.....	8
F. CINÉTICA DE LA MACERACIÓN	8
G. MICHAELIS MENTEN.....	11
H. LINEWEAVER – BURK.....	13
I. MACERACIÓN.....	16
J. BALANCE DE MASA TEÓRICO DEL PROCESO DE MACERACIÓN	17
K. BALANCE DE ENERGÍA TEÓRICO DEL PROCESO DE MACERACIÓN	17
L. DIAGRAMA DE FLUJO TEÓRICO.....	18
M. NORMA COGUANOR	18
N. TIPOS DE CERVEZA	19
O. PROTOCOLO CONTRA CONTAMINACIÓN	19
V. ANTECEDENTES.....	21
VI. METODOLOGÍA	23
VII. RESULTADOS.....	33
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
IX. CONCLUSIONES.....	43
X. RECOMENDACIONES.....	44
XI. BIBLIOGRAGÍA.....	45
XII. ANEXOS.....	47

A. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	47
-----------------------------------	----

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características químicas del agua para consumo humano según la Norma Coganor NTG 29001	18
Cuadro 2. Cantidad total de maltas de cerveza IPA para cada prueba a escala laboratorio .	26
Cuadro 3. Rampas de temperatura para las pruebas a escala laboratorio del proceso de maceración de cerveza con el método escalonado	28
Cuadro 4. Materia Prima total para proceso de cerveza en escala industrial	30
Cuadro 5. Propiedades fisicoquímicas de los diferentes tipos de malta de cerveza utilizada	33
Cuadro 6. Análisis granulométrico de la malta Pale Ale a utilizar en el proceso de maceración de cerveza.....	33
Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas del agua	34
Cuadro 8. Rendimiento promedio de azúcares fermentables respecto a la cantidad de malta utilizada en la etapa laboratorio.....	34
Cuadro 9. Promedio de rendimiento de las pruebas realizadas en Laboratorio de Operaciones Unitarias con rampa de temperatura No. 2	36
Cuadro 10. Parámetros cinéticos de Michaelis Menten para modelar la maceración escalonada con la rampa de temperatura No.2 a escala laboratorio y a escala planta piloto.	36
Cuadro 11. Características fisicoquímicas del mosto.....	38
Cuadro 12. Azúcares fermentables presentes en el mosto.....	38
Cuadro 13. Balance de masa de la maceración en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	48
Cuadro 14. Balance de energía del proceso de maceración escalonada en el Laboratorio de Operaciones Industriales de la Universidad del Valle de Guatemala.....	49
Cuadro 15. Condiciones estándar del agua utilizada durante el proceso de maceración de cerveza.....	49
Cuadro 16. Condiciones estándar para las maltas utilizadas durante el proceso de maceración de cerveza.....	49
Cuadro 17. Condiciones estandarizadas para el uso del molino durante el proceso de molienda en la producción de cerveza.....	50
Cuadro 18. Condiciones estandarizadas para rampas de temperatura y tiempo utilizadas en el proceso de maceración a escala piloto.....	50

Cuadro 19. Análisis granulométrico de la malta Pale Ale después de la molienda, primera corrida.....	53
Cuadro 20. Análisis granulométrico de la malta segunda corrida.....	54
Cuadro 21. Análisis granulométrico de la malta tercera corrida.....	54
Cuadro 22. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.....	55
Cuadro 23. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.....	55
Cuadro 24. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.....	56
Cuadro 25. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.....	56
Cuadro 26. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.....	56
Cuadro 27. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.....	57
Cuadro 28. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.....	57
Cuadro 29. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.....	57
Cuadro 30. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.....	58
Cuadro 31. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.	58
Cuadro 32. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.	58
Cuadro 33. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.	59

Cuadro 34. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.	59
Cuadro 35. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.	59
Cuadro 36. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.	60
Cuadro 37. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.	60
Cuadro 38. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.	60
Cuadro 39. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.	61
Cuadro 40. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.	61
Cuadro 41. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.	61
Cuadro 42. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.	62
Cuadro 43. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.	62
Cuadro 44. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.	62
Cuadro 45. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.	63
Cuadro 46. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada, realizada en Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	63
Cuadro 47. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada, realizada en Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	64
Cuadro 48. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada, realizada en Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala	64
Cuadro 49. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.....	65

Cuadro 50. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.....	65
Cuadro 51. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.....	66
Cuadro 52. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.....	66
Cuadro 53. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.....	66
Cuadro 54. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.....	67
Cuadro 55. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.....	67
Cuadro 56. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.....	67
Cuadro 57. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.....	68
Cuadro 58. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio. ..	68
Cuadro 59. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio. .	69
Cuadro 60. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.....	69
Cuadro 61. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con Rampa de temperatura No. 3.	69
Cuadro 62. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con Rampa de temperatura No. 2.	70
Cuadro 63. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con Rampa de temperatura No. 1.	70
Cuadro 64. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con una maceración simple.....	70

Cuadro 65. Análisis estadístico de varianza para determinar si se encontraba diferencia significativa de los rendimientos obtenidos a diferentes temperaturas.	71
Cuadro 66. Prueba T student para comparar diferencia significativa entre las dos temperaturas con los rendimientos más altos.	72
Cuadro 67. Datos de placas de equipos e instrumentos.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de la hidrólisis de almidón.....	8
Figura 2. Mecanismo de reacción de hidrólisis de maltopentosa	8
Figura 3. Cambio de concentración de sustrato y producto en el tiempo.....	9
Figura 4. El efecto de la concentración de sustrato en la velocidad inicial	10
Figura 5. Gráfico de Lineweaver-Burk ($K_m = 10$, $r_{max} = 5$).....	13
Figura 6. Diagrama de flujo teórico del proceso de maceración	18
Figura 7. Relación grados brix con gravedad específica (EBC, 2023).....	22
Figura 8. Curva de consumo de sustrato (almidón) y formación de productos (azúcares fermentables) en maceración escalonada a escala laboratorio con rampa de temperatura No. 2	35
Figura 9. Cambio de pH en el tiempo durante la maceración con la rampa de temperatura 2 a escala laboratorio	35
Figura 10. Balance de masa de Maceración escalonada con rampa de temperatura No. 2 en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.	37
Figura 11. Balance de masa de la maceración escalonada con rampa de temperatura No. 2 en la etapa laboratorio.....	37
Figura 12. Cambio de pH en el tiempo durante la maceración ccon la rampa de temperatura 2. a escala planta piloto.....	38
Figura 13. Balance de masa de la maceración escalonada con la rampa de temperatura 3 en la etapa laboratorio	47
Figura 14. Balance de masa de la maceración escalonada con la rampa de temperatura 1 en la etapa laboratorio	47
Figura 15. Balance de masa del proceso de maceración simple en la etapa laboratorio	48
Figura 16. Diagrama del proceso de maceración de cerveza IPA en escala planta piloto ...	51
Figura 17. Suavización en Berkeley Madonna del modelo de Michaelis Menten realizado a escala laboratorio con la maceración escalonada trabajado con la rampa de temperatura 2.	71

Figura 18. Resultados de HPLC a escala planta piloto corrida 1	74
Figura 19. Resultados HPLC escala planta piloto corrida 2.....	74
Figura 20 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 3.....	75
Figura 21. Resultados HPLC escala planta piloto corrida 4.....	75
Figura 22 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 5.....	76
Figura 23 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 6.....	76
Figura 24 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 7.....	77
Figura 25. Curva de calibración de azúcares fermentables	77
Figura 26 Curva de relación entre Grados brix y Gravedad específica.....	78
Figura 27 Molino de doble rodillo del laboratorio de <i>Operaciones Unitarias</i> de la Universidad del Valle de Guatemala.....	80
Figura 28, Control de temperatura durante la maceración escalonada en el laboratorio de operaciones unitarias	81
Figura 29. Control de temperatura de la maceración en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	82
Figura 30. Control de temperatura de la maceración en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	83
Figura 31. Certificado de análisis de la malta Pale Ale por Patagonia Malt	84
Figura 32. Certificado de Análisis de malta Cara Blond realizada por Castle Malting	85
Figura 33. Certificado de análisis de la malta Caramel por Patagonia Malt	86
Figura 34. Certificado de análisis de la malta Munich por Patagonia Malt	87

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Conversión de sustrato a producto por medio de una enzima.	9
Ecuación 2. Cambio de concentración de sustrato en el tiempo	9
Ecuación 3 Cambio de concentración de producto en el tiempo.....	9
Ecuación 4. Mecanismo de reacción enzima-sustrato	10
Ecuación 5. Ecuación de formación de producto y consumo de sustrato.....	11
Ecuación 6. Igualdad entre reacción directa con la reacción inversa	11
Ecuación 7. Conservación de concentración enzimática.....	12
Ecuación 8. Concentración de enzima-sustrato.....	12
Ecuación 9. Ecuación de Michaelis Menten para la velocidad de reacción	12
Ecuación 10. Balance de masa	17
Ecuación 11. Balance de energía del proceso de maceración	17

RESUMEN

En el proceso de la cerveza existen diferentes metodologías para realizar la maceración, pero en este caso se evaluaron dos métodos: Maceración escalonada y simple. En el proceso de maceración escalonado se evaluaron diferentes rampas de temperatura, tomando en cuenta tres rangos; rango 1 (47°C, 60°C y 68°C), rango 2 (51°C, 63°C y 70°C) y rango 3(55°C, 65°C y 73°C), y por otro lado se trabajó con una maceración simple a 66°C por 1 hora con el fin de determinar los parámetros que presenten el mayor rendimiento posible. Considerando que en la planta actual de la Universidad del Valle de Guatemala no se cuenta con un proceso estandarizado del proceso de maceración de cerveza, el trabajo de graduación está enfocado en estandarizar las condiciones del proceso. Se inició con el análisis de la materia prima, incluyendo las maltas y el agua a utilizar. Conforme a las maltas, se analizaron características de humedad, proteína total, poder diastático, extracto fino sólido y viscosidad, determinando que las maltas se mantenían en los rangos establecidos por la EBC (European Beer convention) excepto por la malta Cara Clare que presentaba una humedad superior de 8.5%/m/m. Además, se estableció trabajar con un molino de rodillos con una separación de 1.5mm y 50 Hz. Posteriormente, se realizaron pruebas con los tres rangos de temperatura y el método de maceración simple, con un volumen efectivo de 250mL para determinar qué condiciones presentaban el mayor rendimiento de azúcares fermentables respecto a las maltas utilizadas. Se determinó que trabajar con la rampa de temperatura establecida como rango 2 tuvo el mayor rendimiento, con un valor de $64.16\%/m/m \pm 3.66\%/m/m$. Seguido, se escaló el proceso de maceración de cerveza a un volumen efectivo de 40L en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para comprobar las condiciones estandarizadas, obteniendo un rendimiento de $72.46 \pm 2.33\%/m/m$. Seguido, se compararon los valores de K_m y V_{max} obtenidos a escala laboratorio y escala planta piloto , obteniendo los siguientes resultados: Escala laboratorio ($k_m = 1.878\text{mol/L}$ y $v_{max} = 0.008\text{mol /min}$) y escala planta piloto ($k_m = 1.449\text{ mol/L}$ y $v_{max} = 0.010\text{ mol/min}$). Por último, se realizó una caracterización del mosto, en donde, los resultados mostraron una densidad de 1.0593 g/cm^3 , gravedad específica de 1.061, pH de 4.697 ± 0.01 , y se observó un color ámbar del mosto. Los resultados obtenidos de la caracterización del mosto fueron comparados con los datos establecidos por la EBC, en dónde, se observó que los valores se encontraban dentro de los rangos para una cerveza IPA (Indian Pale Ale).

ABSTRACT

In the beer process, there are different methodologies for maceration, but in this case two methods were evaluated: step maceration and simple maceration. In the step maceration process, different temperature ramps were evaluated, taking into account three ranges; range 1 (47°C, 60°C and 68°C), range 2 (51°C, 63°C and 70°C) and range 3 (55°C, 65°C and 73°C), and on the other hand, a simple maceration at 66°C for 1 hour was used in order to determine the parameters with the highest possible yield. Considering that the current plant at the Universidad del Valle de Guatemala does not have a standardized beer mashing process, the graduation work is focused on standardizing the process conditions. We began with the analysis of the raw material, including the malts and water to be used. The first analyze include, malts moisture, total protein, diastatic power, fine solid extract and viscosity characteristics were analyzed, determining that the malts were within the ranges established by the EBC (European Beer Convention) except for Cara Clare malt, which had a higher moisture content of 8.5% w/w. Subsequently, tests were carried out with the three temperature ranges and the simple mashing method, with an effective volume of 250 mL, to determine which conditions presented the highest yield of fermentable sugars with respect to the malts used. It was determined that working with the temperature ramp established as range 2 had the highest yield, with a value of 64.16% w/w \pm 3.66% w/w. Next, the beer mashing process was scaled up to an effective volume of 40L in the Unit Operations laboratory of the Universidad del Valle de Guatemala to check the standardized conditions, obtaining a yield of 72.46% w/w \pm 2.33% w/w. Finally, a characterization of the must was carried out, where the results showed a density of 1.0593 g/cm³, specific gravity of 1.061, pH of 4.697 \pm 0.01, and an amber color of the must was observed. The results obtained from the characterization of the wort were compared with the data established by the EBC, where it was observed that the values were within the ranges for an IPA (Indian Pale Ale) beer.

I. INTRODUCCIÓN

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas que se ha consumido a lo largo de la historia. Por lo tanto, es una de las bebidas fermentativas con mayor impacto y con una amplia cantidad de nichos, buscando variaciones en materia prima y optimización de sus procesos (Garofalo et al., 2015). Las cervezas se pueden dividir en distintos tipos y esto depende según su aspecto, método de elaboración, materia prima, procedencia y tipo de fermentación (González, 2017).

La maceración es el proceso en el que la malta molida, los adjuntos sólidos y el agua se mezclan a una temperatura adecuada para que las enzimas de la malta conviertan los distintos componentes del cereal en azúcares fermentables y otros nutrientes. El uso de los azúcares fermentables muestra su importancia durante el proceso de fermentación, en donde la levadura sigue rutas metabólicas en un ambiente anaeróbico. El proceso se denomina fermentación alcohólica, ya que se forma alcohol como un subproducto en el metabolismo de la levadura (Hardwick, 1994).

La malta y el agua son los componentes principales en el proceso de maceración. La malta es el ingrediente base de la cerveza, que es obtenido a partir de granos de cereales sometidos a un proceso de germinación, secado y tostado. Entre los cereales más utilizados están los siguientes: Cebada, trigo y avena. Por otro lado, las condiciones del agua son esenciales en la elaboración de cerveza, debido a que su calidad y composición generan un impacto en cada tipo de cerveza (Hardwick, 1994). La dureza del agua es el contenido de minerales que contiene, principalmente calcio y magnesio. Existen diferentes rangos de dureza del agua, dependiendo el tipo de cerveza. Por ejemplo, para una cerveza IPA, que es conocida por ser una cerveza amarga es preferible que el agua tenga una mayor cantidad de minerales para resaltar los sabores de la malta y generar una mayor sensación en el paladar. Esto también ocurre con los sulfatos, teniendo una influencia en la percepción del amargor (Palmer, 2016). Una mayor cantidad de sulfatos resalta el amargor, siendo importante para cervezas con grados de amargor altos como las IPAs y con una cantidad menor de sulfatos puede suavizar el amargor. Los carbonatos tienen relevancia en la acidez y claridad de la cerveza, un alto contenido de carbonatos puede disminuir la acidez, mientras que un bajo contenido puede resaltar sabores ácidos y los sabores tostados como en la cerveza Stout (Palmer, 2016). Por último, el pH del agua puede promover una extracción de azúcares fermentables de manera eficiente, aportando en el perfil de sabor en los diferentes estilos de cerveza.

La maceración se elabora en tanques conocidos como “Maceradores” que están equipados con un sistema de agitación para asegurar una mezcla homogénea de la malta molida y el agua. Además, cuenta con un sistema de calentamiento para regular la temperatura a lo largo del proceso. En algunos casos, los maceradores pueden contener filtros que permiten la separación de la cáscara de la malta y el líquido obtenido (mosto), que posteriormente será utilizado en el proceso de cocción. Estos son los equipos principales, pero también se debe contar con equipos auxiliares que permiten tener mayor control del proceso como termómetro, sistema de filtración y una bomba centrífuga (González, 2017).

La maceración es una etapa crucial en la elaboración de cerveza, es el primer contacto que se genera entre la malta y el agua, proporcionando el color y aroma característico de cada tipo de cerveza. Durante la maceración, ocurre una hidrólisis enzimática de los almidones presentes en la malta, permitiendo liberar los azúcares fermentables necesarios para la etapa de fermentación (Acosta, 2019). Además, en la etapa de maceración se definen características esenciales en la cerveza como: Grado de alcohol, cuerpo y el sabor. Por ello, es importante mantener un control de temperatura y tiempo de maceración para maximizar la obtención de azúcares fermentables y los sabores característicos de la cerveza que se esté realizando.

II. JUSTIFICACIÓN

La cerveza artesanal ha cobrado su auge en los últimos años con la cantidad de fábricas que se han generado en Estados Unidos, con un aumento de las fábricas de cerveza de 1 mil 564 en 1999 a más de 4 mil 200 en el 2016. Por otro lado, también ha sido tendencia en otros países como México, en donde por cada 20 mil cervezas industriales que se venden, una es artesanal. En Guatemala también se puede observar una tendencia hacia las cervezas artesanales, ya que, no se encontraban áreas de distribución o producción de cerveza hace algunos años, pero ahora se pueden encontrar eventos, micro cervecerías y mayores búsquedas por destacar en cuanto a la competencia que se está formando en el país.

La Universidad del Valle de Guatemala cuenta con el Laboratorio de Operaciones Unitarias que presenta equipo realizado por otros alumnos, que permiten la elaboración de cerveza. La implementación de los sistemas permite realizar la mayoría de los tipos de cerveza. Para el presente trabajo de graduación, se buscó establecer los parámetros de la maceración utilizando las maltas de la cerveza Indian Pale Ale (IPA). La elección de la cerveza IPA (India Pale Ale) como enfoque central de esta investigación se evaluó según el consumo y las disponibilidades de las maltas. Según los resultados de la Encuesta Nacional a Productores de Cerveza Independiente, uno de los informes más recientes disponibles, ha demostrado que las cervezas IPA ocupan una posición destacada en el mercado cervecero. En el año 2020, este estilo se situó en la segunda posición en cuanto a preferencia de los consumidores, con un 24% de participación en las ventas totales de cervecerías artesanales. Esta popularidad en el mercado no solo subraya la relevancia de las cervezas IPA, sino que también indica una demanda creciente por parte de los consumidores (Flores, 2022).

El conocimiento sobre la realización de la estandarización de un proceso es importante para mantener una base sobre la maximización de productos y replicabilidad del proceso, que en este caso es enfocada en los azúcares fermentables. Dado que en el proceso de maceración de cerveza en la planta piloto de la Universidad del Valle de Guatemala no se ha realizado una estandarización del proceso para maximizar sus azúcares fermentables, se buscó estandarizar el proceso de maceración en la producción de cerveza de la Universidad del Valle de Guatemala, iniciando con la caracterización de las materias primas; Maltas a utilizar y agua. El análisis fisicoquímico incluye características tales como: Humedad, Proteína total, Poder Diastático, Extracto fino s.s. y Viscosidad, que permiten determinar la calidad de una malta. Por otro lado, para las características medidas en el agua, principalmente se enfocó en la dureza total y el pH que según el libro de los principios de elaboración de la cerveza artesanal son las variables con mayor influencia en este proceso.

Posteriormente, se evaluó en una escala laboratorio los dos principales procesos de maceración que incluyen: Maceración escalonada y simple. En el proceso de maceración escalonado se evaluaron diferentes rampas de temperatura, tomando en cuenta tres rangos; rango 1 (47°C, 60°C y 68°C), rango 2 (51°C, 63°C y 70°C) y rango 3(55°C, 65°C y 73°C), y por otro lado se trabajó con una maceración simple a 66°C por 1 hora con el fin de comparar el rendimiento de los principales azúcares fermentables (Maltosa, Glucosa y Fructosa) respecto a la cantidad de malta utilizada. Con la estandarización de los parámetros realizada, se escaló el proceso al Laboratorio de Operaciones unitarias, comparando los cambios que se generaron en el escalamiento del proceso de maceración de cerveza, determinando una comparación de rendimientos entre cada escala, comparando variabilidad de datos y una comparación entre los balances de masa. Por último, se evaluaron las principales características del mosto según el libro “Handbook for brewing”, tomando en cuenta densidad, gravedad específica, pH y color. La estandarización será de utilidad para determinar los

parámetros y condiciones necesarias para elaborar una maceración de cerveza que permita obtener los mayores rendimientos de azúcares fermentables en la producción de cerveza.

El trabajo de graduación busca tener un impacto positivo en la industria cervecera, con mayor enfoque en las cervecerías artesanales, esto mediante la estandarización del proceso de maceración para cervezas tipo IPA. Controlando factores como la temperatura, pH, tiempo y la relación agua/grano para que sea reproducible el perfil de la cerveza. Por otro lado, la estandarización también permite tener una base para futuras investigaciones en otras fases del proceso.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Estandarizar parámetros del proceso de maceración en la producción de cerveza IPA en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para obtener los mejores rendimientos posibles.

B. Objetivos específicos

1. Analizar fisicoquímicamente la materia prima en el proceso de maceración para formular los medios a utilizar.
2. Estandarizar variables con mayor influencia en el proceso de maceración por medio de pruebas realizadas a escala de laboratorio.
3. Escalar proceso en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para comprobar el resultado de los parámetros estandarizados durante las pruebas en el laboratorio.
4. Analizar fisicoquímicamente el mosto generado durante la maceración para evaluar la estandarización de los parámetros.

IV. MARCO TEÓRICO

A. ESTANDARIZACIÓN

Estandarizar un proceso se define como el proceso de ajustar o adaptar características en un producto, servicio o procedimiento con el objetivo de que estos se asemejen a un tipo, modelo o norma común (Secretaría de Economía de México, 2023). Por lo tanto, una estandarización permite mantener normas estableciendo las características comunes que debería cumplir el producto. Este enfoque se basa en la premisa de que la implementación de estándares permite una serie de beneficios significativos que contribuyen al éxito sostenible de las organizaciones.

En primer lugar, la reducción de costes se convierte en una consecuencia directa de la estandarización. Al determinar un método de trabajo para el personal, se logra reducir el tiempo y los costes innecesarios, evitando pérdidas económicas resultantes de prácticas poco eficientes. Esta eficacia en la gestión de recursos se traduce en una ventaja competitiva, ya que la reducción de costes permite a las organizaciones destinar recursos adicionales a áreas clave de desarrollo (Sanders, 1972).

Asimismo, la estandarización conlleva un aumento sustancial en la productividad y la eficiencia organizativa. Al establecer estándares, se estructura el trabajo de manera eficaz, optimizando el uso de recursos y aumentando la capacidad de producción. Esto, a su vez, impulsa la competitividad y la rentabilidad, fortaleciendo la posición de la empresa en el mercado (Britannica, T. Editors of Encyclopaedia 2015).

Además, la calidad del trabajo experimenta una mejora significativa a través de la implementación de estándares. La definición de normas reduce el número de errores y garantiza la calidad del producto o servicio final.

En el proceso de maceración de cerveza, la estandarización desempeña un papel fundamental al proporcionar claridad y previsibilidad en cada etapa del proceso, desde la preparación de los ingredientes. Esto se traduce en una mejora significativa en la calidad de la cerveza final, así como en la eficiencia operativa (RBC Global Connect, 2023).

La estandarización en la maceración de cerveza comienza con la definición de procedimientos y parámetros clave. Esto incluye la temperatura de maceración, el tiempo de maceración, la relación agua-grano y otros factores críticos. Al estandarizar estos elementos, se establece un conjunto claro de pautas que el personal de la cervecería debe seguir en cada lote de producción (Sanders, 1972). Esto crea un proceso más eficiente y elimina la incertidumbre sobre cómo se deben llevar a cabo las etapas de la maceración. La previsibilidad en la estandarización es especialmente valiosa en el proceso de maceración. Los cerveceros pueden anticipar con precisión los resultados y los tiempos de producción. Esto es esencial para la programación de la producción y la gestión de recursos (Sanders, 1972).

B. ESCALAMIENTO

El escalamiento de procesos industriales es una fase crítica en la cadena de producción que busca maximizar la eficiencia y el rendimiento en la obtención de productos. Este proceso se desglosa en una serie de objetivos específicos diseñados para lograr un incremento cuantitativo y cualitativo en la producción industrial (Pino, Jáuregui, Quiñones, 1996). Algunos objetivos específicos incluyen:

El primer objetivo específico del escalamiento se centra en lograr un aumento sustancial en la cantidad total de productos obtenidos. Esto implica la adaptación de los procesos de producción a una mayor escala, lo que permitirá un incremento significativo en la producción.

El segundo objetivo específico busca la replicación precisa de los rendimientos, productividades o tiempos de procesos a una escala reducida en un entorno de mayor escala industrial. Este objetivo es esencial para garantizar que los productos finales mantengan la calidad y eficiencia deseada, independientemente de la escala de producción.

El tercer objetivo específico se enfoca en el estudio detallado del comportamiento de un parámetro específico durante el proceso de escalamiento. Comprender la influencia de este parámetro en el cambio de escala es crucial para tomar decisiones informadas y garantizar la estabilidad y la calidad del producto en un entorno de mayor producción (Pino, Jáuregui, Quiñones, 1996).

El cuarto objetivo específico implica el traslado exitoso de procesos desde el laboratorio a una planta piloto. Este paso es fundamental para validar la viabilidad y la eficacia de un proceso en una escala intermedia antes de la producción industrial a gran escala (Pino, Jáuregui, Quiñones, 1996).

El quinto y último objetivo específico se centra en el traslado exitoso de la planta piloto a la producción industrial. Este paso final implica la implementación a gran escala de los procesos optimizados y validados en la planta piloto, lo que marca la transición completa hacia la producción industrial.

C. ESCALA LABORATORIO

La escala experimental es un entorno altamente controlado y experimental, caracterizado por su trabajo a volúmenes reducidos, generalmente inferiores a un litro. Su principal objetivo radica en la exploración y análisis de las relaciones entre variables independientes y dependientes en un ambiente controlado. Dentro de esta escala, se definen tres tipos de experimentación: nanoescala, microescala y miliescala, cada una con sus propias aplicaciones y objetivos específicos (Anaya, Pedroza, 2008).

Características esenciales:

Rentabilidad limitada: la escala experimental no se distingue por su rentabilidad. El uso de equipos especializados y la necesidad de mantener condiciones controladas a menudo resultan en costos significativos en relación con los volúmenes de producción.

Limitaciones de equipamiento y operación: la escala experimental se enfrenta a limitaciones técnicas y de equipo. La operación precisa y el monitoreo constante son esenciales para garantizar resultados válidos.

Fundamento de investigación: a pesar de sus desafíos, esta escala es fundamental para sentar las bases y estudiar fenómenos complejos en profundidad. Requiere un profundo entendimiento de cada etapa del proceso y un enfoque meticuloso para la recolección de datos.

La escala experimental, aunque no sea necesariamente rentable en términos comerciales, desempeña un papel crítico en el desarrollo del conocimiento científico y tecnológico. Permite a los investigadores explorar fenómenos en detalle y comprender mejor las relaciones entre variables, allanando el camino para avances significativos en una amplia gama de campos. Su enfoque en condiciones controladas y volúmenes reducidos facilita un nivel de precisión y detalle que es esencial para el progreso científico y tecnológico.

D. ESCALA PLANTA PILOTO

La escala de experimentación y demostración de procesos se orienta hacia la exhibición de los equipos y las operaciones unitarias principales en un proceso determinado. Su enfoque también se extiende al estudio de la influencia de variables específicas. En esta escala, es común trabajar con tamaños que superan el litro como unidad de medida.

Dentro de este contexto, se establecen tres tipos de experimentación:

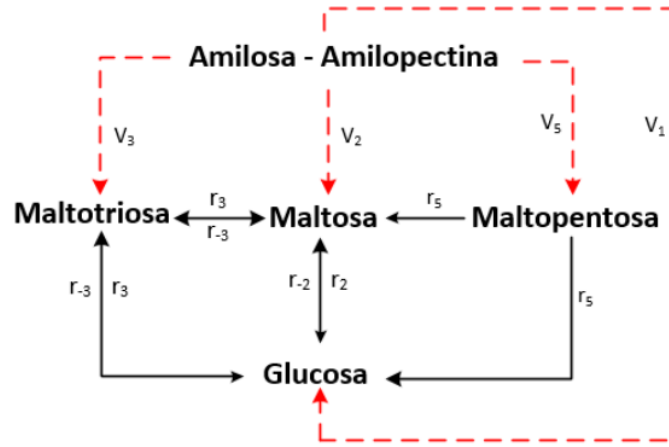
- a) **Escalada en función de un fenómeno o variables:** este enfoque busca ajustar la escala de operaciones en función de un fenómeno o variables específicas que requieren estudio detenido (Rodríguez, 2008).
- b) **Tamaño genérico para estudios focalizados:** se utiliza un tamaño de escala que permite concentrarse en investigaciones detalladas y focalizadas (Rodríguez, 2008).
- c) **Tamaño asociado al punto de equilibrio:** la elección del tamaño de escala está vinculada al punto de equilibrio entre la inversión y los beneficios esperados (Rodríguez, 2008).

Características relevantes:

- 1) **Rentabilidad variable:** a diferencia de la escala experimental más pequeña, esta escala no se caracteriza por ser inherentemente rentable. Sin embargo, en ocasiones, su aplicación estratégica puede asegurar que la inversión no resulte en pérdidas económicas (Anaya, Pedroza, 2008).
- 2) **Ajuste analítico específico:** la analítica utilizada en esta escala debe ser adaptada para alcanzar el entendimiento deseado. La precisión en la recopilación y el análisis de datos son cruciales (Anaya, Pedroza, 2008).
- 3) **Crucial para la predicción a escala industrial:** esta escala desempeña un papel crítico en la predicción de lo que ocurrirá al pasar a la escala industrial. Requiere un análisis técnico minucioso y, a menudo, un examen económico detallado para evaluar su viabilidad a gran escala (Anaya, Pedroza, 2008).

E. REACCIONES

Figura 1. Representación de la hidrólisis de almidón

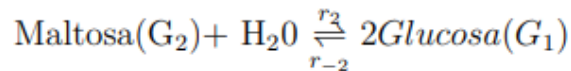
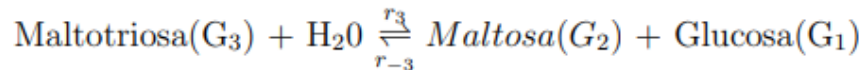
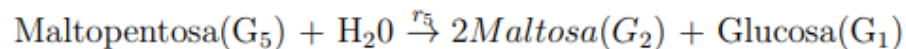


(Acosta, 2019)

La forma en que actúan las enzimas α -amilasa o la amiloglucosidasa para degradar la amilosa y la amilopectina no se conoce con exactitud, por lo tanto, es posible inferir que, debido a su naturaleza tanto endo como exo, puedan existir diversas rutas o mecanismos de reacción. En la

Figura 1 se puede mostrar como a partir de la amilosa y amilopectina son degradadas por amilasas para formar Maltotriosas, maltosa y Maltopentosa. Luego, la maltopentosa es hidrolizada para formar Maltosa y glucosa permitiendo obtener diferentes procesos estequiométricos, pero en este caso se formuló como el que se indica en la Figura 2 (Acosta, 2019).

Figura 2. Mecanismo de reacción de hidrólisis de maltopentosa



(Acosta, 2019)

F. CINÉTICA DE LA MACERACIÓN

La cinética enzimática se ocupa de la velocidad de reacción de las enzimas y cómo es afectada por diversas condiciones químicas y físicas. Los estudios cinéticos de reacciones enzimáticas proporcionan información sobre el mecanismo básico de la reacción enzimática y otros parámetros

que caracterizan las propiedades de la enzima. Las ecuaciones de velocidad desarrolladas a partir de estos estudios cinéticos pueden aplicarse para calcular el tiempo de reacción, los rendimientos y las condiciones económicas óptimas, lo que es importante en el diseño de un biorreactor efectivo. En este contexto, se considera que un sustrato (S) se convierte en un producto (P) con la ayuda de una enzima (E) en un reactor (Lee, 1992).

Ecuación 1. Conversión de sustrato a producto por medio de una enzima.



(Lee, 1992)

La velocidad de reacción puede estar expresada en términos del cambio de concentración de sustrato o del cambio de concentración de productos

Ecuación 2. Cambio de concentración de sustrato en el tiempo

$$r_s = -\frac{dC_s}{dt}$$

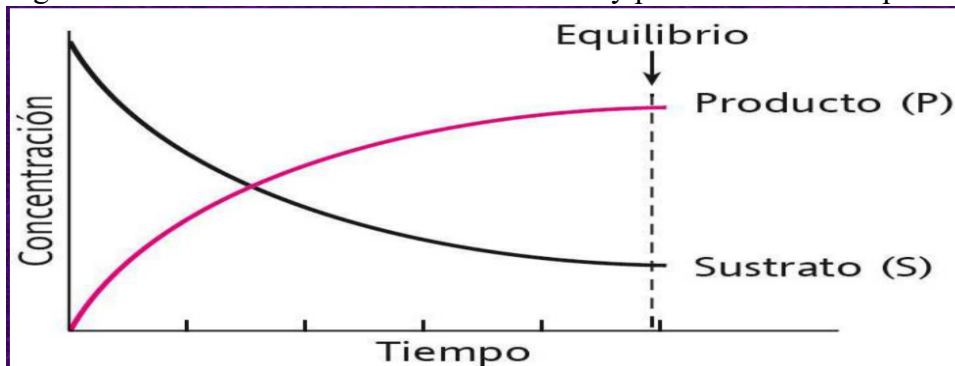
(Lee, 1992)

Ecuación 3 Cambio de concentración de producto en el tiempo

$$r_p = \frac{dC_p}{dt}$$

(Lee, 1992)

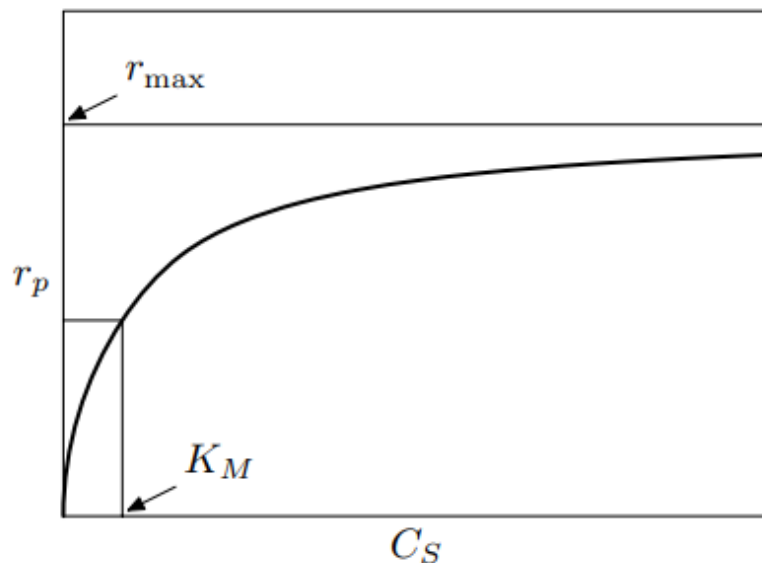
Figura 3. Cambio de concentración de sustrato y producto en el tiempo



(Lee, 1992)

La Figura 3 muestra de forma teórica el comportamiento del producto y sustrato a lo largo del tiempo.

Figura 4. El efecto de la concentración de sustrato en la velocidad inicial



(Lee, 1992)

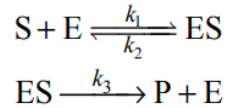
En la Figura 4 se puede mostrar el efecto de la concentración de sustrato en la velocidad inicial, donde la r_{\max} es la velocidad de reacción máxima, K_M la constante cinética de Michaelis Menten, r_p se refiere a velocidad de reacción y C_S a la concentración de sustrato (Lee, 1992).

Para comprender la eficacia y las características de una reacción enzimática, es importante saber cómo influyen en la velocidad de reacción las condiciones de reacción, como las concentraciones de sustrato, producto y enzima. Si medimos la velocidad de reacción inicial a diferentes niveles de concentraciones de sustrato y enzima, obtendremos una serie de curvas como la que se muestra en la

Figura 4. A partir de estas curvas podemos concluir lo siguiente (Lee, 1992):

1. La velocidad de reacción es proporcional a la concentración de sustrato (es decir, reacción de primer orden) cuando la concentración de sustrato es baja (Lee, 1992).
2. La velocidad de reacción no depende de la concentración de sustrato cuando la concentración de sustrato es alta, ya que la velocidad de reacción cambia gradualmente de primer orden a orden cero al aumentar la concentración de sustrato (Lee, 1992).
3. La velocidad de reacción máxima r_{\max} es proporcional a la concentración de enzima dentro del intervalo de la enzima ensayada (Lee, 1992).

Ecuación 4. Mecanismo de reacción enzima-sustrato



(Lee, 1992)

La ecuación 4 muestra el mecanismo de reacción enzima sustrato, donde S representa el sustrato, E la enzima, ES el complejo enzima sustrato y P el producto. Por otro lado, K1 es la constante de formación del complejo ES, K2 es la constante de disociación del complejo ES y K3 es la constante de formación de producto (Lee, 1992).

El mecanismo propone que una enzima forma un complejo con su sustrato. Seguido, el complejo se descompone en los productos y regenera la enzima libre.

La velocidad de reacción puede derivarse del mecanismo anterior teniendo en cuenta los siguientes supuestos:

1. La concentración total de enzima permanece constante durante la reacción, es decir, $CE_0 = CE + CES$
2. La cantidad de enzima es muy pequeña comparada con la cantidad de sustrato. Por lo tanto, la formación del complejo enzima-sustrato no agota significativamente el sustrato.
3. La concentración de producto es tan baja que la inhibición del producto es insignificante.

(Lee, 1992)

G. MICHAELIS MENTEN

Ecuación 5. Ecuación de formación de producto y consumo de sustrato

$$r = \frac{dC_P}{dt} = -\frac{dC_S}{dt} = k_3 C_{ES}$$

(Lee, 1992)

En la Ecuación 5 se observa que la velocidad de formación de producto y consumo de sustrato es proporcional a la concentración del complejo enzima sustrato.

Al menos que se indique lo contrario la concentración de se debe expresar en unidad molar, ya sea kmol/m³ o mol/L. La concentración del complejo enzima-sustrato en la Ecuación 5 puede relacionarse con la concentración de sustrato C_S y la concentración de enzima libre CE , partiendo de la hipótesis que la primera reacción reversible está en equilibrio. Por lo tanto, la reacción directa es igual a la reacción inversa como se muestra en la ecuación (Lee, 1992).

Ecuación 6. Igualdad entre reacción directa con la reacción inversa

$$k_1 C_S C_E = k_2 C_{ES}$$

(Lee, 1992)

Sustituyendo la Ecuación 6 en la Ecuación 5 se puede observar que la velocidad de reacción puede ser expresada en términos de concentración de sustrato (C_S) y enzima (CE), en dónde, CE es complicado determinar. Si se asume que el contenido enzimático se conserva la concentración de

enzima libre puede relacionarse con la concentración inicial de enzima CE de la siguiente manera (Lee, 1992):

Ecuación 7. Conservación de concentración enzimática

$$C_{E_0} = C_E + C_{ES}$$

(Lee, 1992)

Con las tres ecuaciones mencionadas anteriormente (ecuación 5, 6 y 7) se puede eliminar CE y Ces para expresar la velocidad de reacción en función de la concentración de sustrato y la concentración inicial de enzima. Sustituyendo la Ecuación 6 en la Ecuación 7 para CE y el reordenamiento de CES, se obtiene:

Ecuación 8. Concentración de enzima-sustrato

$$C_{ES} = \frac{C_{E_0} C_S}{\frac{k_2}{k_1} + C_S}$$

(Lee, 1992)

Sustituyendo la

Ecuación 8 en la Ecuación 5 resulta en la ecuación final de la velocidad de reacción conocida como la ecuación de Michaelis Menten.

Ecuación 9. Ecuación de Michaelis Menten para la velocidad de reacción

$$r = \frac{dC_P}{dt} = -\frac{dC_S}{dt} = \frac{k_3 C_{E_0} C_S}{\frac{k_2}{k_1} + C_S} = \frac{r_{\max} C_S}{K_M + C_S}$$

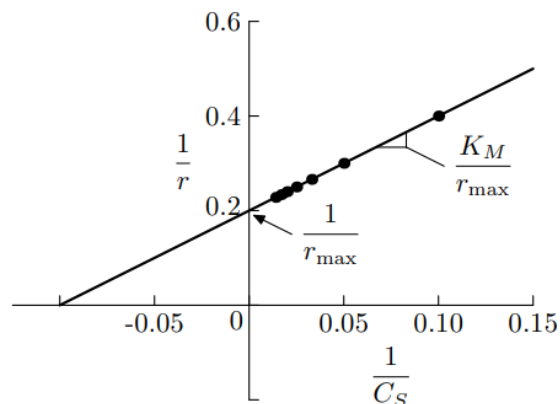
(Lee, 1992)

En la Ecuación 9 la variable Km representa la variable de Michaelis Menten que es igual a la concentración de sustrato cuando la velocidad de reacción es la mitad de la velocidad máxima rmax como se observa en la

Figura 4. Km es un parámetro cinético importante porque caracteriza la interacción de una enzima con un sustrato determinado. Otro parámetro cinético mostrado es rmax, que representa la velocidad máxima de reacción, que es proporcional a la concentración inicial de enzima (Lee, 1992).

H. LINEWEAVER – BURK

Figura 5. Gráfico de Lineweaver-Burk ($K_M = 10$, $r_{\max} = 5$)



(Lee, 1992)

El diagrama de Lineweaver-Burk se emplea con más frecuencia porque muestra la relación entre la variable independiente C_S y la variable dependiente r . Sin embargo, $1/r$ se aproxima al infinito a medida que disminuye C_S , lo que da un peso indebido a las mediciones inexactas realizadas a bajas concentraciones de sustrato y un peso insuficiente a las mediciones más precisas realizadas a altas concentraciones de sustrato. Los puntos de la línea de la figura representan siete concentraciones de sustrato igualmente espaciadas. El espacio entre los puntos aumenta con la disminución de C_S .

MATERIA PRIMA DEL PROCESO DE MACERACIÓN DE CERVEZA

La cerveza ha evolucionado en las tecnologías que se utiliza y la manera de elaborarla, pero siempre hay que tener en cuenta la materia prima esencial para elaborarla. Por ende, los principales materiales son agua, cebada, malta, levadura y lúpulo. Aunque también las recetas pueden presentar algún tipo de ingrediente extra, como frutas (Wunderlich & Back, 2009).

El agua es uno de los ingredientes con mayor importancia en la producción de cerveza, aunque parezca ser el ingrediente más simple puede causar cambios en el sabor y aroma (Wunderlich & Back, 2009). Del mismo modo, el agua compone el 94% de la cerveza. Por este motivo se deben seguir ciertos criterios y parámetros para el agua a utilizar en la producción de cerveza. Los estándares microbiológicos para tomar en cuenta son: Pureza, pH, estándares microbiológicos, nivel de compuesto orgánicos e inorgánicos (Briggs et al., 2004). Otro factor que influye la cantidad de minerales que puede presentar el agua, es el área donde se encuentra. Esto puede variar en la cantidad de iones y minerales que presenta (González, 2017).

Los causantes de otorgar un sabor astringente o amargo a la cerveza son el sulfato de calcio y carbonato de calcio. Del mismo modo, hay ciertos minerales como el calcio y el magnesio influyen en la actividad de la levadura, pero una gran cantidad produce un sabor metálico. Por otro lado, hay compuestos como el sodio que en exceso otorgan un sabor salado, aunque una combinación de cloruro con sodio puede derivar en una potenciación del sabor (González, 2017). También otro factor importante es el pH, ya que, para realizar la maceración el rango óptimo se encuentra entre 5.2 y 5.7 (Wunderlich & Back, 2009).

Asimismo, tenemos presente la importancia de otra materia prima que es la cebada. La cebada es el grano utilizado para la producción de cerveza. Hay diferentes tipos de cebadas, pero la más utilizada son aquellas de dos hileras y de seis hileras. Este tipo de cebada contiene en promedio un porcentaje del 60 y 65% de almidón y 10% de proteína (González, 2017). Además, esta puede ser utilizada sin tratamiento y también se le pueden añadir otros cereales (Wunderlich & Back, 2009). Considero que para este tipo de materia prima se pueden empezar a hacer algunas combinaciones diferentes entre cereales o variar con otro tipo de cebada para determinar un nuevo sabor.

Otro de los principales ingredientes de la cerveza es la malta. La malta es la cebada que se germina y procesa para la obtención de la actividad enzimática. Existen diferentes tipos de malta, pero la más utilizada es la malta base, estas son más claras y pueden provenir de trigo, cebada o el centeno. Presentan un color pálido debido a que se hornean a bajas temperaturas y en un tiempo corto (Baiano, 2021). Es una malta sin tostar, solo secada hasta obtener un porcentaje de humedad del 3%. Esta es la más utilizada en la mayoría de las recetas debido a que es capaz de transformar los almidones de granos adjunto y no solo los propios (González, 2017). Aunque hay distintos tipos de maltas que también pueden ser utilizadas dependiendo de la cerveza que se desea obtener. Con esta materia prima también se le podría buscar alguna combinación para determinar un nuevo sabor de la cerveza, buscando el color que se desea obtener y algunos aromas.

La levadura es otra de las materias primas más importantes en la elaboración, debido a que es la encargada de la fermentación. Algunos criterios para escoger la levadura son: Comportamiento fermentativo (fermentación en el fondo o fermentación superior), tipo de levadura (baja o alta floculación), Rendimiento fermentativo (tasa y grado de fermentación) , producción y degradación de productos secundarios (desarrollo del aroma y eliminación del diacetilo) (Wunderlich & Back, 2009). Es importante tomar en cuenta ciertas características y propiedades que presentan las levaduras. Tienen una tolerancia a la temperatura que puede estar en un rango de 0°C a 50°C, pero su temperatura óptima para fermentar es de 15 a 20°C dependiendo la cepa que se esté utilizando. También, son capaces de soportar concentraciones altas de azúcares como del 40% (González, 2017). Por otro lado, se encuentra que pueden sobrevivir en un pH de 3.5 a 5.5, siendo un pH que muchas bacterias no pueden soportar (Suárez-Machín et al., 2016). Esta es una de las formas de evitar crecimiento de otros tipos de microorganismo en el medio (Wunderlich & Back, 2009).

Es importante recalcar los nutrientes necesarios para que ocurra la fermentación de la levadura. Para la fermentación la levadura necesita azúcares tales como: Glucosa, Fructosa, Sacarosa y Maltosa. Pero se encuentran también azúcares que no son fermentables debido a que su estructura presenta mayor complejidad como las pentosas, la lactosa y las dextrinas (Wunderlich & Back, 2009). Aunque en ocasiones se le agregan este tipo de azúcares por otros fines que no tienen que ver con la fermentación. Además, es importante que la levadura tenga nitrógeno, normalmente se agregan sales de amonio. Esto se debe a que al haber una ausencia de nitrógeno la levadura comienza un proceso llamado autólisis para obtener el nitrógeno de sus propias proteínas, por lo tanto, esto genera un olor desagradable por la liberación de sulfuro de hidrógeno (González, 2017).

El lúpulo también es una de las materias primas importantes, ya que, este le otorga su sabor amargo y olor característico (De Keukeleire, 2000a). Tradicionalmente se utilizaba para preservar las cervezas, pero también tiene efectos relajantes que inducen al sueño. Por otro lado, es importante reconocer la química atrás del lúpulo (González, 2017). Las resinas están compuestas por humulonas y lupulonas. A altas temperaturas las mamulonas transforman su isomería, que son las encargadas de la acción antibacteriana y de dar el sabor amargo como se había mencionado anteriormente (De Keukeleire, 2000b). Los aceites esenciales y las resinas forman parte de la lupulina. Los aceites

esenciales hay aproximadamente 300 compuestos volátiles y estos son los que otorgan el carácter aromático. Por último, cabe mencionar que también presenta polifenoles. Estos son importantes debido a que da cierta astringencia y facilita la clarificación (González, 2017).

Al determinar la materia prima principal para la producción de cerveza y sus características, también se debe dar importancia a materia prima secundaria que puede generar un sabor distintivo en la cerveza. Los considerados ingredientes secundarios son frutas, hierbas y especias (González, 2017). Siempre debe considerarse la cantidad necesaria para agregar y las características que presenta el ingrediente secundario para no interferir en los procesos esenciales, como la fermentación.

Con las frutas también se podría buscar una mezcla o una especie endémica para generar una cerveza que no haya sido realizada en ningún otro lado del mundo. Esto podría ser interesante para enfocar un nuevo proyecto.

PROCESO DE ELABORACIÓN

El proceso de elaboración de cerveza se divide en diversas etapas. En cada etapa se darán las especificaciones teóricas para obtener los resultados esperados, según el tipo de cerveza

En unas cervecerías el proceso inicia con el malteado, pero actualmente la mayoría solo compra la malta según sea su receta. En un concepto general, el malteado se basa en la transformación de los granos en malta. La importancia del malteado radica en favorecer las condiciones para una eficiente conversión de almidón en azúcares fermentables y contiene las características específicas de sabor y aroma, dependiendo el tipo de cerveza que se realice. El proceso se divide en 4 etapas: Remojo, Germinación, Secado y curado y limpiado.

Al tener lista la malta, se procede a realizar la maceración. Este proceso tiene como objetivo conseguir que los cereales adjuntos transformen el almidón en azúcares fermentables. Esto se realiza mezclando agua y granos, y calentándolos a una temperatura específica para que la malta actúe sobre los cereales adjuntos. Para ello existen dos tipos de maceración: Maceración simple y Maceración escalonada (González, 2017). La maceración simple se diferencia de la escalonada, ya que, solo se mantiene una temperatura a lo largo del proceso.

Por otro lado, la maceración escalonada es aquella que permite realizar el proceso por etapas con el fin de activar las enzimas de manera selectiva. Las proteasas se activan a una temperatura de 45 a 57 °C entre 15 a 30 mins para liberar nitrógeno que si sea beneficioso para la levadura. La Beta amilasa se activa a una temperatura entre 60°C y 65°C por 30 mins aproximadamente para degradar las cadenas de almidón y liberar maltosa (Willaert, 2012). La alfa amilasa también se encarga de liberar maltosa, pero en menor cantidad que la beta amilasa. Esta posee una temperatura óptima de 67 a 75°C y requiere un tiempo entre 45 y 60 mins (Willaert, 2012). Añadiendo otro factor relevante para la maceración es el pH, este debe mantenerse en un rango de 4.5 a 5.8 para asegurar que ocurran las reacciones enzimáticas (Ramirez & Maciejowski, 2007).

Seguido de esta etapa del proceso se encuentra la cocción. Este proceso permite esterilizar el mosto, pero también coagula las proteínas y se acentúa el color (González, 2017). Además, en esta etapa se agrega el lúpulo y depende que receta se realiza se agrega lúpulo al principio y al final. El lúpulo agregado al principio otorga amargor a la cerveza y al final es el lúpulo aromático. En esta etapa también se recomienda enfriar de manera rápida el mosto para evitar algún tipo de contaminante (Hammond et al., 1999).

Después de la cocción, ocurre la etapa de fermentación. La fermentación es la respiración celular anaerobia de la levadura, en donde, se obtiene el etanol (Pilkington et al., 1998). Esta etapa del proceso necesita aproximadamente de 7 a 10 días y se debe mantener a una temperatura de 20°C aproximadamente y dependiendo de la receta.

En ocasiones la fermentación la dividen en dos pasos: Fermentación primaria y secundaria. La fermentación primaria es el proceso que lleva la levadura luego de la inoculación y se caracteriza por su burbujeo y turbulencia. Se considera terminada al momento en el que el mosto muestra el mismo valor de gravedad específica durante 3 días consecutivos (González, 2017). Por otro lado, la fermentación secundaria es aquella que se realiza luego de terminar la agitación de los primeros días.

Terminada la fermentación inicia la etapa de clarificación. En esta etapa se utilizan ciertos agentes clarificantes que permite corregir la turbidez no deseada en el proceso. Hay distintos tipos de agentes clarificantes que se pueden utilizar y combinar para obtener mejores resultados (Baiano, 2021).

Al agregar el agente clarificante, se deja sedimentar por 24 horas para asegurar que se dé una completa precipitación de las impurezas (Baiano, 2021).

Al finalizar el proceso de fermentación, la cerveza pierde la mayoría del gas generado, por lo tanto, el objetivo de esta etapa es que la cerveza lo recupere para obtener la espuma. Existen dos métodos principales para lograrlo: El primero de ellos es por medio de la adición de azúcar a la botella para inducir a una breve fermentación y la segunda es utilizando cilindros presurizados (González, 2017).

En los últimos pasos se encuentra la maduración, es donde, se mantiene la cerveza recién terminada para que desarrolle un carácter más profundo respecto al sabor y sus atributos. Esta puede ser realizada a temperatura ambiente por un tiempo corto a temperaturas bajas por un tiempo prologando que puede durar semanas y/o hasta meses. Por último, se da el embotellado que es recomendable realizarlos en botellas de color ámbar o verde para reducir la acción oxidante de la luz (Willaert, 2012).

I. MACERACIÓN

En el proceso de maceración, se da una reacción de hidrólisis enzimática, en donde, las principales enzimas que actúan en el proceso son las amilasas (alfa y beta). En la reacción ocurre un desdoblamiento del almidón por medio de las enzimas que actúan como catalizadores. De primero, actúa la alfa amilasa, desdoblando el almidón en glucosa y maltosa, y la beta amilasa, convierte todo el almidón en glucosa. El proceso de hidrólisis enzimática ocurre en dos etapas, primero la licuefacción y la sacarificación (Meers, 2013).

1. Licuefacción

En esta etapa del proceso ocurre una hidrólisis parcial del almidón, producido por las enzimas alfa amilasas, donde se generan polisacáridos de longitud media y cantidades de otros componentes de peso molecular bajo y alto, como la glucosa (Acosta, 2019).

2. Sacarificación

Al finalizar la licuefacción y se generen los componentes mencionados anteriormente ocurre la sacarificación en donde actúan las alfa y beta amilasas, que se encargan de hidrolizar completamente los polisacáridos de tamaño intermedio hasta glucosa principalmente. En esta etapa también se

generan otros azúcares como sacarosa, maltosa y otros, pero son nuevamente hidrolizados por las enzimas (Acosta, 2019).

J. BALANCE DE MASA TEÓRICO DEL PROCESO DE MACERACIÓN

El balance de masa teórico del sistema supondrá que no hay pérdidas significativas durante el proceso y también el balance de masa se dividirá por etapas según cada escalón de temperatura que se esté alcanzando, tomando en cuenta la cantidad de malta, agua y la cantidad de azúcares obtenidos al final de cada escalón.

Ecuación 10. Balance de masa

$$M_{Entrada} = M_{Salida}$$

$$M_{H_2O} + M_{Ma} = M_{Mo} + M_{Sa}$$

Donde

M_{Ma} = Masa de malta

M_{H_2O} = Masa de agua

M_{Mo} = Masa de mosto

M_a = Masa de sólidos acumulados

K. BALANCE DE ENERGÍA TEÓRICO DEL PROCESO DE MACERACIÓN

El balance de energía teórico se expresará de manera general tomando en cuenta que no hay pérdidas significativas de calor y que el calor específico de la malta y el agua es constante en el rango de temperatura del proceso. Se realizaron tres balances de energía tomando en cuenta que se realizó una maceración escalonada con tres temperaturas distintas.

Ecuación 11. Balance de energía del proceso de maceración

$$\Delta Q = Q_{entrante} - Q_{saliente}$$

$$Q = M * C_p * \Delta T$$

$$\Delta Q = (Q_{agua} + Q_{malta})$$

$$\Delta Q = ((m_{agua} * C_{p_{agua}} * \Delta t) + (m_{malta} * C_{p_{malta}} * \Delta t))$$

$$Q_{tot} = Q_{1T} + Q_{2t} + Q_{3t}$$

Donde:

Q: Calor (KJ)

m: Masa (kg)

Cp: Calor específico (Kj/Kg*°K)

ΔT : Diferencia de temperatura

Qtot: Calor total de la maceración (KJ)

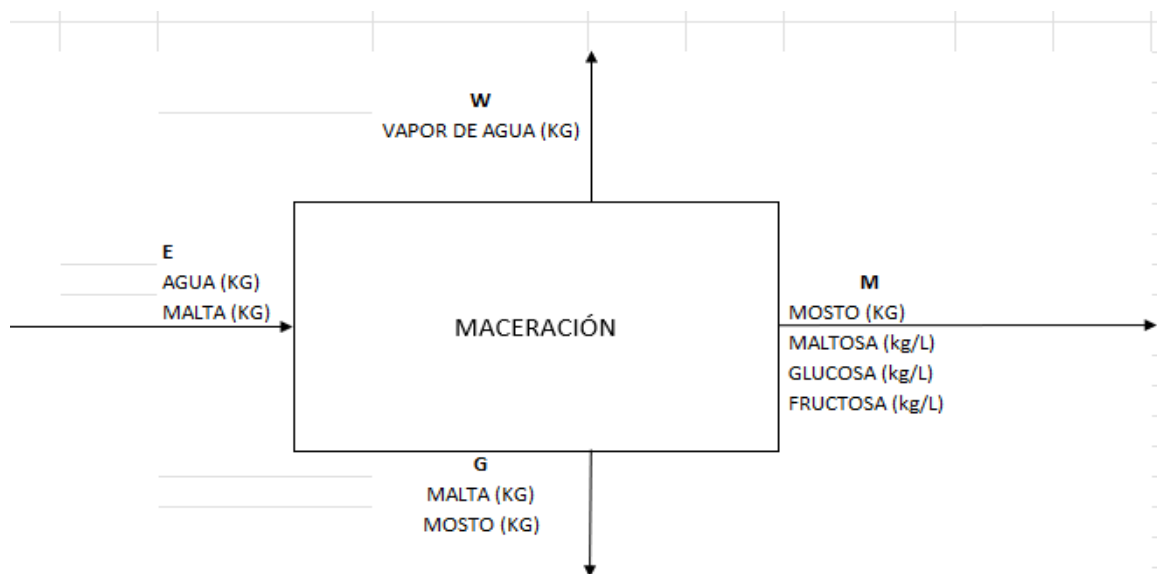
Q1t: Calor con primer cambio de temperatura (KJ)

Q2t: Calor con segundo cambio de temperatura (KJ)

Q3t: Calor con tercer cambio de temperatura (KJ)

L. DIAGRAMA DE FLUJO TEÓRICO

Figura 6. Diagrama de flujo teórico del proceso de maceración



M. NORMA COGUANOR

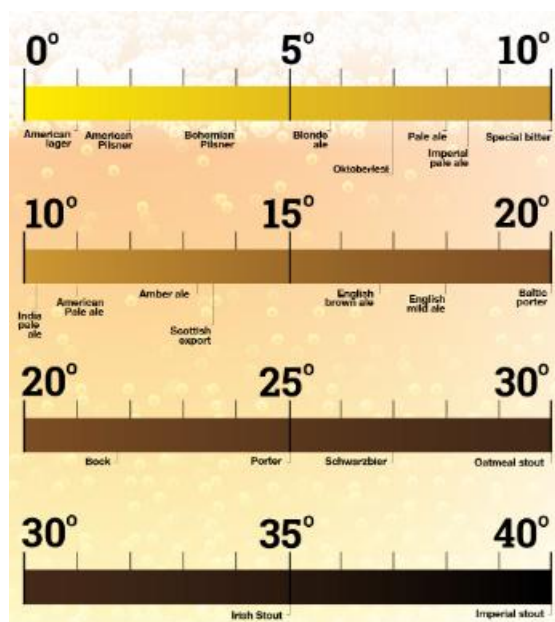
Cuadro 1. Características químicas del agua para consumo humano según la Norma Coganor NTG 29001

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro Residual <i>Libre</i> ^(a)	0.5	1.0
Cloruro (Cl)	100.0	250.0
Dureza Total (CaCO ₃)	100.0	500.0
Sulfato (SO ₄)	100.0	250.0
Aluminio (Al)	0.050	0.100
Calcio (Ca)	75.0	150.0
Cinc (Zn)	3.0	70.0
Cobre (Cu)	0.050	1.500
Magnesio (Mg)	50.0	100.0
Manganeso total (Mn)	0.1	0.4
Hierro total (Fe)	0.3	-

N. TIPOS DE CERVEZA

Según lo planteado en los principios para la elaboración de cerveza artesanal hay diferentes tipos de cerveza según los criterios mencionados anteriormente (González, 2017). El primero de ellos se basa en su aspecto físico, tomando en cuenta cuestiones como su color y turbidez. El color se debe principalmente al grado de secado – tostado de las maltas (BJCP Style Guidelines, n.d.). Los colores de la cerveza se clasifican conforme al método estándar de referencia (SMR) o también se utiliza los estándares de la convención europea de la cerveza (EBC) (Cerveceros, 2020). En el trabajo de graduación será de utilidad conocer los diferentes tipos de cerveza para determinar factores que son relevantes en la diferenciación de cada uno y los aspectos que se deben tomar en cuenta, también permite tener un mayor contexto sobre la variedad de estilos, comprendiendo que tiene una gran complejidad determinar un proceso para todos los tipos de cerveza.

Figura No. 1: Escala de color según estándares SRM y EBC



(Méndez, 2022)

En la Figura 1, se puede observar el color de la cerveza y su nombre según la tonalidad que presenta. En la imagen también se encuentra la medición según los dos criterios para poder compararlos, aunque el método que se utiliza con más frecuencia es el EBC (Sanz, 2019).

Por otro lado, las cervezas también se clasifican por su materia prima y procedencia. La clasificación por su materia prima pueden ser variaciones en los ingredientes básicos como la malta y el grano de cebada (González, 2017). Conforme a la procedencia, como su nombre lo indica se refiere a la región donde es fabricada, aunque esta clasificación se denomina para grupos de cerveza y en algunas ocasiones para cervezas en específico.

O. PROTOCOLO CONTRA CONTAMINACIÓN

En el proceso de cerveza artesanal pueden ocurrir diferentes tipos de contaminación para los diferentes procesos. Esto inicia desde el material de los equipos, se recomienda utilizar Acero Inoxidable AISI 316 o AISI 316L, con una capacidad mínima de 6 litros por cada kg de malta que se vaya a utilizar. En la industria alimentaria se utiliza, ya que garantiza que los materiales no serán

alterados y facilita su higiene debido a su superficie lisa y sin poros. Por este motivo, el sector alimentario y farmacéutico lo exige como norma sanitaria (Eprom, 2021).

En el ámbito de la cerveza suelen encontrarse estrictas normas de higiene y requisitos reglamentarios. La mayoría de las normas se cumplen con mantener un protocolo de limpieza adecuado, tomando en cuenta que para la maceración el principal equipo es el macerador u olla de maceración, se debe asegurar que no queden residuos para evitar que se convierta en un caldo de cultivo para bacterias afectando la calidad de la cerveza (Grupo Micet, 2022).

V. ANTECEDENTES

En el año 2017, se realizó una investigación comparando la extracción de azúcares fermentables en el proceso de maceración de las cervezas Red y Blonde ale por medio de dos procesos. Maceración simple por infusión y maceración escalonada, en dónde, la maceración escalonada mostró una mejora del 1% de extracto comparado con el método de maceración simple. Esta mejora del 1% del extracto generaría un ahorro de \$285.00 anuales y si se aplica a los otros estilos de cerveza que trabaja la empresa Andes Brewing Co. Se espera que pueda haber un mayor ahorro anual (Paredes, 2017).

En la cerveza se da una gran importancia a las propiedades del agua, ya que, es el componente que representa un mayor porcentaje en la cerveza. La calidad del agua tiene una influencia directa con el producto final y también con cada proceso. En el proceso de maceración las propiedades como la dureza y el pH del agua influyen en la cantidad de azúcares fermentables que se pueden obtener, además según Alworth (2012) con el control de las condiciones es posible mejorar y estandarizar el proceso. Se determinó que el pH óptimo para el proceso de hidrólisis enzimática debe estar entre 4-6 para mejorar la extracción de azúcares fermentables, aumentando el rendimiento (Herrera, Meers, 2013).

En otros estudios realizado se abarca la optimización del proceso de maceración en la producción de cerveza. Como muestra el estudio realizado por Durand et al. (2009) que se enfocó en la influencia de la temperatura respecto a la extracción de azúcares fermentables y el perfil de sabor del mosto, donde determinaron que los ajustes de temperatura en el proceso son esenciales para la calidad y el sabor de la cerveza resultante. Además, se experimentó con la relación agua-cebada para verificar los cambios en el rendimiento de la maceración con los diferentes ajustes.

La receta original fue obtenida de una marca de cerveza artesanal famosa utilizada en los Estados Unidos, pero se realizó con sustitos de la malta original que se realiza la receta, por la facilidad de la obtención de maltas locales. La receta establecida fue de una IPA de la marca Lagunitas, que se detalla a continuación con los sustitos de la malta original (Lagunitas Brewing company, 2023).

Receta IPA Lagunitas: 20 L de cerveza final

Maltas:

Pale ale: 5,1 kg

Carapils: 180g

Caramelo 60: 135g

Múnich :100g

Lúpulos

Citra 30g

Cascade 115g

En la obtención de la densidad del mosto, se utilizó una relación de grados Brix con gravedad específica que se encuentra en la European Brewery Convention. La tabla que se muestra a continuación representa la relación que se encuentra entre ambos parámetros para luego relacionarlo con la densidad.

Figura 7. Relación grados brix con gravedad específica

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		

(EBC, 2023)

VI. METODOLOGÍA

A. Protocolo de limpieza y contra contaminación

Equipos:

- Olla de maceración
- Molino de rodillos

- Molino de rodillos
 - a) Se verificó que el equipo estuviera apagado y desconectado
 - b) Se retiraron los residuos sólidos utilizando un paño seco y una aspiradora.
 - c) Con un paño húmedo se limpiaron los rodillos posteriormente
 - d) La desinfección se realizó utilizando DEOCIL CAT, colocándolo en los rodillos de acero inoxidable
 - e) El desinfectante se mantuvo durante 10 minutos para luego ser removido con agua caliente.

- Olla de maceración
 - a) Las ollas fueron enjuagadas para eliminar los residuos sólidos y líquidos.
 - b) Utilizando una esponja se lavó con agua y jabón, la base y las paredes internas de la olla.
 - c) Posteriormente, se utilizó DEOCIL CAT para desinfectar la olla.
 - d) Por último, se lavó con agua caliente para que no quedara ningún residuo del desinfectante en las ollas.

B. Análisis fisicoquímico de las materias primas

Materiales

- Molino de laboratorio de Operaciones Unitarias
- Potenciómetro ohaus St 20
- Balanza analítica Ohaus modelo V31xH2
- Espátula analítica
- Tamices U.S.A Standard Testing Sieve desde No. 20 (850 micrómetros) a No. 100 (150 micrómetros)
- Beaker de 100mL
- Malta Pale Ale (g)
- Agua pura salvavidas

1. Molienda de malta Pale Ale para posterior análisis granulométrico

- a. Se aseguró de que el molino de rodillos esté limpio y en condiciones de funcionamiento óptimas.
- b. Seguido se pesaron 500 gramos de malta Pale Ale y registra el peso.
- c. Se Encendió el molino de rodillos y se ajustó la frecuencia a 10 Hz.
- d. Se colocó la muestra de malta en el molino, pero se fue agregando poco a poco para evitar acumulación.
- e. Se colocó una bolsa para tener una recolección adecuada de malta molida
- f. Se detuvo el molino una vez que se haya colocado toda la muestra.

- g. Seguido, se registró la frecuencia utilizada (10 Hz) y el tamaño de partícula obtenido.
- h. Se aumentó la frecuencia a 20 Hz en el variador de frecuencia.
- i. Se Repitió el proceso de molienda (paso 2 a 5) con la nueva frecuencia.
- j. Se registró la frecuencia utilizada (20 Hz) y el tamaño de partícula obtenido.
- k. Se repitieron los Pasos 1 a 6 aumentando la frecuencia en incrementos de 10 Hz (por ejemplo, 30 Hz, 40 Hz y 50 Hz)
- l. Por último, se apagó el molino
- m. Se limpiaron los rodillos con una aspiradora y luego con un trapo húmedo para eliminar cualquier residuo de malta.

2. Análisis granulométrico de la malta por medio del procedimiento de tamizado

- a. Se pesaron 500g de malta Pale Ale
- b. Se preparó el juego de tamices, comenzando con el tamiz de mayor tamaño en la parte superior y continuando en orden descendente hasta el tamiz de menor tamaño en la parte inferior.
- c. Se colocó la muestra de malta en el tamiz de mayor tamaño.
- d. Se taparon los tamices y se agitó suavemente para asegurar una distribución uniforme de la malta en los tamices.
- e. Se colocó el conjunto de tamices en un dispositivo de tamizado y se agitó durante un período de tiempo de 30 minutos para permitir que las partículas más pequeñas pasen a través de los tamices.
- f. Después de completar el proceso de tamizado, se retiró cada tamiz individualmente.
- g. Se utilizó un cepillo y paleta para recolectar con cuidado las partículas retenidas en cada tamiz en recipientes de recolección etiquetados.
- h. Se pesó cada una de las fracciones recolectadas y se registraron los pesos.
- i. Se calculó el porcentaje de masa retenida en cada tamiz dividiendo el peso de la fracción retenida por el Peso Inicial de la Muestra y multiplicando por 100.
- j. Se analizó la distribución granulométrica obtenida y se observó la cantidad de malta en cada fracción de tamaño de partícula.
- k. Se limpiaron y secaron cuidadosamente los tamices después de cada análisis.

3. Revisión de propiedades de la malta para evaluar las condiciones y tipo de maceración necesaria.

- a. Se recibió la muestra de malta proporcionada por el proveedor. Se aseguró de que las muestras estuvieran etiquetadas correctamente y que coincidan con las especificaciones proporcionadas por el proveedor.
- b. Se examinó detenidamente la hoja de especificaciones proporcionada por el proveedor de maltas. Esta hoja debe contener información sobre propiedades clave, como contenido de humedad, color, capacidad de extracción, contenido de proteínas, contenido de almidón, etc.
- c. Se compararon los datos teóricos con las especificaciones del proveedor, verificando que las maltas se ajusten a las especificaciones declaradas.
- d. Basado en la comparación de los datos teóricos con las especificaciones del proveedor, se concluyó sobre la calidad de la malta proporcionada y su efecto en la maceración.

4. Medición de dureza del agua utilizando Kit PRODACTEST y medición del pH por medio del potenciómetro

- a. La probeta fue enjuagada varias veces con el agua a examinar antes de llenarla hasta la muesca de 5 mL.
- b. Se añadió una gota a la vez del reactivo del frasco, contando las gotas.
- c. Después de cada gota, se agitó la mezcla hasta que la coloración de la reacción pasó del amarillo inicial al rojo-violeta.
- d. Una vez obtenida la coloración rojo-violeta, se dejó descansar por 30 segundos.
- e. Si el color desaparecía, se añadían nuevamente más gotas del reactivo n. 3 hasta que la coloración permanecía estable.
- f. La dureza, expresada en grados alemanes ($^{\circ}$ dKH), correspondió al número de gotas de reactivo utilizadas para alcanzar el color rojo-violeta.
- g. Se registró en la hoja de registro de datos que 1 gota equivalía a 1 $^{\circ}$ dKH.
- h. Por último, se convirtió de $^{\circ}$ dKH a ppm por medio de la relación 1° dKH = 17,86 ppm.

Medición de pH:

1. Se aseguró de que el potenciómetro estuviera calibrado y en condiciones de funcionamiento adecuadas.
2. Se lavó y enjuagó el electrodo del potenciómetro con agua destilada y luego con la muestra de agua que se deseaba analizar.
3. Se introdujo el electrodo en la muestra de agua y se esperó a que la lectura del pH se estabilizara.
4. Se registró el valor de pH en la hoja de registro de datos.
5. Se limpió cuidadosamente el electrodo del potenciómetro después de su uso.
6. Se analizaron los resultados de la medición de dureza del agua y del pH. Se comprendió la calidad del agua en función de estos valores.

5. ESTANDARIZACIÓN DE VARIABLES DEL PROCESO DE MACERACIÓN DE CERVEZA A ESCALA LABORATORIO

Materiales:

- Agua pura Salvavidas
- Malta según lo indicado en el Cuadro 1
- Olla
- Taza medidora de 500 mL
- Paleta de madera
- Tubos de ensayo
- Cronómetro
- Estufa eléctrica
- Pipeta
- Agua pura salvavidas
- Equipo de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) marca Agilent serie 1100 con un detector marca Agilent serie 1200
- Potenciómetro ohaus St 20
- Refractómetro digital

- Balón aforado de 50mL

Cuadro 2. Cantidad total de maltas de cerveza IPA para cada prueba a escala laboratorio

Malta	Cantidad (kg) para 250mL por prueba
Malta Pale Ale	0.06375
Malta Munich	0.00125
Malta Carapils	0.00225
Malta Caramelo 60	0.00167

Maceración escalonada

1. Se midieron 250mL de agua pura Salvavidas utilizando una taza medidora de 500mL y se agregó en una olla Se pesó la cantidad de malta a utilizar correspondiente en el Cuadro 2
2. Se aumentó la temperatura del agua según lo indicado en cada prueba como se especifica en el Cuadro 3
3. En la primera prueba se inició calentando a una temperatura de 47°C durante 20 minutos. Se agitó con una varilla de forma intermitente para que la temperatura se distribuya uniformemente.
4. Se tomó una muestra de 5mL en un tubo de ensayo a los 10 minutos y otra muestra a los 20 minutos.
5. Se realizó segunda etapa aumentando la temperatura a 60°C durante 30 minutos y se mantuvo agitando de forma intermitente.
6. Se tomó muestra nuevamente de 5mL, a los 15 minutos y a los 30 minutos en tubo de ensayo
7. Se realizó la tercera etapa aumentando la temperatura a 68°C durante 60 minutos y se mantuvo agitando de forma intermitente.
8. Se tomo una muestra de 5mL a los 30 minutos y a los 60 minutos en tubo de ensayo.
9. Se realizó en triplicado y se siguió el mismo proceso utilizando las temperaturas correspondientes a cada prueba que se indicaba en el Cuadro 3.

Medición de azúcares fermentables

1. Se diluyeron las muestras de la maceración en una relación 1:10, agregando 1mL de la muestra y 9 mL de agua destilada
2. Para comenzar a utilizar el equipo, se preparó una solución madre a partir de la cual se crearon soluciones estándar para construir una curva de calibración. Es relevante destacar que este método utiliza agua como fase móvil.
3. En la preparación de la solución madre, se pesaron 1.0 g de maltosa, 2.0 g de glucosa y 2.0 g de fructosa. Estos azúcares se disolvieron en agua y se aforó la solución en un balón de 50 mL. La solución resultante tenía una concentración de 40 mg/mL para fructosa y glucosa, y 20 mg/mL para sacarosa y maltosa.
4. Para crear los estándares, se tomaron alícuotas de 7 mL, 5 mL, 4 mL y 1 mL de la solución madre y se aforaron en balones de 50 mL. La primera solución de la curva tenía una concentración de 0.8 mg/mL para glucosa y fructosa, y 0.4 mg/mL para maltosa. La segunda

solución tenía 2.4 mg/mL para glucosa y fructosa, y 1.2 mg/mL para maltosa. La tercera solución tenía 4.0 mg/mL para glucosa y fructosa, y 2.0 mg/mL para maltosa. Por último, la cuarta solución tenía una concentración de 5.6 mg/mL para glucosa y fructosa, y 2.8 mg/mL para maltosa.

5. Las muestras se prepararon para su inyección en el equipo. Se utilizaron jeringas de 10 mL y microfiltros Millipore Millex-GV de 0.22 μ m para agregar entre 1.0 mL y 1.5 mL de muestra en viales de 2.0 mL. Los viales se sellaron con tapas correspondientes mediante un sellador de viales.
6. Se etiquetaron las muestras para facilitar la configuración del equipo al realizar los análisis
7. Se empleó una columna Aminex HPX-87K de 300.0 mm x 7.8 mm, especialmente adecuada para una separación de alta calidad de glucosa, maltosa y fructosa

Evaluación de características fisicoquímicas

Medición de pH:

1. Se aseguró de que el potenciómetro estuviera calibrado y en condiciones de funcionamiento adecuadas.
2. Se lavó y enjuagó el electrodo del potenciómetro con agua destilada y luego con la muestra de agua que se deseaba analizar.
3. Se introdujo el electrodo en la muestra de agua y se esperó a que la lectura del pH se estabilizara.
4. Se registró el valor de pH en la hoja de registro de datos.
5. Se limpió cuidadosamente el electrodo del potenciómetro después de su uso.
6. Se analizaron los resultados de la medición de dureza del agua y del pH. Se comprendió la calidad del agua en función de estos valores.

Medición de la densidad:

1. Se abrió la tapa del refractómetro y se limpió la placa de medición con un paño limpio.
2. Se colocó una pequeña cantidad de la muestra del líquido en la placa de medición del refractómetro, asegurando de que la muestra cubriera completamente la superficie de medición.
3. Se cerró la tapa del refractómetro para que la muestra se distribuyera uniformemente en la placa.
4. Se observó a través del ocular del refractómetro y se registró el valor en grados Brix que se mostraba en la escala. Este valor representó la densidad de la muestra.
5. Se registraron los valores de grados Brix obtenidos de la muestra.
6. Se realizaron cálculos adicionales para convertir los grados Brix a gravedad específica por medio de una curva de relación entre grados brix y gravedad específica, para posteriormente convertirlo a densidad por medio de la relación con la densidad del agua.

Evaluación estadística de los rendimientos obtenidos

Análisis de varianza (ANOVA):

1. Se utilizó Microsoft Excel como herramienta de análisis estadístico para llevar a cabo una prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) en los datos obtenidos de los diferentes rendimientos de las muestras.
2. El objetivo principal de esta prueba de ANOVA fue determinar si existían diferencias significativas entre los rendimientos obtenidos en las distintas condiciones de temperatura y métodos de maceración utilizados.

3. La prueba de ANOVA permitió evaluar si las variaciones observadas en los rendimientos eran estadísticamente significativas o si podían atribuirse al azar.

Prueba t de Student para comparación de muestras:

1. Se realizó una prueba t de Student para comparar específicamente los dos rendimientos que mostraron las similitudes más destacadas.
2. La selección de estas dos muestras se basó en la búsqueda de aquellas que presentaron rendimientos más cercanos entre sí.
3. El propósito de esta prueba t fue determinar si existía una diferencia significativa entre estas dos muestras en particular, lo que podría indicar la influencia de factores específicos en sus rendimientos.

Cuadro 3. Rampas de temperatura para las pruebas a escala laboratorio del proceso de maceración de cerveza con el método escalonado

Rampa de temperatura	Temperatura (°C) (20 min)	Temperatura (°C) (30 min)	Temperatura (°C) (60 min)
Rampa No. 1	47	60	68
Rampa No. 2	51	63	70
Rampa No. 3	55	65	73

Maceración simple

1. Se midieron 250mL de agua pura salvavidas y se agregaron en una olla
2. Las maltas se pesaron conforme a las cantidades establecidas en el Cuadro 2.
3. Se aumentó la temperatura del agua a 71°C y al llegar a la temperatura se añadieron las maltas pesadas para mantener la temperatura a 67°C.
4. Se tomó una muestra cada 10 minutos a lo largo del proceso
5. La temperatura se mantuvo durante 1 hora, agitando ocasionalmente
6. Las muestras que se tomaron fueron de 5mL cada una y se almacenaron en el cuarto frío para realizar las pruebas correspondientes.
7. El procedimiento fue realizado en triplicado.

Medición de azúcares fermentables

1. Se diluyeron las muestras de la maceración en una relación 1:10, agregando 1mL de la muestra y 9 mL de agua destilada
2. Para comenzar a utilizar el equipo, se preparó una solución madre a partir de la cual se crearon soluciones estándar para construir una curva de calibración. Es relevante destacar que este método utiliza agua como fase móvil.
3. En la preparación de la solución madre, se pesaron 1.0 g de maltosa, 2.0 g de glucosa y 2.0 g de fructosa. Estos azúcares se disolvieron en agua y se aforó la solución en un balón de 50 mL. La solución resultante tenía una concentración de 40 mg/mL para fructosa y glucosa, y 20 mg/mL para sacarosa y maltosa.
4. Para crear los estándares, se tomaron alícuotas de 7 mL, 5 mL, 4 mL y 1 mL de la solución madre y se aforaron en balones de 50 mL. La primera solución de la curva tenía una concentración de 0.8 mg/mL para glucosa y fructosa, y 0.4 mg/mL para maltosa. La segunda solución tenía 2.4 mg/mL para glucosa y fructosa, y 1.2 mg/mL para maltosa. La tercera

solución tenía 4.0 mg/mL para glucosa y fructosa, y 2.0 mg/mL para maltosa. Por último, la cuarta solución tenía una concentración de 5.6 mg/mL para glucosa y fructosa, y 2.8 mg/mL para maltosa.

5. Las muestras se prepararon para su inyección en el equipo. Se utilizaron jeringas de 10 mL y microfiltros Millipore Millex-GV de 0.22 μ m para agregar entre 1.0 mL y 1.5 mL de muestra en viales de 2.0 mL. Los viales se sellaron con tapas correspondientes mediante un sellador de viales.
6. Se etiquetaron las muestras para facilitar la configuración del equipo al realizar los análisis
7. Se empleó una columna Aminex HPX-87K de 300.0 mm x 7.8 mm, especialmente adecuada para una separación de alta calidad de glucosa, maltosa y fructosa

Evaluación de características fisicoquímicas

Medición de pH:

1. Se aseguró de que el potenciómetro estuviera calibrado y en condiciones de funcionamiento adecuadas.
2. Se lavó y enjuagó el electrodo del potenciómetro con agua destilada y luego con la muestra de agua que se deseaba analizar.
3. Se introdujo el electrodo en la muestra de agua y se esperó a que la lectura del pH se estabilizara.
4. Se registró el valor de pH en la hoja de registro de datos.
5. Se limpió cuidadosamente el electrodo del potenciómetro después de su uso.
6. Se analizaron los resultados de la medición de dureza del agua y del pH. Se comprendió la calidad del agua en función de estos valores.

Medición de la densidad:

1. Se abrió la tapa del refractómetro y se limpió la placa de medición con un paño limpio.
2. Se colocó una pequeña cantidad de la muestra del líquido en la placa de medición del refractómetro, asegurando de que la muestra cubriera completamente la superficie de medición.
3. Se cerró la tapa del refractómetro para que la muestra se distribuyera uniformemente en la placa.
4. Se observó a través del ocular del refractómetro y se registró el valor en grados Brix que se mostraba en la escala. Este valor representó la densidad de la muestra.
5. Se registraron los valores de grados Brix obtenidos de la muestra.
6. Se realizaron cálculos adicionales para convertir los grados Brix a gravedad específica por medio de una curva de relación entre grados brix y gravedad específica, para posteriormente convertirlo a densidad por medio de la relación con la densidad del agua.

Evaluación estadística de los rendimientos obtenidos

Análisis de varianza (ANOVA):

1. Se utilizó Microsoft Excel como herramienta de análisis estadístico para llevar a cabo una prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) en los datos obtenidos de los diferentes rendimientos de las muestras.
2. El objetivo principal de esta prueba de ANOVA fue determinar si existían diferencias significativas entre los rendimientos obtenidos en las distintas condiciones de temperatura y métodos de maceración utilizados.
3. La prueba de ANOVA permitió evaluar si las variaciones observadas en los rendimientos eran estadísticamente significativas o si podían atribuirse al azar.

Prueba t de Student para comparación de muestras:

1. Se realizó una prueba t de Student para comparar específicamente los dos rendimientos que mostraron las similitudes más destacadas.
2. La selección de estas dos muestras se basó en la búsqueda de aquellas que presentaron rendimientos más cercanos entre sí.
3. El propósito de esta prueba t fue determinar si existía una diferencia significativa entre estas dos muestras en particular, lo que podría indicar la influencia de factores específicos en sus rendimientos.

6. Escalamiento del proceso de maceración de cerveza en planta piloto de la Universidad del Valle de Guatemala

Materiales y equipos

- Malta Pale Ale (kg)
- Malta Munich (kg)
- Malta Carapils (kg)
- Malta Caramelo 60 (kg)
- Equipo de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) marca Agilent serie 1100 con un detector marca Agilent serie 1200
- Potenciómetro ohaus St 20
- Refractómetro digital
- Balón aforado de 50mL
- Termómetro Extech
- Estufa
- Balanza analítica Ohaus
- Espátula analítica
- Probeta de 1L
- 2 ollas
- Pipeta
- Tubos de ensayo
- Paleta de madera
- Cronómetro
- Estufa
- Pipeta
- Agua pura salvavidas

Cuadro 4. Materia Prima total para proceso de cerveza en escala industrial

Malta	Cantidad de materia prima para 40L por lote de cerveza
Malta Pale Ale (kg)	10.2
Malta Munich (kg)	0.2
Malta Carapils (kg)	0.36
Malta caramelo 60 (kg)	0.27
Lúpulo Citra (kg)	0.06

Lúpulo Cascade (kg)	0.23
Levadura US-05 (kg)	0.01

Molienda de granos

1. Se verificó que el molino de rodillos esté limpio y se conectó para prepararlo para la molienda de las maltas.
2. Utilizando el molino de rodillos, se molió la cantidad de maltas indicada en el Cuadro 4 a una frecuencia de 50 Hz y una apertura de los rodillos de 1 mm.

Maceración

1. Se pesó utilizando una balanza la cantidad correspondiente de cada malta, mostrado en el Cuadro 4.
2. Se colocaron las maltas molidas en dos ollas
3. Se colocaron 45 L de agua pura salvavidas utilizando dos garrafones completos y con una probeta se midió lo restante de un tercer garrafón
4. La maceración se realizó con las condiciones que se obtuvieron en la escala laboratorio (51°C por 20 mins, 63°C por 30mins y 70°C por 60 mins).
5. Se agitó con una paleta de madera ocasionalmente para mantener homogénea la temperatura en el recipiente.
6. Se tomaron dos muestras de 5mL cada una por cada cambio de temperatura en el proceso utilizando una pipeta
7. Las muestras obtenidas fueron utilizadas para medición de azúcares fermentables y evaluación fisicoquímica de las características del mosto.

Medición de azúcares fermentables

1. Se diluyeron las muestras de la maceración en una relación 1:10, agregando 1mL de la muestra y 9 mL de agua destilada
2. Para comenzar a utilizar el equipo, se preparó una solución madre a partir de la cual se crearon soluciones estándar para construir una curva de calibración. Es relevante destacar que este método utiliza agua como fase móvil.
3. En la preparación de la solución madre, se pesaron 1.0 g de maltosa, 2.0 g de glucosa y 2.0 g de fructosa. Estos azúcares se disolvieron en agua y se aforó la solución en un balón de 50 mL. La solución resultante tenía una concentración de 40 mg/mL para fructosa y glucosa, y 20 mg/mL para sacarosa y maltosa.
4. Para crear los estándares, se tomaron alícuotas de 7 mL, 5 mL, 4 mL y 1 mL de la solución madre y se aforaron en balones de 50 mL. La primera solución de la curva tenía una concentración de 0.8 mg/mL para glucosa y fructosa, y 0.4 mg/mL para maltosa. La segunda solución tenía 2.4 mg/mL para glucosa y fructosa, y 1.2 mg/mL para maltosa. La tercera solución tenía 4.0 mg/mL para glucosa y fructosa, y 2.0 mg/mL para maltosa. Por último, la cuarta solución tenía una concentración de 5.6 mg/mL para glucosa y fructosa, y 2.8 mg/mL para maltosa.
5. Las muestras se prepararon para su inyección en el equipo. Se utilizaron jeringas de 10 mL y microfiltros Millipore Millex-GV de 0.22 µm para agregar entre 1.0 mL y 1.5 mL de muestra en viales de 2.0 mL. Los viales se sellaron con tapas correspondientes mediante un sellador de viales.
6. Se etiquetaron las muestras para facilitar la configuración del equipo al realizar los análisis

7. Se empleó una columna Aminex HPX-87K de 300.0 mm x 7.8 mm, especialmente adecuada para una separación de alta calidad de glucosa, maltosa y fructosa

Evaluación de características fisicoquímicas

Medición de pH:

1. Se aseguró de que el potenciómetro estuviera calibrado y en condiciones de funcionamiento adecuadas.
2. Se lavó y enjuagó el electrodo del potenciómetro con agua destilada y luego con la muestra de agua que se deseaba analizar.
3. Se introdujo el electrodo en la muestra de agua y se esperó a que la lectura del pH se estabilizara.
4. Se registró el valor de pH en la hoja de registro de datos.
5. Se limpió cuidadosamente el electrodo del potenciómetro después de su uso.
6. Se analizaron los resultados de la medición de dureza del agua y del pH. Se comprendió la calidad del agua en función de estos valores.

Medición de la densidad:

1. Se abrió la tapa del refractómetro y se limpió la placa de medición con un paño limpio.
2. Se colocó una pequeña cantidad de la muestra del líquido en la placa de medición del refractómetro, asegurando de que la muestra cubriera completamente la superficie de medición.
3. Se cerró la tapa del refractómetro para que la muestra se distribuyera uniformemente en la placa.
4. Se observó a través del ocular del refractómetro y se registró el valor en grados Brix que se mostraba en la escala. Este valor representó la densidad de la muestra.
5. Se registraron los valores de grados Brix obtenidos de la muestra.
6. Se realizaron cálculos adicionales para convertir los grados Brix a gravedad específica por medio de una curva de relación entre grados brix y gravedad específica, para posteriormente convertirlo a densidad por medio de la relación con la densidad del agua.

Evaluación estadística de los rendimientos obtenidos

Prueba t de Student para comparación de muestras:

1. Se realizó una prueba t de Student para comparar específicamente el rendimiento entre el dato obtenido en la planta piloto con el de la etapa laboratorio
2. El propósito de esta prueba t fue determinar si existía una diferencia significativa entre estas dos muestras en particular, lo que podría indicar la influencia de factores específicos en sus rendimientos.

VII. RESULTADOS

A. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA PARA EL PROCESO DE MACERACIÓN DE CERVEZA

Cuadro 5. Propiedades fisicoquímicas de los diferentes tipos de malta de cerveza utilizada

MALTA	PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
PALE ALE	Humedad	% (m/m)	4
	Proteína total	% (m/m)	10
	Poder Diastático	°WK	270
	Extracto fino s.s.	%(m/m)	80.8
	Viscosidad	cP	1.52
MUNICH	Humedad	% (m/m)	3.6
	Proteína total	% (m/m)	11.3
	Poder Diastático	°WK	-
	Extracto fino s.s.	%(m/m)	79.3
	Viscosidad	cP	1.5
CARA CLARE	Humedad	% (m/m)	8.5
	Extracto fino s.s.	%(m/m)	78
	pH		6
CARMEL	Humedad	% (m/m)	3.5
	Extracto fino s.s.	%(m/m)	78.7

Nota: En el Cuadro 5 los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de las maltas de cerveza fueron evaluados con la hoja técnica indicada por el proveedor.

Cuadro 6. Análisis granulométrico de la malta Pale Ale a utilizar en el proceso de maceración de cerveza

NO.	% M/M GRANO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (% M/M)
20	72.42	0.36
30	7.76	0.15
45	6.65	0.06
60	2.96	0.23
80	2.28	0.33
100	0.86	0.19
BASE	8.06	0.26

Nota: Se trabajó en el molino de rodillos del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con una Frecuencia de 50 Hz con una distancia de 2mm de los rodillos. Los

resultados fueron obtenidos a una temperatura de 24°C con una presión de 1atm. Las pruebas fueron realizadas con 500g de la malta Pale Ale.

Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas del agua

<i>Agua</i>	Dureza del agua (8.93±ppm)	pH (±0.01)	Densidad (±0.001 g/mL)
Agua pura salvavidas	117.16	7.34	0.998

Nota: Las pruebas fueron realizados a una temperatura de 24°C.

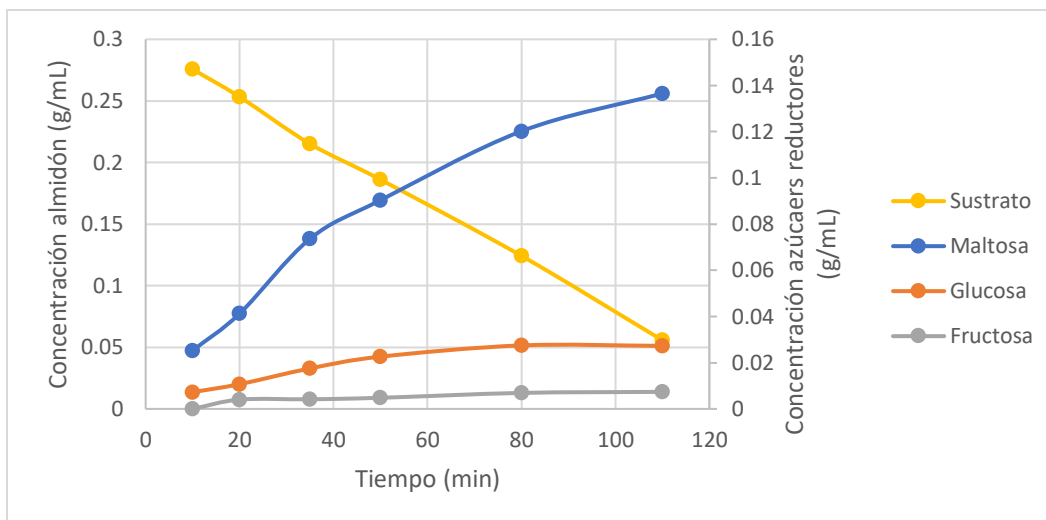
B. ESTANDARIZACIÓN DE VARIABLES DEL PROCESO DE MACERACIÓN DE CERVEZA A ESCALA LABORATORIO

Cuadro 8. Rendimiento promedio de azúcares fermentables respecto a la cantidad de malta utilizada en la etapa laboratorio.

<i>Pruebas de laboratorio</i>	Rendimiento	Desviación estándar
Rampa No. 3	56.33% (m/m)	2.44% (m/m)
Rampa No. 2	64.16% (m/m)	3.66% (m/m)
Rampa No. 1	34.28% (m/m)	4.34% (m/m)
Maceración Simple	42.97% (m/m)	6.34%(m/m)

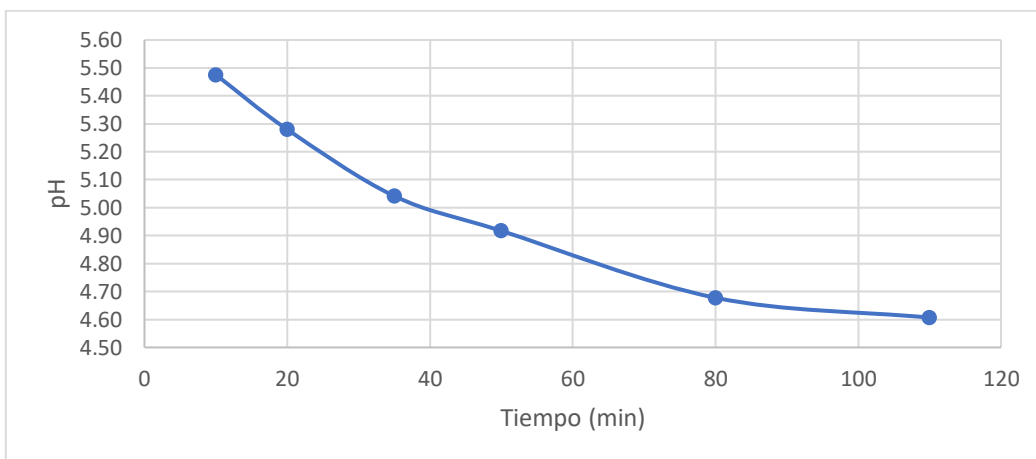
Nota: Los resultados obtenidos muestran los rendimientos obtenidos durante las corridas en la etapa laboratorio, comparando la cantidad de azúcares fermentables respecto a la cantidad de malta inicial. También se toma en cuenta la gravedad específica y volumen del mosto. Las rampas de temperatura se pueden observar en el cuadro Cuadro 3 y la temperatura trabajada para la maceración simple fue de 66°C por 1 hora.

Figura 8. Curva de consumo de sustrato (almidón) y formación de productos (azúcares fermentables) en maceración escalonada a escala laboratorio con rampa de temperatura No. 2



En la figura 9 se puede observar los cambios de concentración entre producto y sustrato, en g/mL, dónde, en el eje secundario se encuentran los azúcares fermentables y en eje principal el consumo de sustrato. Se trabajó con la maceración escalonada con la rampa de temperatura 2. Los puntos representan los valores obtenidos y las curvas son una suavización generada por medio de Excel.

Figura 9. Cambio de pH en el tiempo durante la maceración con la rampa de temperatura 2 a escala laboratorio



Nota: El gráfico muestra los cambios de pH durante el proceso de maceración escalonada con la rampa de temperatura No. 2, que fue la que obtuvo un mayor rendimiento en la

escala laboratorio. El pH fue medido a una temperatura de 20°C. Los puntos representan los valores obtenidos y la línea es una suavización generada por Excel.

C. ESCALADO DEL PROCESO DE MACERACIÓN DE CERVEZA AL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Cuadro 9. Promedio de rendimiento de las pruebas realizadas en Laboratorio de Operaciones Unitarias con rampa de temperatura No. 2

INDUSTRIAL	AZÚCARES FERMENTABLES (kg/L)	RENDIMIENTO (%m/m)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (%m/m)
Rampa No. 2	0.198	72.46	2.33

Nota: Los resultados obtenidos muestran la cantidad de azúcares fermentables y rendimiento promedio obtenido durante las corridas en la escala planta piloto, comparando la cantidad de azúcares fermentables respecto a la cantidad de malta inicial. También se toma en cuenta la gravedad específica y volumen del mosto para determinarlo. Se trabajó con la rampa de temperatura No. 2 que se puede observar en el Cuadro 3.

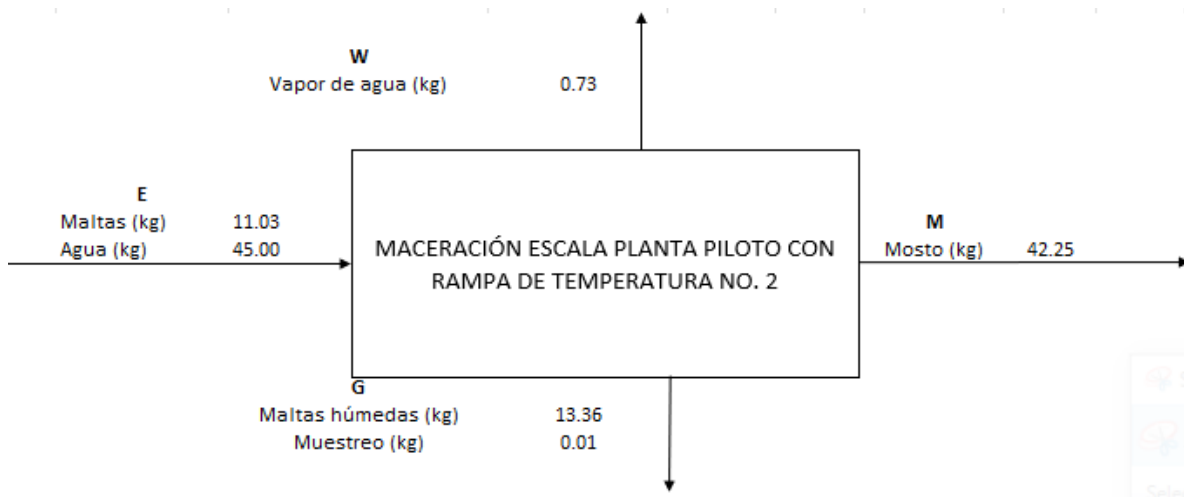
Cuadro 10. Parámetros cinéticos de Michaelis Menten para modelar la maceración escalonada con la rampa de temperatura No.2 a escala laboratorio y a escala planta piloto.

$V = \frac{vmax * [S]}{Km + [S]}$		
Escala	Parámetro	Valor
Laboratorio	Vmax (mol/min)	0.008
	Km (mol/L)	1.878
Planta Piloto	Vmax (mol/min)	0.010
	Km (mol/L)	1.449

Nota: El cuadro muestra una comparación de los parámetros cinéticos obtenidos durante la estandarización en la etapa laboratorio y en la etapa de la planta piloto. Km representa la afinidad con la enzima y vmax representa la velocidad máxima de reacción.

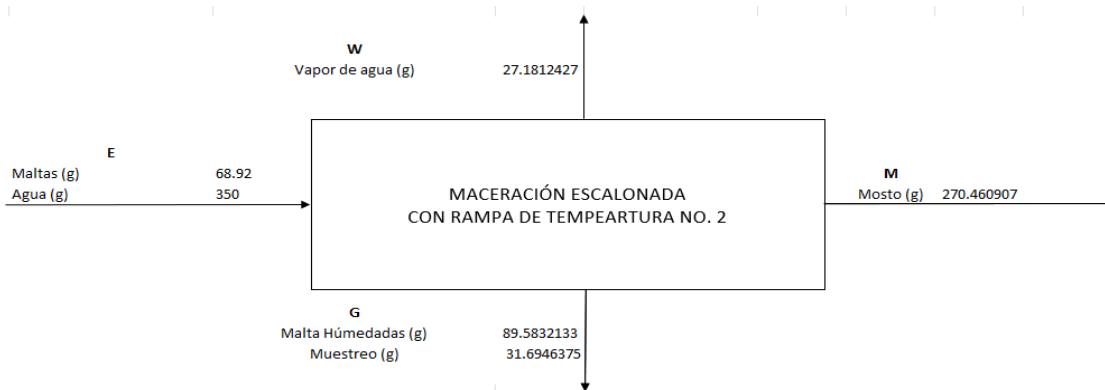
Comparación del balance de masa de la maceración escalonada con rampa de temperatura 2 a escala laboratorio y a escala planta piloto

Figura 10. Balance de masa de Maceración escalonada con rampa de temperatura No. 2 en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.



Nota: En la Figura 10 se puede observar el balance de masa para la maceración escalonada con la rampa de temperatura No. 2 a escala planta piloto. El proceso fue realizado por lotes, en dónde, la letra E representa la entrada de materia prima (maltas y agua), la letra W la salida de vapor de agua, la letra G la salida de maltas húmedas y el muestreo realizado de 5mL. Los gramos obtenidos de las maltas húmedas se determinaron por medio de una balanza a temperatura de 24°C. Por último, la letra M representa el mosto final.

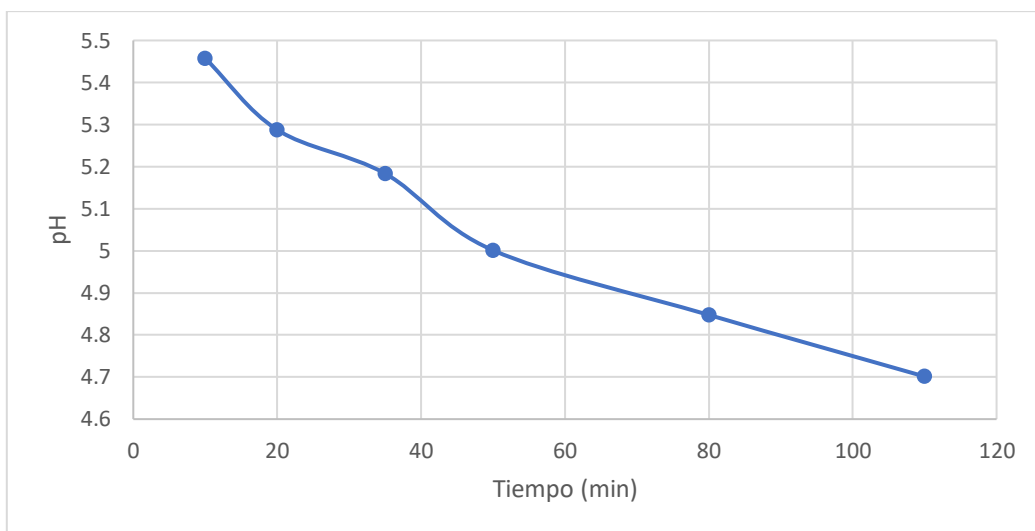
Figura 11. Balance de masa de la maceración escalonada con rampa de temperatura No. 2 en la etapa laboratorio



Nota: En la Figura 11 se puede observar el balance de masa para la maceración escalonada con la rampa de temperatura No. 2 a escala laboratorio. El proceso fue realizado por lotes, en dónde, la

letra E representa la entrada de materia prima (maltas y agua), la letra W la salida de vapor de agua, la letra G la salida de maltas húmedas y el muestreo realizado de 5mL. Los gramos obtenidos de las maltas húmedas se determinaron por medio de una balanza a temperatura de 24°C. Por último, la letra M representa el mosto final.

Figura 12. Cambio de pH en el tiempo durante la maceración con la rampa de temperatura 2. a escala planta piloto



D. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL MOSTO

Cuadro 11. Características fisicoquímicas del mosto

<i>Producto</i>	Densidad (± 0.001 g/mL)	Gravedad específica	pH (± 0.01)	Rendimiento ($\pm 2.33\%$ m/m)	Color
Mosto	1.0593	1.061	4.69	71.07%	Ámbar

Los resultados obtenidos fueron medidos con un refractómetro digital y un potenciómetro a una temperatura de 24°C.

Cuadro 12. Azúcares fermentables presentes en el mosto

Escala	Maltosa (%p/v)	Glucosa (%p/v)	Fructosa (%p/v)
Escala laboratorio (Rampa de temperatura No. 2)	13.656	2.730	0.738
Escala planta piloto	15.783	3.420	0.553

Los resultados obtenidos muestran el porcentaje masa volumen de la maltosa, glucosa y fructosa presente en el mosto durante

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el proceso de producción de cerveza, la etapa de maceración desempeña un papel fundamental en la obtención de azúcares fermentables, lo que incide directamente en la calidad y uniformidad del producto final. El presente estudio se enfoca en la estandarización del proceso de maceración llevado a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. El objetivo general de esta investigación es alcanzar el máximo rendimiento posible en el proceso de maceración, garantizando que las condiciones sean reproducibles y controladas. Para cumplir con este objetivo, se plantearon diversos objetivos específicos que abarcan desde el análisis fisicoquímico de las materias primas hasta la evaluación de los azúcares fermentables y los rendimientos obtenidos del mosto. En consecuencia, este estudio tiene como propósito discutir en los fundamentos teóricos que respaldan la importancia de cada resultado, así como la influencia de estos conocimientos en la estandarización de los parámetros del proceso de maceración.

La primera etapa de la investigación se centró en la estandarización de los parámetros del proceso de maceración a través de un análisis fisicoquímico de las materias primas. Este objetivo específico tuvo como objetivo principal comprender las propiedades de las maltas y el agua, dos elementos críticos en la elaboración de la cerveza. En relación con las maltas utilizadas, se evaluaron diversas propiedades, entre las que se incluyeron la humedad, la proteína total, el poder diastático, el extracto fino sólido y la viscosidad de la malta. Todas estas propiedades tienen un impacto directo en la calidad del mosto. Asimismo, se realizó un análisis granulométrico de la malta con el fin de obtener un estándar relacionado a la forma de trabajar la molienda

Un punto destacable de este análisis fue la evaluación de la humedad en tres tipos de maltas: pale ale, Munich y Cara Clare. Como se observó en el Cuadro 5, la humedad de estas maltas se mantuvo por debajo del 6% (m/m), cumpliendo con las normas de calidad establecidas por la European Brewing Convention (EBC). Además, se destacó la importancia de que las maltas se mantengan cerca del 1.5% de humedad para evitar la contaminación y preservar el sabor y el aroma a lo largo del tiempo. Sin embargo, la malta Cara Clare presentó una humedad elevada del 8.5% (m/m), lo que podría dar lugar a la contaminación y, por ende, no se recomendó su almacenamiento prolongado. En este caso, se optó por comprar la malta Cara Clare en lotes pequeños para minimizar el riesgo de crecimiento fúngico y preservar la calidad del macerado.

Además de la humedad, se evaluó la concentración de proteína total en las maltas Pale Ale y Munich, y se determinó que ambas se encontraban dentro del rango establecido entre el 9.5% y el 12.5%. La relevancia de la proteína en relación con el almidón radica en su influencia directa en la capacidad enzimática. Superar el límite superior de este rango puede reducir la cantidad de almidón disponible, disminuyendo la concentración de enzimas y afectando negativamente el rendimiento de la maceración. Por otro lado, si la proteína está por debajo del límite inferior, puede disminuir la actividad enzimática y, en consecuencia, la producción de azúcares fermentables.

Un parámetro crítico evaluado fue el poder diastático de la malta Pale Ale, que es la única con la capacidad de convertir almidones en azúcares fermentables entre las variedades utilizadas en la receta. Los resultados mostraron un valor de 270 °WK, lo cual cumplió con el objetivo de mantenerlo igual o superior a 250. Esto fue esencial para compensar la falta de poder diastático de las demás maltas utilizadas en el proceso.

Dentro de las propiedades fisicoquímicas, también se examinó el extracto fino sólido, conocido como extracto potencial, en cada una de las maltas. Se esperaba que todas las maltas presentaran un valor mayor al 78%, ya que un valor inferior indicaría una carencia de extracto necesario. Sin embargo,

solo la malta Cara Clare no alcanzó el 78%, lo que indicó una mayor concentración de proteína y cáscara, reduciendo la cantidad de almidón disponible para la maceración.

Finalmente, se evaluó la viscosidad de las maltas Pale Ale y Munich, un parámetro crucial que debía mantenerse entre 1.45 y 1.6 para evitar la formación excesiva de espuma durante la cocción y posibles desbordamientos. Ambas maltas se encontraron dentro del rango establecido por las normas de la EBC, lo que contribuyó a la estandarización de los parámetros del proceso de maceración.

En adición a las propiedades fisicoquímicas de las maltas, otro aspecto fundamental que impacta de manera directa en el rendimiento de la maceración es la granulometría de la malta. Como se observa en el Cuadro 6, la elección de una frecuencia de 50 Hz y una separación de 1.5 mm en los rodillos fue importante para el proceso. Esta configuración logró exponer una mayor cantidad de almidón durante la maceración, al mismo tiempo que redujo la presencia de cáscara en la mezcla resultante. La búsqueda constante fue obtener un porcentaje m/m menor al 10% en la base mientras que la mayoría de esta fracción se distribuyera en los platos restantes, con el fin de maximizar la disponibilidad de almidón, factor crítico para el éxito de la maceración.

En relación con la evaluación de las propiedades de las maltas, se llevó a cabo un análisis del agua destinada al proceso de maceración, considerando la relevancia crítica de la dureza del agua y el pH en la actividad enzimática durante dicho proceso. Se optó por utilizar agua pura Salvavidas, cuya composición cumplía con los parámetros estipulados para la elaboración de una cerveza IPA (India Pale Ale). El Cuadro 7 muestra que el agua Salvavidas presenta una dureza de 117.16ppm, situándose en el rango adecuado para la producción de una cerveza American IPA, que se encuentra en un intervalo de 100 a 150 ppm según las especificaciones de la receta 'IPA Lagunitas'. Además, este tipo de agua tiene un pH neutro de 7.36 ± 0.01 , logrando así que, durante la maceración, los valores de pH se mantuvieran en el rango óptimo de 4.5 a 5.8. Este enfoque en el control del agua, respaldado por su consistencia en la composición y sus características neutrales, ha contribuido significativamente a la estandarización de los parámetros del proceso de maceración, lo que a su vez asegura resultados controlados y reproducibles en la producción en el laboratorio.

En el segundo objetivo específico de esta investigación se propuso identificar las variables que ejercen la mayor influencia en el rendimiento de la maceración durante la etapa de laboratorio. Para lograr este propósito, se llevaron a cabo pruebas que involucraron tres rangos de temperatura distintos en el proceso de maceración escalonada, junto con una maceración simple. La experimentación se llevó a cabo considerando tres rangos de temperatura diferentes, junto con una maceración simple a 67°C durante 1 hora. El Cuadro 8 presenta un análisis comparativo de los rendimientos obtenidos en cada uno de estos procesos, acompañado de la media y desviación estándar correspondiente.

Uno de los resultados más destacados fue que el mayor rendimiento se logró al trabajar con una Rampa de temperatura No. 2, alcanzando un valor promedio de 64.16%. Estos resultados eran los esperados, considerando las condiciones y limitaciones técnicas presentes en los equipos. Por otro lado, una Rampa de temperatura No. 2 se traduce en un mayor control sobre la actividad enzimática. Las enzimas continúan funcionando de manera efectiva en este rango, lo que garantiza una conversión más completa de los almidones en azúcares fermentables. Además, al operar dentro de este rango, se minimiza el riesgo de inactivación o ralentización excesiva de las enzimas, lo que lleva a un rendimiento más alto y consistente.

Por otro lado, los resultados con la rampa de temperatura No. 3 ($56.33\% \pm 2.44\%$) y la rampa de temperatura No. 1 ($34.28\% \pm 4.34\%$) se plantean importantes consideraciones teóricas. A temperaturas elevadas, las enzimas responsables de la conversión de almidones en azúcares

fermentables pueden experimentar inactivación o desnaturalización, lo que podría reducir la eficiencia del proceso. Por otro lado, con la rampa de temperatura No. 1, es plausible que las enzimas se vuelvan menos efectivas o incluso dejen de funcionar por completo, lo que resultaría en un rendimiento reducido.

La maceración simple a 67°C durante 1 hora también mostró un rendimiento inferior en comparación con la Rampa de temperatura No. 2 (42.97% \pm 6.34%). Esto podría atribuirse a la falta de escalonamiento de la temperatura, lo que limita la actividad enzimática durante la maceración y, por lo tanto, reduce la eficiencia en la conversión de almidones.

Asimismo, es esencial abordar la variabilidad del rendimiento en relación con la desviación estándar. Esta medida permite evaluar la replicabilidad de los resultados bajo diferentes condiciones de temperatura. Un menor valor de desviación estándar indica una mayor consistencia en los resultados, lo que puede interpretarse como un proceso más controlado y predecible. Se puede observar que el rendimiento obtenido a Rampa de temperatura No. 2 (64.16% \pm 3.66%) presenta una desviación estándar relativamente baja en comparación con la rampa de temperatura No. 1, lo que sugiere una mayor consistencia y control en la conversión de almidones. Por otro lado, la rampa de temperatura No. 3 (56.33% \pm 2.44%) presenta la desviación estándar más baja, pero el rendimiento de la Rampa de temperatura No. 2 es mayor, por lo tanto, es preferible trabajar con una Rampa de temperatura No. 2 en cada etapa de la maceración escalonada.

El tercer objetivo específico se centró en la escalabilidad del proceso de maceración, con el propósito de evaluar cómo los parámetros y resultados obtenidos a nivel de laboratorio pueden aplicarse de manera efectiva a una escala mayor. Para lograr este objetivo, se analizó la cinética de la reacción de hidrólisis enzimática y se determinaron los parámetros de KM y Vmax, que son indicadores clave de la actividad enzimática y la velocidad de reacción en el proceso de maceración. Además, se analizó el consumo de sustrato comparado con la formación de productos como se observa en la Figura 8.

La constante de Michaelis-Menten (KM) es un indicador clave de la afinidad entre las enzimas y los sustratos en el proceso de hidrólisis enzimática. En el presente estudio, el valor de KM en la escala de laboratorio fue de 1.878 mol/L, mientras que el valor de KM a escala planta piloto fue de 1.449 mol/L, sugiriendo una afinidad aún mayor, lo que implica una conversión aún más eficiente en condiciones de producción a mayor escala.

En cuanto a la velocidad máxima (Vmax), que refleja la capacidad de las enzimas para catalizar la reacción, se obtuvo un valor de 0.008 mol/min en la escala de laboratorio. Sin embargo, en la escala planta piloto, se observó un valor de Vmax igual a 0.010 mol/min, lo que demuestra una capacidad aún mayor de las enzimas para trabajar a su máxima eficiencia.

Estos resultados sugieren que, si bien ambas escalas muestran una alta eficiencia en la conversión de almidones en azúcares fermentables, la escala planta piloto demuestra una afinidad y una capacidad catalítica aún mayores por parte de las enzimas. Esto respalda la superioridad de la escala planta piloto en términos de eficiencia en la hidrólisis enzimática de almidones, lo que se refleja directamente en los rendimientos respecto a azúcares fermentables, ya que los resultados de la planta piloto muestran un mayor rendimiento en este aspecto.

Por último, se analizó el producto final, en este caso, el mosto obtenido durante el proceso de maceración, proporcionando información valiosa sobre la calidad y las características de la cerveza que se producirá.

Como se puede observar en el Cuadro 11, la densidad del mosto es un indicador fundamental que refleja la cantidad de azúcares presentes en el líquido. En una cerveza IPA se espera que una densidad específica se sitúe en un rango específico que garantice un nivel de alcohol adecuado. El valor obtenido (1.0593 g/cm^3) está dentro del rango teórico esperado para una cerveza IPA, lo que sugiere que el mosto contiene una cantidad sustancial de azúcares, lo que es prometedor para la producción de una cerveza IPA con un contenido de alcohol satisfactorio. El reflejo de la densidad puede ser también atribuido a un aumento en el rendimiento de los azúcares fermentables comparado con lo que se había obtenido en la etapa laboratorio, ya que, el rendimiento de azúcares fermentables es un indicador clave de cuántos azúcares se han convertido eficazmente en el mosto durante el proceso de maceración. Se esperaba un rendimiento en el rango del 70-80% para una cerveza IPA de calidad, y el valor obtenido (71.07%) está dentro de este rango teórico. Esto sugiere una conversión efectiva de los almidones en azúcares fermentables, esencial para lograr el perfil de sabor y la fuerza alcohólica deseada en una cerveza IPA.

Además, el pH también pudo favorecer las condiciones de la hidrólisis enzimática, teniendo en cuenta que se mantuvo en el rango estimado de 4.5 a 5.8. Se esperaba que el pH se mantuviera dentro de un rango ligeramente ácido para facilitar la conversión de almidones en azúcares fermentables por las enzimas amilasas. El valor obtenido de pH (4.697) está en concordancia con las condiciones teóricas típicas de producción de cerveza.

También se debe mencionar que no se midió la turbidez, esto se debe a que el enfoque principal del trabajo fue la estandarización del proceso de maceración, por lo que se priorizó el análisis de variables como temperatura, pH, densidad, rendimiento y los parámetros cinéticos, que están directamente relacionados con el rendimiento del proceso. La turbidez puede verse afectada por factores que no fueron parte del alcance de esta investigación, como el contenido de proteínas, los polifenoles, el tipo de lúpulo y las condiciones de fermentación. Por ese motivo, se decidió no incluirla como parámetro de análisis. Sin embargo, se controlaron varios factores para evitar variaciones relacionadas a la turbidez. Se trabajó siempre con los mismos lotes de maltas y agua, se mantuvieron condiciones constantes de molienda y maceración, y no se utilizó ningún tipo de clarificante. Con esto se buscó evitar interferencias que pudieran afectar los resultados obtenidos.

IX. CONCLUSIONES

1. Se analizó fisicoquímicamente las características de las materias primas en la maceración de cerveza, asegurando la calidad y uniformidad del proceso. Los valores obtenidos mostraron una humedad por debajo del 6%, la proteína total se mantuvo entre el rango de 9.5% y 12.5%, el poder diastático fue de 270°WK para la malta Pale Ale y en todas las maltas el extracto fino total fue superior a 78% y la viscosidad se mantuvo dentro del rango de 1.45 y 1.6 siendo los valores de calidad establecidos por la EBC. Por otro lado, se determinó que la dureza del agua era de 117.16ppm con un pH de 7.34. Por último, se logró realizar una molienda efectiva con una frecuencia de 50 Hz.
2. Se estandarizaron las variables más influyentes en la maceración a través de pruebas en laboratorio, destacando la importancia de la maceración escalonada con la rampa de temperatura 2 (51°C, 63°C, 70°C), obteniendo un rendimiento de (64.16% ± 3.66%) respecto a los azúcares fermentables. En un análisis de ANOVA se determinó una diferencia significativa entre los grupos y por medio de una prueba t student reveló de igual manera una diferencia significativa entre las dos pruebas con los dos rendimientos más altos, teniendo la rampa de temperatura 2 con las condiciones con mayor rendimiento
3. Se escaló el proceso por medio de un modelo cinético de Michaelis Menten, en donde se determinaron los parámetros de K_m y V_{max} , que son cruciales para evaluar la actividad enzimática y la velocidad de reacción en el proceso de maceración. Los resultados de la etapa laboratorio mostraron un valor de K_m de 1.878 mol/L y un valor de V_{max} de 0.008 mol/min. Además, se obtuvieron los parámetros cinéticos en la escala planta piloto, donde, se determinó que el valor de K_m era de 1.449 mol/L y V_{max} de 0.010 mol/min, logrando un mejor resultado en la etapa planta piloto, que pudo deberse a un mejor control de las variables.
4. Se analizó fisicoquímicamente el mosto generado durante la maceración de cerveza en la planta piloto de la Universidad del Valle de Guatemala, validando la estandarización de los parámetros en la escala laboratorio, asegurando la obtención de azúcares fermentables en niveles adecuados. Se determinó que el rendimiento fue de 72.46 ± 2.33% m/m. La densidad fue de 1.0593 g/cm³, la gravedad específica fue de 1.061 y un pH de 4.697 ± 0.01. Los resultados obtenidos del mosto cumplen con los estándares esperados para una cerveza IPA según valores de la EBC y la receta original de la cerveza IPA lagunitas.

X. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el proceso de maceración en un sistema continuo para permite un mayor eficiencia, productividad y control sobre el proceso en comparación con la maceración en lotes, que se utiliza en aplicaciones más pequeñas o artesanales.
2. Investigar un modelo cinético que comprenda la relación de temperatura que establece que la velocidad de una reacción es directamente proporcional a la temperatura elevada a una cierta potencia y multiplicada por un factor.
3. Se recomienda llevar a cabo una investigación sobre la viabilidad de utilizar enzimas inmovilizadas en el proceso de maceración. La inmovilización de enzimas puede ofrecer ventajas significativas en términos de reutilización, estabilidad y control del proceso. Esto podría mejorar aún más la eficiencia del proceso y permitir una mayor consistencia en la producción de cerveza.
4. Investigar sobre la formulación y evaluación de recetas que incorporen diferentes aditivos en el proceso de maceración. Los aditivos pueden incluir ingredientes como frutas, especias, hierbas, y otros componentes no tradicionales que pueden agregar complejidad y sabores únicos a la cerveza. La investigación podría abordar cuestiones como la cantidad óptima de aditivos, el momento de su incorporación durante el proceso de maceración y cómo afectan la calidad y el perfil de sabor de la cerveza resultante. Además, podrían evaluarse los aspectos técnicos relacionados con la viabilidad y eficiencia de la adición de aditivos.

XI. BIBLIOGRAGÍA

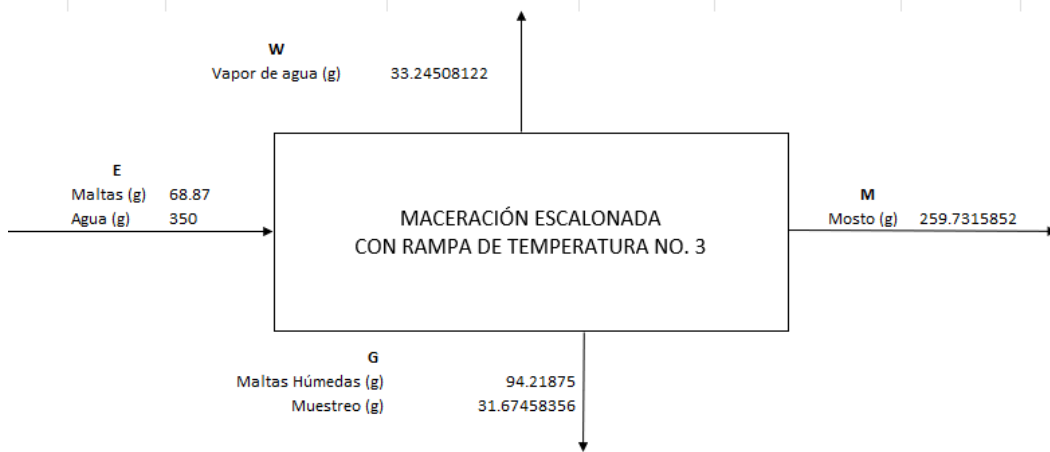
- Anaya-Durand, A., & Pedroza-Flores, H. (2008). *Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina*. Tecnología, Ciencia, Educación, 23(1), 31-39.
- Baiano, A. (2021). *Craft beer: An overview*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(2), 1829–1856. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12693>
- BJCP Style Guidelines. (n.d.). Retrieved August 23, 2021, from <https://www.bjcp.org/stylecenter.php>
- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., & Stevens, R. (Eds.). (2004). 3—*Water, effluents and waste in Brewing* (pp. 52–84). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781855739062.52>
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2015). *Standardization*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/standardization>
- Cervecero, E. (2020, July 1). *¿QUÉ ES LA ESCALA EBC EN LA CERVEZA? Hacer Cerveza Artesanal*. <https://hacercervezaartesanal.com/escala-ebc-cerveza/>
- De Keukeleire, D. (2000a). *Fundamentals of beer and hop chemistry*. Química Nova, 23(1), 108–112. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100019>
- De Keukeleire, D. (2000b). *Fundamentals of beer and hop chemistry*. Química Nova, 23, 108–112. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100019>
- Durand, G. A., Corazza, M. L., Blanco, A. M., & Corazza, F. C. (2009). *Dynamic optimization of the mashing process*. Food Control, 20(12), 1127–1140. doi:10.1016/j.foodcont.2009.03.00
- Emprom (2021) *Acero inoxidable en la industria alimentaria: las claves para una aleación perfecta*. <https://www.epromsa.com/acero-inoxidable-en-la-industria-alimentaria-las-claves-para-una-aleacion-perfecta/>
- Garofalo, C., Osimani, A., Milanović, V., Taccari, M., Aquilanti, L., & Clementi, F. (2015). *The Occurrence of Beer Spoilage Lactic Acid Bacteria in Craft Beer Production*. Journal of Food Science, 80(12), M2845–M2852. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13112>
- González, M. (2017). *Principios de elaboración de las cervezas artesanales*.
- Grupo Micet (2022) *¿Cómo garantizar la higiene y seguridad del equipo de elaboración de cerveza?* <https://www.micetgroup.com/es/how-to-ensure-the-hygiene-and-safety-of-brewing-equipment/>
- Hammond, J., Brennan, M., & Price, A. (1999). *The Control of Microbial Spoilage of Beer**. Journal of the Institute of Brewing, 105(2), 113–120. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1999.tb00014.x>
- Hardwick, W. (Ed.). (1994). *Handbook of brewing*. CRC Press.
- Lee, J. M. (1992). Biochemical engineering (pp. 21-31). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Palmer J (2016) *Brewing Water*. <https://beerandbrewing.com/brewing-water/>
- Pilkington, P. H., Margaritis, A., Mensour, N. A., & Russell, I. (1998). *Fundamentals of Immobilised Yeast Cells for Continuous Beer Fermentation: A Review*. Journal of the Institute of Brewing, 104(1), 19–31. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1998.tb00970.x>

- Pino-García, O., Jáuregui-Haza, U., & Quiñones-García, I. (1996). *La planta piloto y el escalado de procesos de obtención de principios activos para medicamentos por síntesis química*. Acta Farmacéutica Bonaerense, 16.
- Ramirez, W. F., & Maciejowski, J. (2007). *Optimal Beer Fermentation*. *Journal of the Institute of Brewing*, 113(3), 325–333. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2007.tb00292.x>
- RBC Global Connect, S.A (2023) *Understanding the principles of standardization*. <https://rbcglobalconnect.rbc.com/en/resources/methods/standardization#>
- Sanders, T. R. B. (Ed.). (1972). *The aims and principles of standardization*. *International Organization for Standardization*.
- Sanz, C. A. (2019, September 21). *¿Qué es eso del EBC de las cervezas de lo que tanto hablan? Loopulo*. <https://loopulo.com/conocer/ebc-el-color-de-la-cerveza/>
- Secretaría de Economía Mexicana (2023) *¿Qué es la Estandarización?* <https://www.gob.mx/se/articulos/que-es-la-estandarizacion#:~:text=La%20estandarizaci%C3%B3n%20es%20el%20proceso,modelo%20o%20norma%20en%20com%C3%BAn.>
- Stewart, G. G., Russell, I., & Anstruther, A. (Eds.). (2017). *Handbook of brewing*. CRC Press.
- Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, N. A., & Guevara-Rodríguez, C. A. (2016). *Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol*. Revisión bibliográfica. 10.
- Vila Rodríguez, A. (2008). *Desarrollo de una planta piloto de procesos químicos*.
- Willaert, R. (2012). *Biochemistry of Beer Fermentation*. In B. K. Simpson (Ed.), *Food Biochemistry and Food Processing* (pp. 627–653). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118308035.ch33>
- Wunderlich, S., & Back, W. (2009). 1 - *Overview of Manufacturing Beer: Ingredients, Processes, and Quality*

XII. ANEXOS

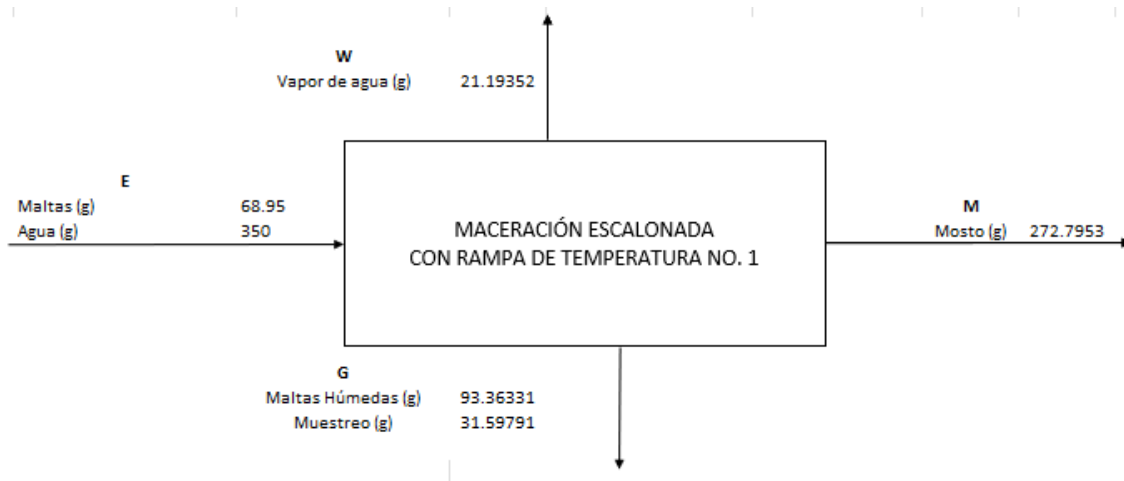
A. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Figura 13. Balance de masa de la maceración escalonada con la rampa de temperatura 3 en la etapa laboratorio



Nota: En la Figura 13 se puede observar el balance de masa para la maceración escalonada con la rampa de temperatura No. 3 a escala laboratorio. El proceso fue realizado por lotes, en dónde, la letra E representa la entrada de materia prima (maltas y agua), la letra W la salida de vapor de agua, la letra G la salida de maltas húmedas y el muestreo realizado de 5mL. Los gramos obtenidos de las maltas húmedas se determinaron por medio de una balanza a temperatura de 24°C. Por último, la letra M representa el mosto final.

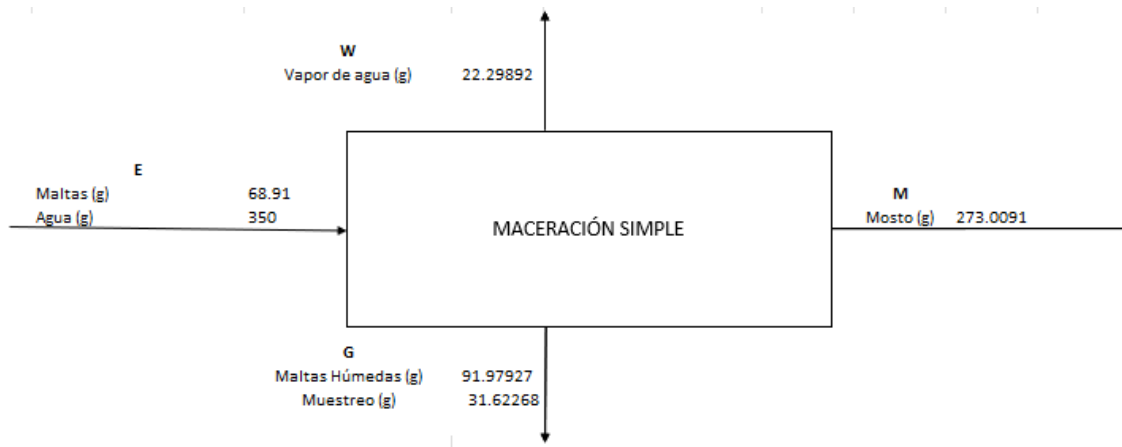
Figura 14. Balance de masa de la maceración escalonada con la rampa de temperatura 1 en la etapa laboratorio



Nota: En la Figura 14 se puede observar el balance de masa para la maceración escalonada con la rampa de temperatura No. 3 a escala laboratorio. El proceso fue realizado por lotes, en dónde, la letra E representa la entrada de materia prima (maltas y agua), la letra W la salida de vapor de agua, la letra G la salida de maltas húmedas y el muestreo realizado de 5mL. Los

gramos obtenidos de las maltas húmedas se determinaron por medio de una balanza a temperatura de 24°C. Por último, la letra M representa el mosto final.

Figura 15. Balance de masa del proceso de maceración simple en la etapa laboratorio



Nota: En la Figura 15 se puede observar el balance de masa para la maceración escalonada con la rampa de temperatura No. 3 a escala laboratorio. El proceso fue realizado por lotes, en dónde, la letra E representa la entrada de materia prima (maltas y agua), la letra W la salida de vapor de agua, la letra G la salida de maltas húmedas y el muestreo realizado de 5mL. Los gramos obtenidos de las maltas húmedas se determinaron por medio de una balanza a temperatura de 24°C. Por último, la letra M representa el mosto final.

Cuadro 13. Balance de masa de la maceración en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

BALANCE DE MASA			
ENTRADA		SALIDA	
Compuesto	Cantidad	Compuesto	Cantidad
Malta (kg)	11.03	Mosto (kg)	42.2541
Agua (kg)	45	Vapor de agua (kg)	0.7338
		Malta Húmeda (kg)	13.3598

BALANCE DE ENERGÍA

Cuadro 14. Balance de energía del proceso de maceración escalonada en el Laboratorio de Operaciones Industriales de la Universidad del Valle de Guatemala

BALANCE DE ENERGÍA								
Temperatura	DATOS		Entrada		Salida			
	Materiales	Capacidad calorífica (kJ/kg*K)	Cantidad (kg)	Temperatura (°C)	Cantidad (kg)	Temperatura (°C)	Energía kJ	Q TOTAL (kJ)
Primera temperatura	Malta	1.84	11.03	25.00	11.03	51.00	527.68	5433.49
	Agua	4.193	45.00	25.00	40.00	51.00	4905.81	
Segunda temperatura	Malta	1.84	11.03	51.00	11.03	63.00	243.54	2507.76
	Agua	4.193	45.00	51.00	40.00	63.00	2264.22	
Tercera temperatura	Malta	1.84	11.03	63.00	11.03	70.00	142.07	1462.86
	Agua	4.193	45.00	63.00	40.00	70.00	1320.80	
							TOTAL	9404.11 (kJ)

B. CONDICIONES ESTANDARIZADAS DE LA MATERIA PRIMA

Las condiciones estándar utilizadas para el agua y las materias primas en el proceso de maceración se definieron tomando como referencia la norma COGUANOR NTG 29006, correspondiente a agua potable, para evaluar que se cumpliera con los parámetros necesarios para su uso en alimentos. En el caso de las maltas, debido a que no existe una norma nacional específica para cervezas artesanales, se utilizaron los rangos establecidos por la European Brewing Convention (EBC), que incluyen humedad, proteína, extracto fino, poder diastático y viscosidad. Estas referencias permitieron establecer las condiciones que se detallan a continuación.

Cuadro 15. Condiciones estándar del agua utilizada durante el proceso de maceración de cerveza

Materia Prima	Estándares
Agua	100 – 150 ppm y pH entre 7 y 8

El cuadro 13 muestra el estándar de las características principales del agua para ser utilizada en la elaboración de una cerveza IPA.

Cuadro 16. Condiciones estándar para las maltas utilizadas durante el proceso de maceración de cerveza

ESTÁNDAR	MALTAS			
	Pale Ale	Munich	Cara Clare	Caramel
Humedad (%)	1.5 - 6	1.5 - 6	1.5 - 6	1.5 - 6
Proteína total (%)	9.5-12.5	9.5-12.5	9.5-12.5	9.5-12.5

ESTÁNDAR	MALTAS			
	Pale Ale	Munich	Cara Clare	Caramel
Poder Diastático (°WK)	≥250	-	-	-
Extracto fino (%)	≥78	≥78	≥78	≥78
Viscosidad (cP)	1.45 – 1.6	1.45 – 1.6	1.45 – 1.6	1.45 – 1.6

En el Cuadro 14 se muestran los estándares de calidad para diferentes tipos de maltas utilizadas en una cerveza IPA, incluyendo Malta Pale Ale, Malta Munich y Malta Cara Clare y Malta Caramel. Cada celda del cuadro muestra el rango de valores aceptables para los distintos parámetros analizados. El poder Diastático para este tipo de cerveza normalmente se encuentra en la malta base, que en este caso es la malta pale ale, por lo tanto, no se encuentra un estándar para las demás maltas. Además, para el poder diastático se expresó como (°WK), que no es una medida del sistema internacional, pero se utiliza en la industria cervecera para analizar la actividad enzimática de la malta.

Cuadro 17. Condiciones estandarizadas para el uso del molino durante el proceso de molienda en la producción de cerveza

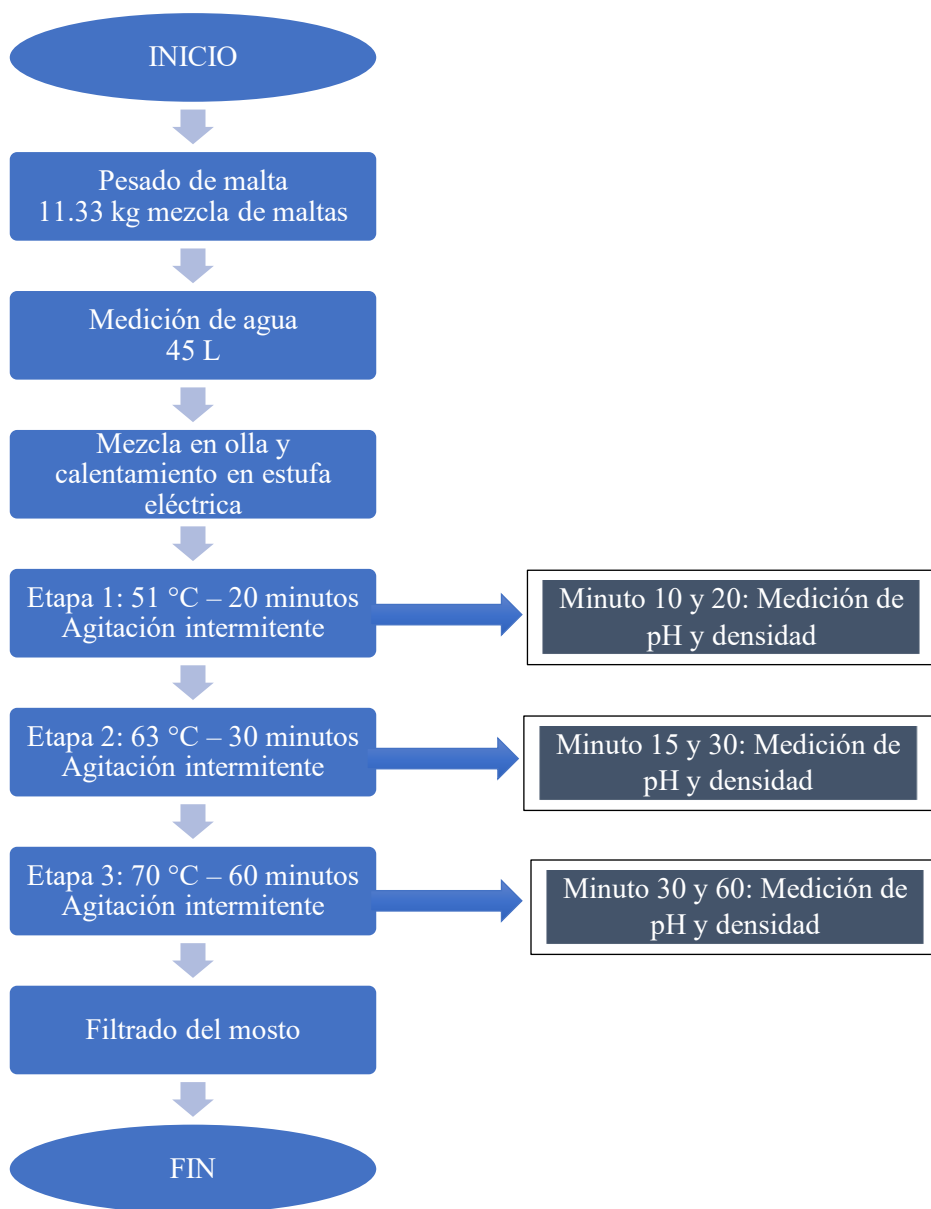
Molino	Condiciones
Frecuencia	50 Hz
Separación	1.5 mm

El cuadro muestra las condiciones de operación estandarizadas de la malta utilizada en la Cerveza IPA. La molienda se trabajó a 23°C y a 1 atm.

Cuadro 18. Condiciones estandarizadas para rampas de temperatura y tiempo utilizadas en el proceso de maceración a escala piloto

Maceración	Condiciones
Temperatura No. 1	51 °C durante 20 minutos
Temperatura No. 2	63 °C durante 30 minutos
Temperatura No. 3	70 °C durante 60 minutos

Figura 16. Diagrama del proceso de maceración de cerveza IPA en escala planta piloto



El Cuadro 16 muestra las condiciones estandarizadas de la maceración utilizando la rampa de temperatura No. 2 determinada en la escala laboratorio. La Maceración se trabajó en el laboratorio de operaciones unitarias a 23°C y a 1 atm.

Previo a iniciar la experimentación se llevó a cabo el protocolo de limpieza mencionado en la sección de metodología. Durante la molienda de granos, utilizando el molino de rodillos, se molió la cantidad de maltas indicada en el Cuadro 3 a una frecuencia de 50 Hz y una apertura de los rodillos de 1 mm. Posteriormente, se procedió a la maceración siguiendo el diagrama mostrado en la figura 16. Se pesó la cantidad correspondiente de cada malta y se distribuyeron las maltas molidas en dos ollas. Luego, se añadieron 45 L de agua pura salvavidas, medida con dos garrafones completos y midiendo el

restante de un tercer garrafón con una probeta. La maceración se realizó siguiendo las condiciones especificadas: 51°C por 20 minutos, 63°C por 30 minutos y 70°C por 60 minutos. Durante el proceso, se agitó ocasionalmente con una paleta de madera para mantener la temperatura homogénea en el recipiente. Se tomaron dos muestras de 5 mL por cada cambio de temperatura utilizando una pipeta, las cuales se utilizaron posteriormente para la medición de azúcares fermentables y la evaluación fisicoquímica de las características del mosto.

C. INCERTIDUMBRE

Cálculo 12. Determinación de la desviación estándar de los distintos resultados obtenidos

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (x_i - \bar{X})^2}{N}}$$

$$\sigma = 0.0366287231747396$$

El cálculo fue realizado por medio de Excel, en donde, se logró determinar la desviación estándar presente en el rendimiento, producción de azúcares fermentables, análisis granulométrico, entre otros resultados

Cálculo 13. Propagación de error para multiplicaciones y divisiones

$$\Delta\delta = \delta \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$$

La fórmula fue ingresada a Excel para determinar las incertidumbres durante multiplicaciones y divisiones en los cálculos. Tomando en cuenta que X representa un valor con su respectiva incertidumbre y “y” otro valor con su respectiva incertidumbre

D. CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo No. 1 Determinación de media

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{74\% + 76\% + 66.14\%}{3} = 72\%$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar la media de diferentes resultados

Cálculo No. 2 Determinación de la corrección por dilución de muestras de HPLC

$$\text{Azúcar fermentable} \left(\% \frac{p}{v}\right) * 10 = \left(\% \frac{p}{v}\right) \text{azúcares fermentables}$$

Se realizó el mismo cálculo para corregir la concentración de maltosa, glucosa y fructosa.

Cálculo No. 3 Determinación de mol/L de los azúcares fermentables a partir de (%m/v)

$$\left(\frac{\frac{\% \frac{p}{v}}{100}}{PM} \right) * 1000 = Mol/L$$

$$\left(\frac{\frac{0.7254\%}{100}}{180.156 \text{ g/mol}} \right) * 1000 = 0.04026 \text{ Mol/L}$$

Se realizó el mismo procedimiento para los demás azúcares fermentables con el fin de trabajar en una misma dimensional y obtener las gráficas de concentración vs tiempo.

Cálculo No. 4 Determinación del rendimiento de azúcares fermentables

$$\frac{\text{Cantidad de mosto en litros (L)} * 0.96 * \text{Azúcares F.} * \text{Gravedad específico}}{\text{Peso en kg}}$$

$$\frac{40L * 0.96 * 0.19469161 \text{ kg/L} * 1.056}{11.03 \text{ kg}} * 100 = 71.5\%$$

Se realizó el mismo procedimiento para determinar los rendimientos de cada prueba realizada. La ecuación incluía la cantidad final de mosto en litros, un factor de 0.96, la cantidad de azúcares fermentables en kg, gravedad específica y el peso inicial de maltas en kg.

E. DATOS ORIGINALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LAS MALTAS

Cuadro 19. Análisis granulométrico de la malta Pale Ale después de la molienda, primera corrida

No.	% m/m de grano
20	72,08
30	7,59
45	6,64
60	2,80
80	1,95

No.	% m/m de grano
100	0,86
Base	8,08

Nota: Se trabajó en el molino de rodillos del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con una Frecuencia de 50 Hz con una distancia de 2mm de los rodillos. Los resultados fueron obtenidos a una temperatura de 24°C con una presión de 1atm. Las pruebas fueron realizadas con 500g de la malta Pale Ale.

Cuadro 20. Análisis granulométrico de la malta segunda corrida

NO.	% grano
20	72,80
30	7,81
45	6,72
60	2,86
80	2,28
100	1,05
BASE	8,31

Nota: Se trabajó en el molino de rodillos del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con una Frecuencia de 50 Hz con una distancia de 2mm de los rodillos. Los resultados fueron obtenidos a una temperatura de 24°C con una presión de 1atm. Las pruebas fueron realizadas con 500g de la malta Pale Ale.

Cuadro 21. Análisis granulométrico de la malta tercera corrida

No.	% grano
20	72,39
30	7,87
45	6,60
60	3,23
80	2,61

<i>No.</i>	<i>% grano</i>
<i>100</i>	0,66
<i>Base</i>	7,79

Nota: Se trabajó en el molino de rodillos del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala con una Frecuencia de 50 Hz con una distancia de 2mm de los rodillos. Los resultados fueron obtenidos a una temperatura de 24°C con una presión de 1atm. Las pruebas fueron realizadas con 500g de la malta Pale Ale.

RESULTADOS DE MUESTRAS DE HPLC PARA LA EXPERIMENTACIÓN A ESCALA LABORATORIO

Cuadro 22. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa (±0.0001% m/v)	Glucosa (±0.0001% m/v)	Fructosa (±0.0001% m/v)
<i>10</i>	0.134	0	0
<i>20</i>	0.194	0	0
<i>35</i>	0.236	0	0
<i>50</i>	0.368	0	0
<i>80</i>	0.476	0.002	0
<i>110</i>	0.909	0.006	0

Cuadro 23. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
<i>10</i>	0.142	0	0
<i>20</i>	0.224	0	0
<i>35</i>	0.305	0	0
<i>50</i>	0.401	0.004	0
<i>80</i>	0.481	0.034	0.002
<i>110</i>	0.740	0.055	0.003

Cuadro 24. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.110	0	0
20	0.180	0	0
35	0.430	0.004	0
50	0.882	0.007	0
80	0.953	0.015	0
110	1.013	0.017	0

Cuadro 25. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.354	0.002	0
20	0.625	0.041	0
35	0.879	0.073	0
50	0.925	0.124	0.015
80	1.151	0.166	0.042
110	1.356	0.206	0.053

Cuadro 26. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.142	0.114	0
20	0.247	0.167	0.010
35	0.358	0.236	0.013
50	0.709	0.301	0.014
80	1.293	0.332	0.014
110	1.544	0.254	0.014

Cuadro 27. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.263	0.101	0
20	0.366	0.112	0.111
35	0.972	0.216	0.112
50	1.077	0.252	0.116
80	1.162	0.325	0.152
110	1.195	0.358	0.154

Cuadro 28. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.139	0	0
20	0.594	0.045	0
35	1.182	0.124	0
50	1.297	0.162	0
80	1.329	0.209	0
110	1.330	0.238	0

Cuadro 29. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.126	0	0
20	0.472	0.003	0
35	0.639	0.023	0
50	0.953	0.141	0
70	1.174	0.187	0
100	1.199	0.305	0

Cuadro 30. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.119	0	0
20	0.537	0.052	0
35	0.929	0.109	0
50	1.135	0.179	0
80	1.188	0.222	0
110	1.193	0.244	0

Cuadro 31. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.119	0	0
20	0.229	0	0
30	0.277	0	0
40	0.432	0	0
50	0.560	0.002	0
60	1.304	0.007	0

Cuadro 32. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.167	0.019	0
20	0.264	0.031	0
30	0.359	0.042	0
40	0.471	0.055	0
50	0.566	0.066	0
60	0.871	0.102	0

Cuadro 33. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	0.206	0	0
20	0.325	0	0
30	0.441	0.001	0
40	0.580	0.006	0
50	0.696	0.050	0
60	1.071	0.079	0.004

CAMBIOS DE pH DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN A ESCALA LABORATORIO

Cuadro 34. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	47	Proteasa	5.756
20	47	Proteasa	5.568
35	60	Beta Amilasa	5.421
50	60	Beta Amilasa	5.127
80	68	Alfa Amilasa	4.893
110	68	Alfa Amilasa	4.855

Cuadro 35. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	47	Proteasa	5.689
20	47	Proteasa	5.376
35	60	Beta Amilasa	5.237
50	60	Beta Amilasa	5.152
80	68	Alfa Amilasa	4.987
110	68	Alfa Amilasa	4.921

Cuadro 36. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	47	Proteasa	5.617
20	47	Proteasa	5.472
35	60	Beta Amilasa	5.129
50	60	Beta Amilasa	5.077
80	68	Alfa Amilasa	4.991
110	68	Alfa Amilasa	4.86

Cuadro 37. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	51	Proteasa	5.576
20	51	Proteasa	5.387
35	63	Beta Amilasa	5.053
50	63	Beta Amilasa	4.975
80	70	Alfa Amilasa	4.669
110	70	Alfa Amilasa	4.651

Cuadro 38. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	51	Proteasa	5.337
20	51	Proteasa	5.032
35	63	Beta Amilasa	4.871
50	63	Beta Amilasa	4.798
80	70	Alfa Amilasa	4.623
110	70	Alfa Amilasa	4.565

Cuadro 39. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	51	Proteasa	5.514
20	51	Proteasa	5.421
35	63	Beta Amilasa	5.201
50	63	Beta Amilasa	4.978
80	70	Alfa Amilasa	4.741
110	70	Alfa Amilasa	4.604

Cuadro 40. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH
10	51	Proteasa	5.619
20	51	Proteasa	5.438
35	63	Beta Amilasa	5.212
50	63	Beta Amilasa	4.815
80	70	Alfa Amilasa	4.722
110	70	Alfa Amilasa	4.59

Cuadro 41. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH
10	51	Proteasa	5.628
20	51	Proteasa	5.234
35	63	Beta Amilasa	5.042
50	63	Beta Amilasa	4.789
80	70	Alfa Amilasa	4.681
110	70	Alfa Amilasa	4.532

Cuadro 42. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH
10	51	Proteasa	5.582
20	51	Proteasa	5.516
35	63	Beta Amilasa	4.989
50	63	Beta Amilasa	4.782
80	70	Alfa Amilasa	4.633
110	70	Alfa Amilasa	4.573

Cuadro 43. Cambios de pH obtenido en la primera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	67	Proteasa	5.8548
20	67	Proteasa	5.65635
30	67	Beta Amilasa	5.30565
40	67	Beta Amilasa	5.22375
50	67	Alfa Amilasa	4.90245
60	67	Alfa Amilasa	4.88355

Cuadro 44. Cambios de pH obtenido en la segunda corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (±0.01)
10	67	Proteasa	5.60385
20	67	Proteasa	5.2836
30	67	Beta Amilasa	5.11455
40	67	Beta Amilasa	5.0379
50	67	Alfa Amilasa	4.85415
60	67	Alfa Amilasa	4.79325

Cuadro 45. Cambios de pH obtenido en la tercera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	ENZIMA	PH (± 0.01)
10	67	Proteasa	5.7897
20	67	Proteasa	5.69205
30	67	Beta Amilasa	5.46105
40	67	Beta Amilasa	5.2269
50	67	Alfa Amilasa	4.97805
60	67	Alfa Amilasa	4.8342

RESULTADOS DE MUESTRAS DE HPLC PARA CORRIDA EN LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Cuadro 46. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada, realizada en Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.654	0.057	0.016
20	0.847	0.103	0.019
35	1.193	0.158	0.028
50	1.312	0.219	0.049
80	1.574	0.292	0.050
110	1.614	0.342	0.055

Cuadro 47. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada, realizada en Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.498	0.043	0.022
20	0.870	0.061	0.037
35	1.037	0.083	0.038
50	1.229	0.174	0.049
80	1.567	0.246	0.052
110	1.594	0.354	0.057

Cuadro 48. Concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada, realizada en Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	0.492	0.057	0
20	0.845	0.127	0.024
35	1.152	0.114	0.031
50	1.389	0.221	0.042
80	1.216	0.294	0.047
110	1.425	0.328	0.053

F. DATOS CALCULADOS

Cuadro 49. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	1.341	0	0
20	1.948	0	0
35	2.361	0	0
50	3.681	0	0
80	4.764	0.016	0
110	9.093	0.060	0

Cuadro 50. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	1.427	0	0
20	2.249	0	0
35	3.054	0	0
50	4.012	0.045	0
80	4.816	0.346	0.023
110	7.409	0.547	0.029

Cuadro 51. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 1), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	1.105	0	0
20	1.807	0	0
35	4.302	0.035	0
50	8.824	0.074	0
80	9.539	0.147	0
110	10.134	0.173	0

Cuadro 52. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	3.537	0.021	0
20	6.241	0.413	0
35	8.796	0.734	0
50	9.249	1.248	0.148
80	11.510	1.669	0.421
110	13.569	2.067	0.533

Cuadro 53. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	1.416	1.14	0
20	2.472	1.67	0.101
35	3.583	2.36	0.131
50	7.090	3.01	0.135
80	12.929	3.32	0.137
110	15.442	2.54	0.142

Cuadro 54. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 2), realizada en escala laboratorio

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	2.634	1.014	0
20	3.662	1.129	1.11
35	9.722	2.163	1.12
50	10.770	2.526	1.16
80	11.624	3.257	1.52
110	11.956	3.581	1.54

Cuadro 55. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	1.393	0	0
20	5.941	0.456	0
35	11.823	1.247	0
50	12.979	1.623	0
80	13.294	2.091	0
110	13.300	2.382	0

Cuadro 56. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	1.261	0	0
20	4.724	0.034	0
35	6.391	0.229	0
50	9.534	1.411	0
70	11.745	1.872	0

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
100	11.997	3.054	0

Cuadro 57. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración escalonada (Rampa de temperatura No. 3), realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	1.194	0	0
20	5.378	0.521	0
35	9.290	1.098	0
50	11.351	1.793	0
80	11.889	2.227	0
110	11.937	2.443	0

Cuadro 58. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la primera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Glucosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)	Fructosa ($\pm 0.00001\%$ m/v)
10	1.191	0	0
20	2.290	0	0
30	2.775	0	0
40	4.327	0	0
50	5.601	0.019	0
60	13.047	0.071	0

Cuadro 59. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la segunda corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	1.678	0.197	0
20	2.644	0.310	0
30	3.591	0.422	0
40	4.716	0.554	0
50	5.662	0.665	0
60	8.710	1.023	0

Cuadro 60. Corrección por dilución de concentración de azúcares fermentables obtenidos en la tercera corrida del proceso de maceración simple, realizada en escala laboratorio.

Tiempo (min)	Maltosa (±0.00001% m/v)	Glucosa (±0.00001% m/v)	Fructosa (±0.00001% m/v)
10	2.065	0	0
20	3.253	0	0
30	4.419	0.014	0
40	5.804	0.065	0
50	6.968	0.501	0
60	10.719	0.792	0.042

Cuadro 61. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con Rampa de temperatura No. 3.

Rampa de temperatura	No. experimentación	Azúcares Fermentables (g/mL)
3	1	0.156
3	2	0.150
3	3	0.143

Cuadro 62. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con Rampa de temperatura No. 2.

Rampa de temperatura	No. experimentación	Azúcares Fermentables (g/mL)
2	1	0.161
2	2	0.181
2	3	0.170

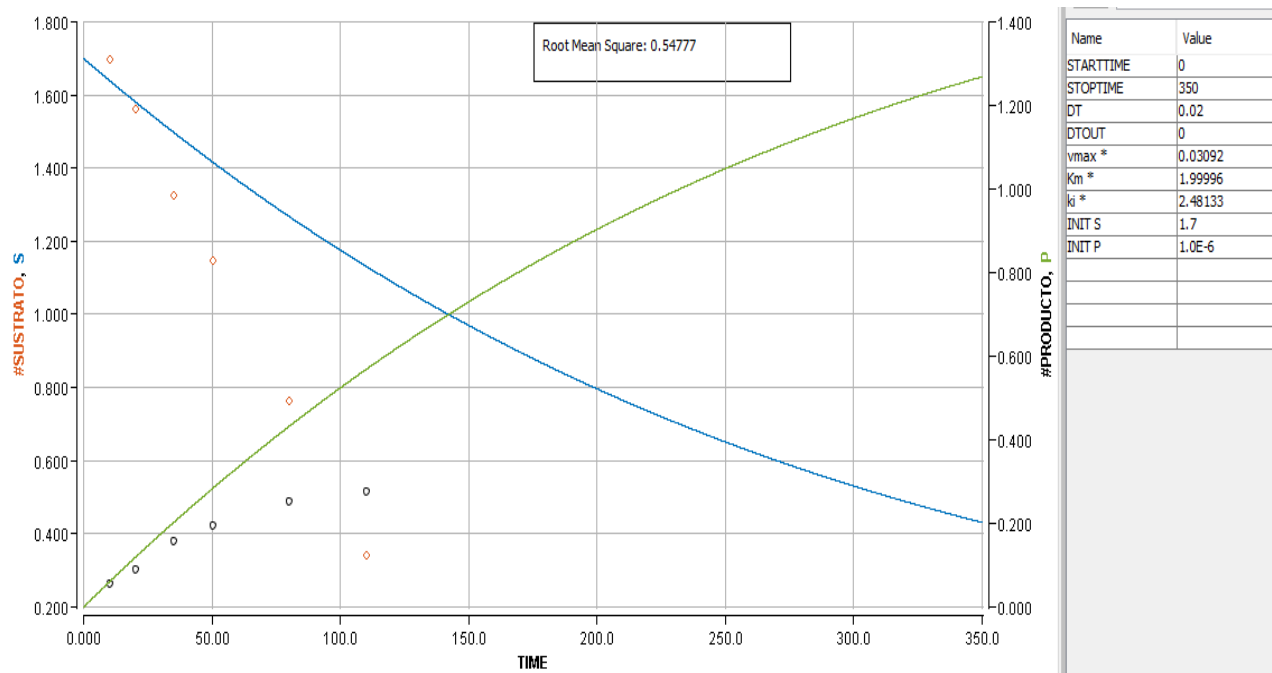
Cuadro 63. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con Rampa de temperatura No. 1.

Rampa de temperatura	No. experimentación	Azúcares Fermentables (g/mL)
1	1	0.091
1	2	0.079
1	3	0.103

Cuadro 64. Azúcares fermentables obtenidos por cada experimentación con una maceración simple.

Tipo de Maceración	No. Experimentación	Azúcares Fermentables (g/mL)
simple	1	0.091
simple	2	0.079
simple	3	0.103

Figura 17. Suavización en Berkeley Madonna del modelo de Michaelis Menten realizado a escala laboratorio con la maceración escalonada trabajado con la rampa de temperatura 2.



Nota: Las líneas son las curvas representativas del modelo, mientras que los puntos son los valores obtenidos de productos y sustratos trabajados en mol/L. En el apartado de la derecha se muestran los parámetros de Km y vmax obtenidos, siendo 1.999 mol/L y 0.03092 mol/min respectivamente.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro 65. Análisis estadístico de varianza para determinar si se encontraba diferencia significativa de los rendimientos obtenidos a diferentes temperaturas.

<i>ORIGEN DE LAS VARIACIONES</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GRADOS DE LIBERTAD</i>	<i>PROMEDIO DE LOS CUADRADOS</i>	<i>F</i>	<i>PROBABILIDAD</i>	<i>VALOR CRÍTICO PARA F</i>
ENTRE GRUPOS	0.153301821	3	0.051100607	26.4813921	0.000165966	4.066180551
DENTRO DE LOS GRUPOS	0.015437438	8	0.00192968			

<i>ORIGEN DE LAS VARIACIONES</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GRADOS DE LIBERTAD</i>	<i>PROMEDIO DE LOS CUADRADOS</i>	<i>F</i>	<i>PROBABILIDAD</i>	<i>VALOR CRÍTICO PARA F</i>
TOTAL	0.168739259	11				

Cuadro 66. Prueba T student para comparar diferencia significativa entre las dos temperaturas con los rendimientos más altos.

	<i>Rampa de temperatura No. 3</i>	<i>Rampa de temperatura No. 2</i>
Media	0.150351667	0.17124242
Varianza	4.24499E-05	9.55724E-05
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-3.07992484	
P(T<=t) una cola	0.027069556	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T<=t) dos colas	0.054139111	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

7. DATOS DE PLACA DE LOS EQUIPOS

Cuadro 67. Datos de placas de equipos e instrumentos

Equipo / instrumento	Rango	Precisión	Marca	Modelo	Especificaciones
Molino de rodillo	0-60hz	-	Talleres Hernández	N499	Voltaje 220V

Equipo / instrumento	Rango	Precisión	Marca	Modelo	Especificaciones
Balanza analítica	0.0001g – 2000g	±0.0001g	OHAUS	V31XH2	Voltaje 110V
Balanza Móvil	1 kg – 150 kg	±0.01kg	OHAUS	T31P	Voltaje 110V
Termocupla	0-200°C	0.01°C	Extech	TM25	-
Probeta	2L	±20ml	-	-	Material: Polietileno
Potenciómetro	0-14 pH	0.01pH	OHAUS	St 20	-
Refractómetro digital	1.000 – 1.130 SG	0.001 SG	AICHOSE	-	-
Tamices	850 µm – 150 µm	-	W.S Tyler	ASTME – 11 Specifications	-

8. CROMATOGRAMAS

Figura 18. Resultados de HPLC a escala planta piloto corrida 1

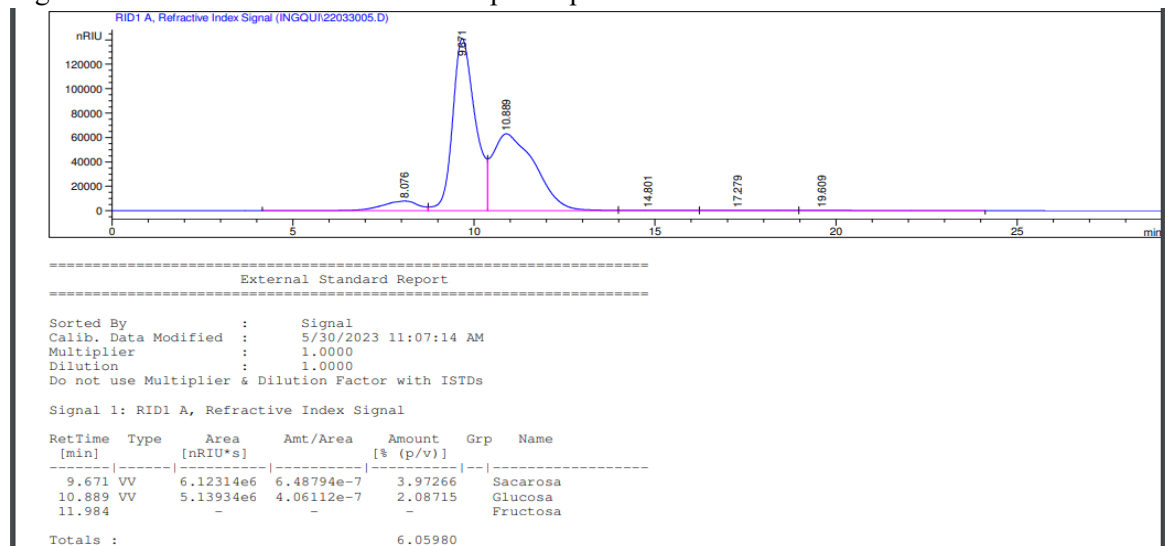


Figura 19. Resultados HPLC escala planta piloto corrida 2

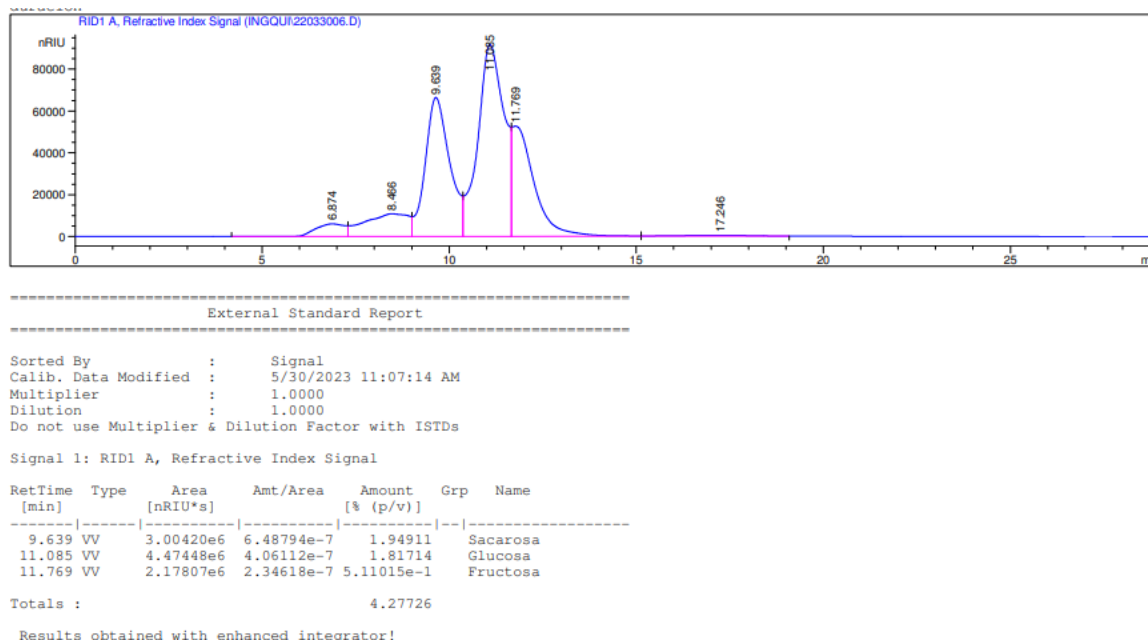


Figura 20 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 3

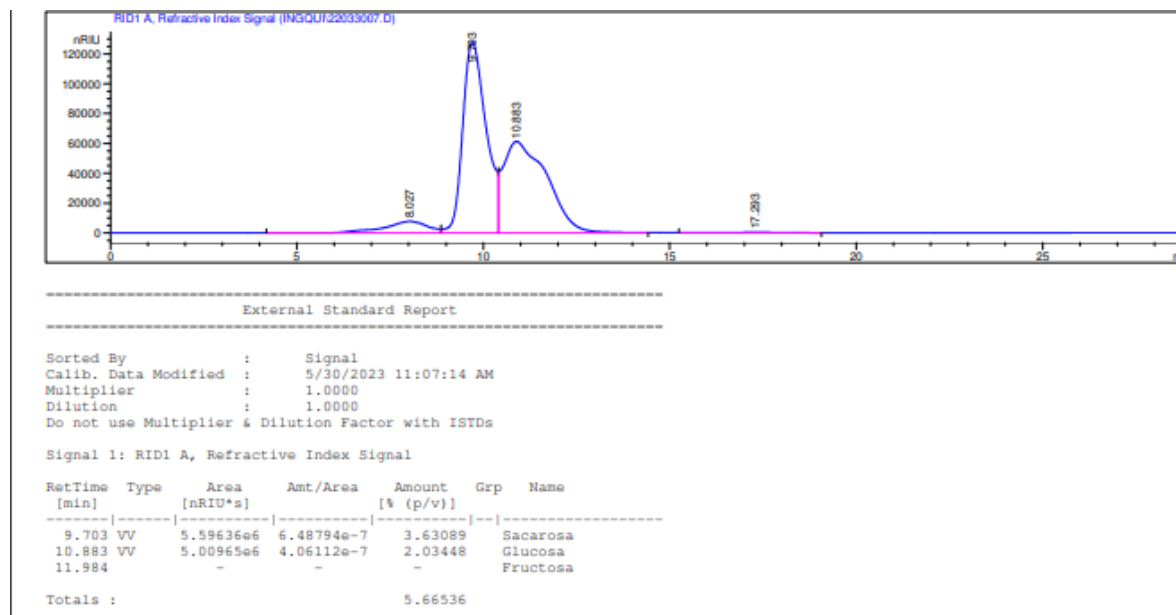


Figura 21. Resultados HPLC escala planta piloto corrida 4

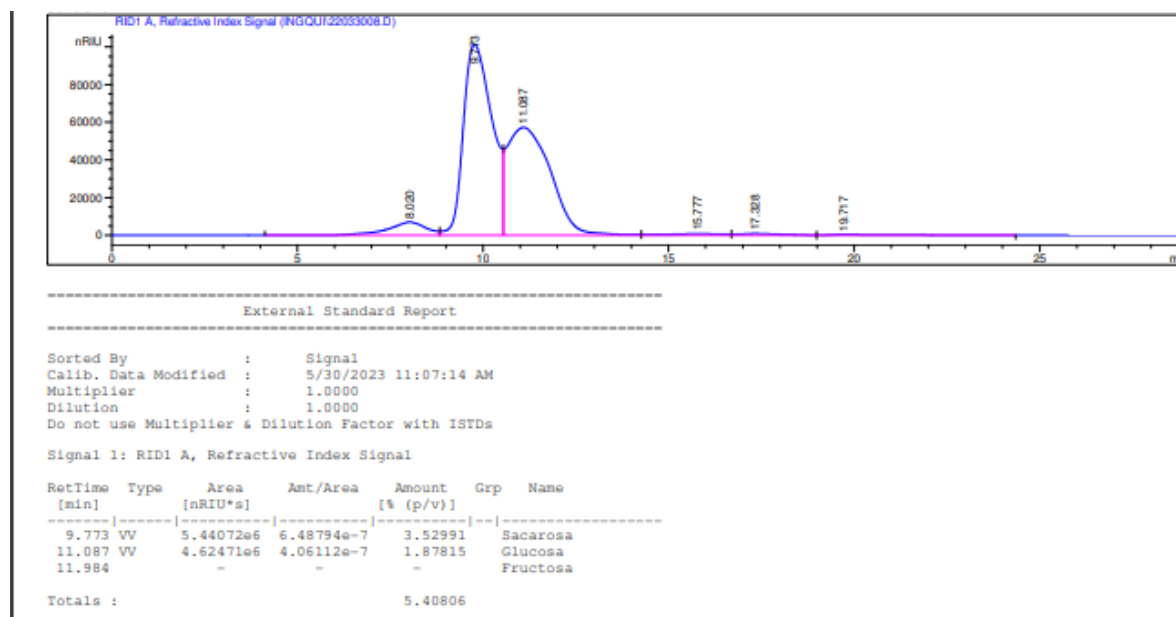


Figura 22 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 5

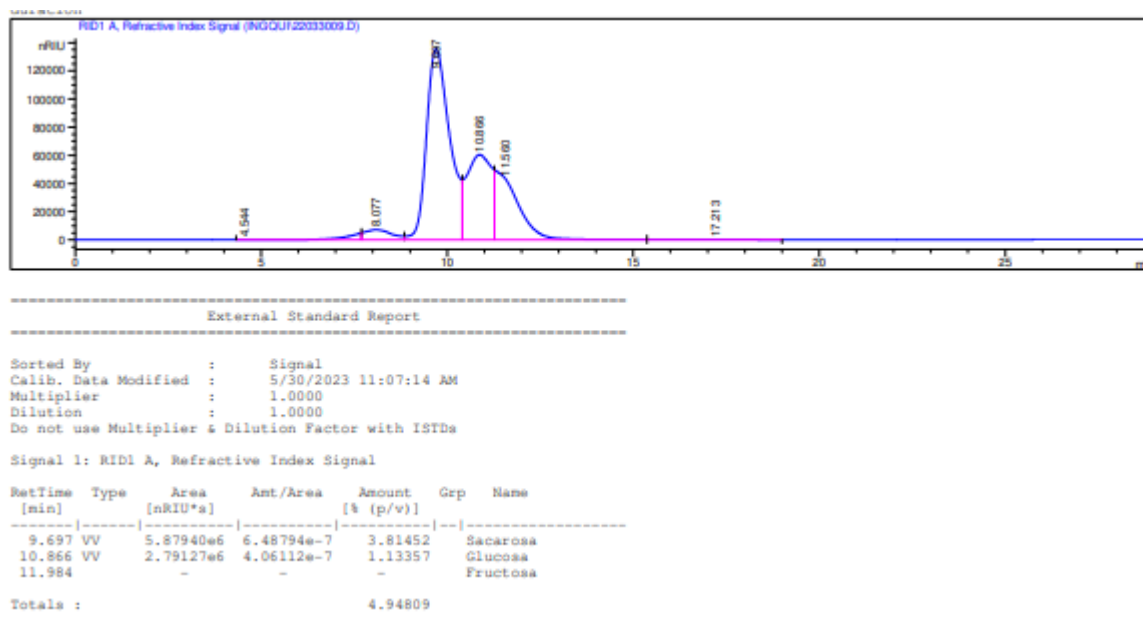


Figura 23 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 6

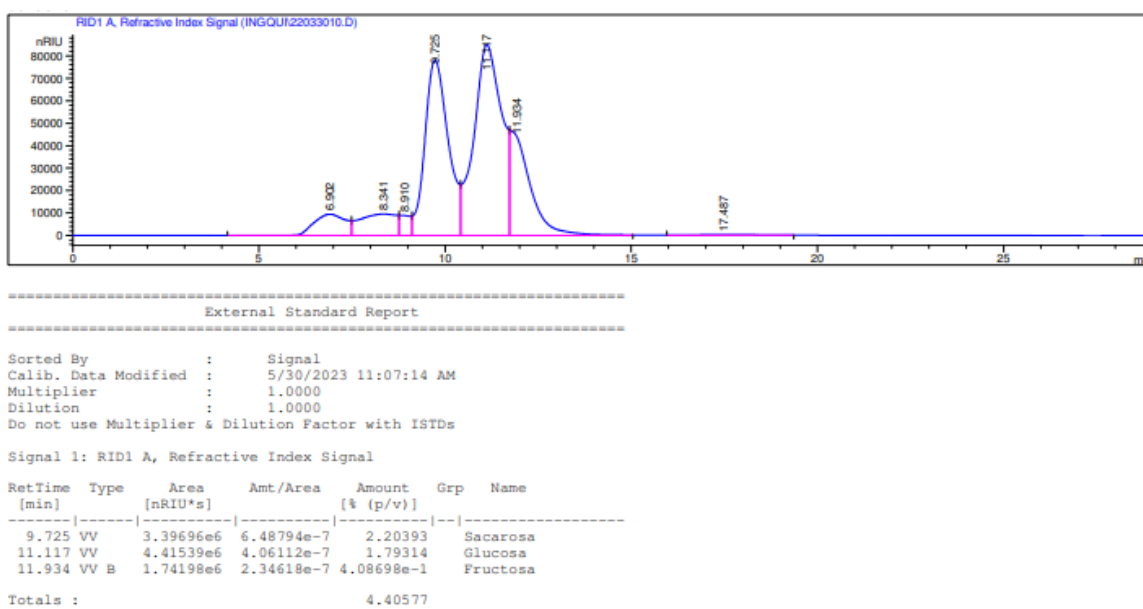


Figura 24 Resultados HPLC escala planta piloto corrida 7

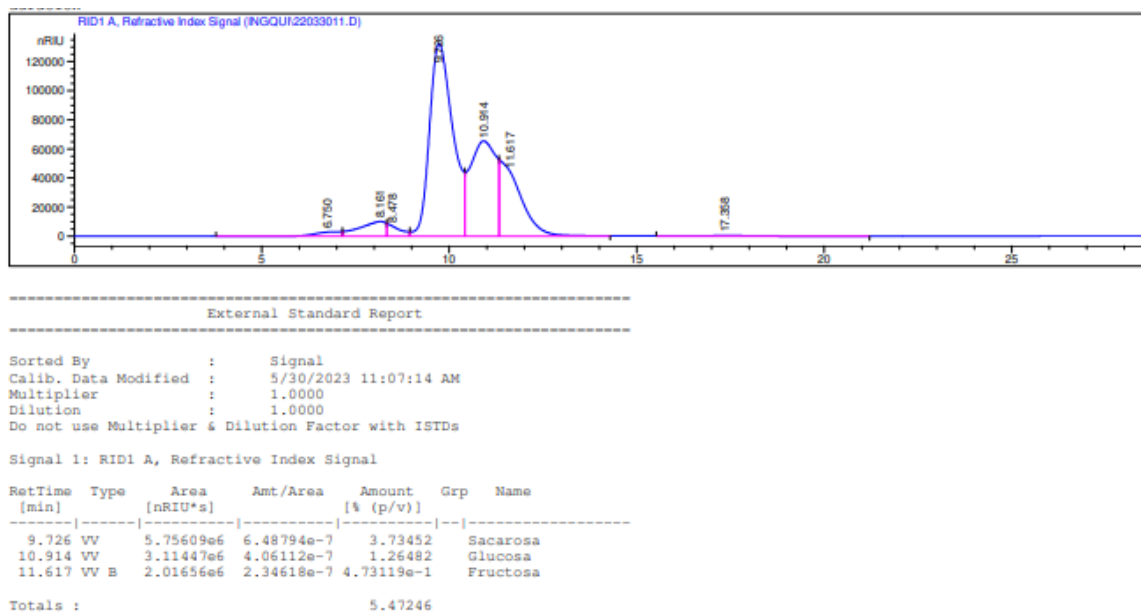


Figura 25. Curva de calibración de azúcares fermentables

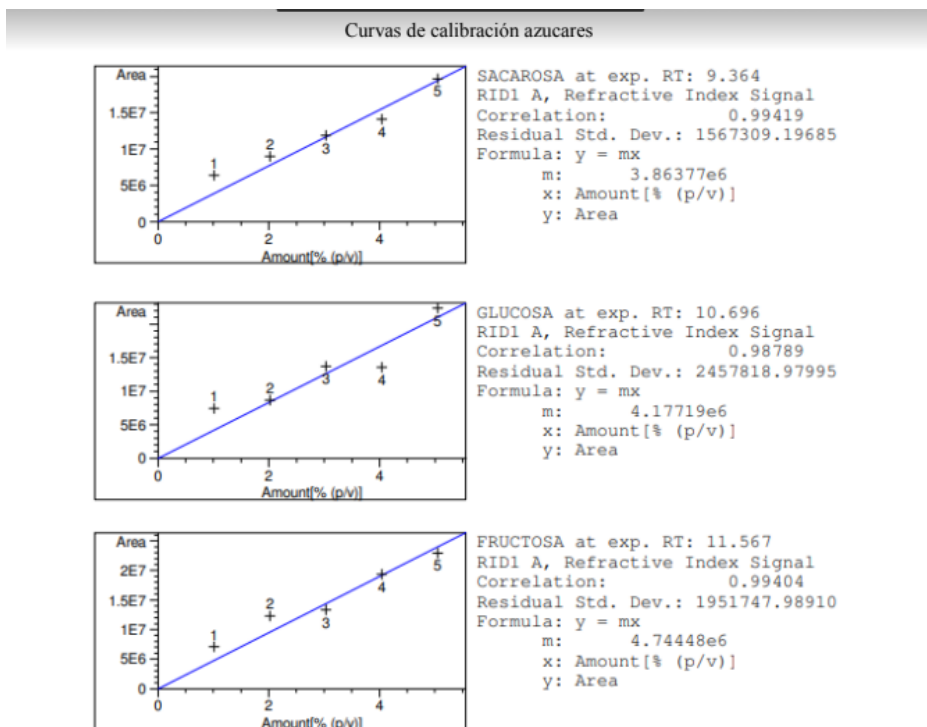
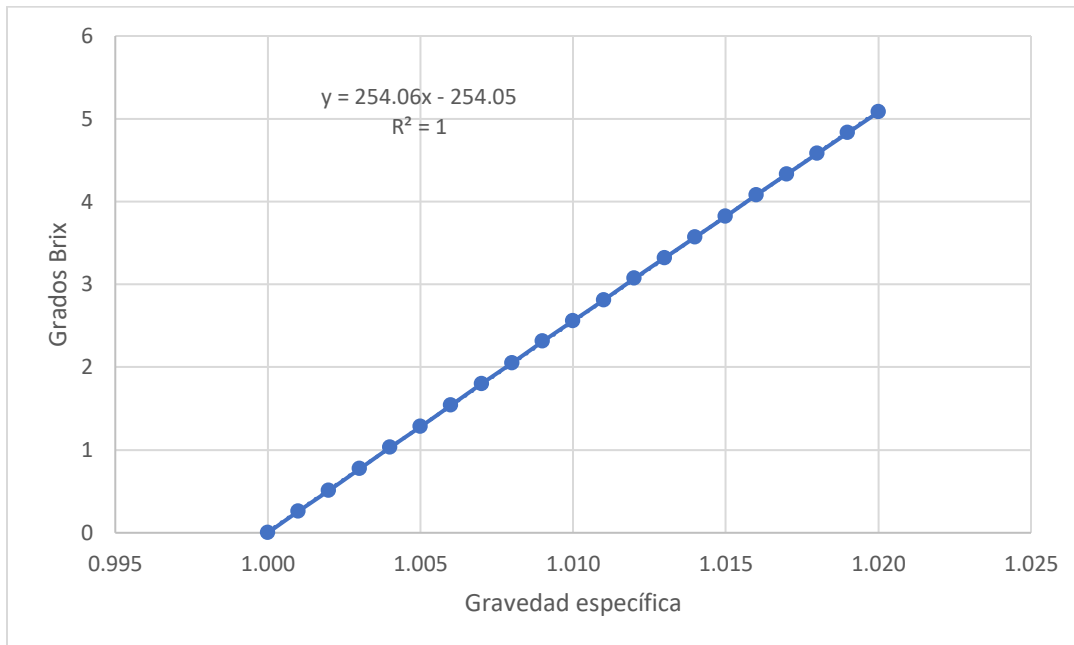


Figura 26 Curva de relación entre Grados brix y Gravedad específica



COMPLEMENTO DE METODOLOGÍA PARA REALIZAR CERVEZA

Cocción

1. Se añadió la malta macerada al tanque principal y se aumentó la temperatura a 80°C utilizando caldera pequeña acoplada al sistema. Se añadió la primera porción de lúpulo *cascade* (69g)
2. Al pasar media hora de haber iniciado se agrega el restante del lúpulo *cascade* (131g) por la parte superior del reactor y agitar a una frecuencia de 8 a 10 Hz.
3. Se mantuvo un tiempo de cocción de 1 h.

Sedimentación

1. Se dejó enfriar el mosto y el fermentador para realizar una filtración utilizando el filtro 3 del sistema. Luego de realizar la filtración, se recirculó la mezcla al fermentador para la remoción de materia suspendida.

Fermentación

2. Se ajustó la temperatura de mezcla de 15 a 20°C utilizando agua fría que circulará por la chaqueta del reactor. El agua fue enfriada por medio del chiller.
3. Se agregaron 23 g de levadura al reactor y se agitó por una hora manteniendo una temperatura a 20 °C para inocular la levadura
4. La agitación se quitó al pasar 30 mins y se dejó fermentar por un tiempo de 7 a 10 días manteniendo la temperatura de 20°C.

Filtrado

1. Se filtró el fermentado utilizando los demás filtros acoplados al sistema.

Maduración

2. Se ajustó la temperatura de la mezcla a 4°C utilizando agua fría que circuló por la chaqueta del reactor. Se utilizó el chiller para conseguir el agua fría, pero también se añadieron hielos para alcanzar la temperatura deseada
3. La maduración se llevó a cabo durante un tiempo de 7 días.

Carbonatación y envasado

1. Se autoclavearon las botellas de cerveza a 121°C por 30 minutos a 15 psi.
2. Se añadieron 5g azúcar/ L de cerveza y 1g de levadura/ L de cerveza al tanque donde se encuentra la cerveza y se agitó.
3. En botellas de 355 mL previamente esterilizadas, se añadieron 300 mL de cerveza a cada botella.
4. Luego, fueron selladas las botellas con la ayuda de un taponador de botellasy se dejaron en refrigeración durante 5 días.
5. A los 5 días se pasteurizaron las botellas, colocándolas en agua a una temperatura de 80°C por 20 minutos cada botella.

9. FOTOGRAFÍAS

Figura 27 Molino de doble rodillo del laboratorio de *Operaciones Unitarias* de la Universidad del Valle de Guatemala



Figura 28, Control de temperatura durante la maceración escalonada en el laboratorio de operaciones unitarias

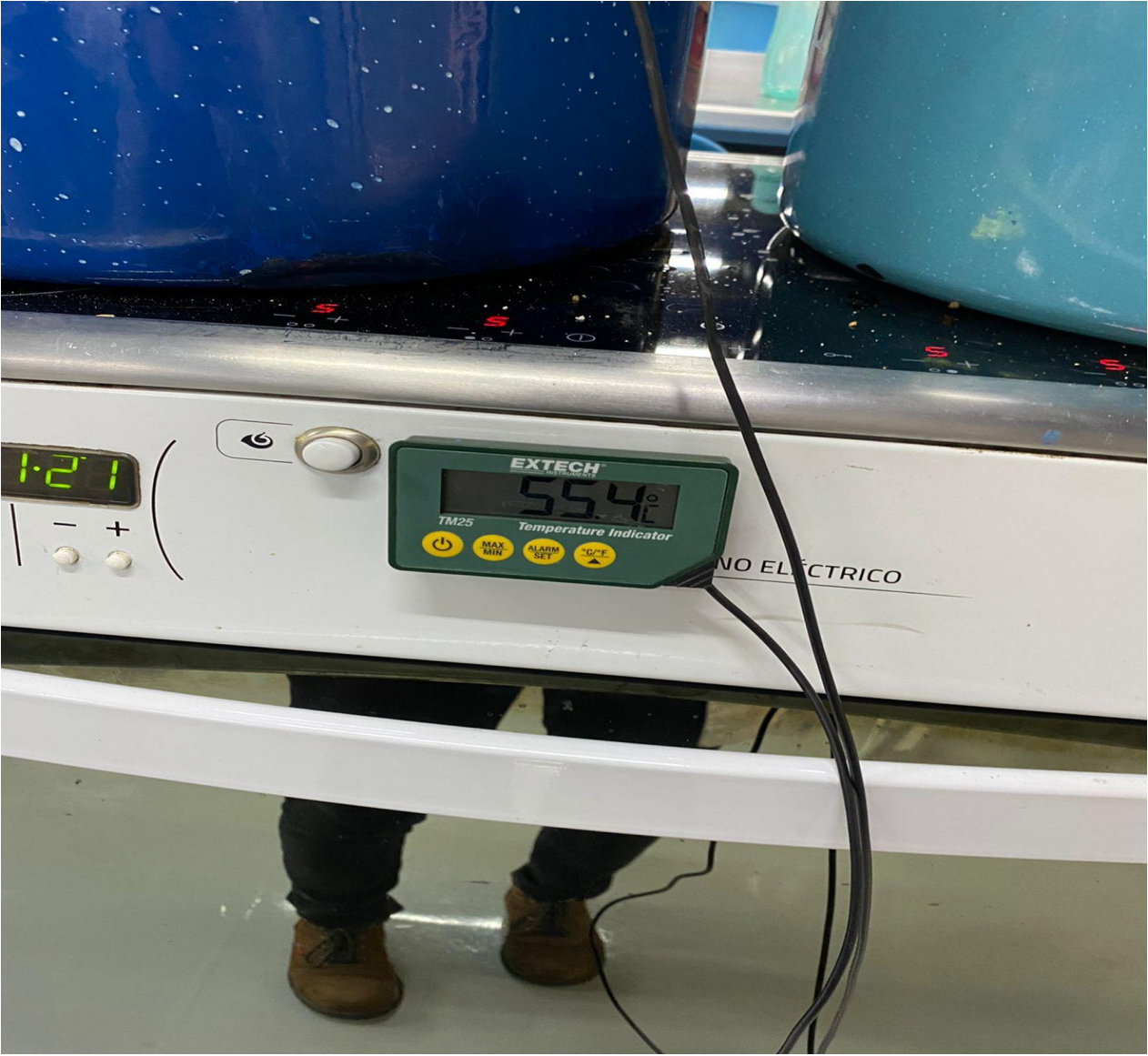


Figura 29. Control de temperatura de la maceración en el Laboratorio de Operaciones Unitarias



Figura 30. Control de temperatura de la maceración en el Laboratorio de Operaciones Unitarias



Figura 31. Certificado de análisis de la malta Pale Ale por Patagonia Malt

CERTIFICADO

PATAGONIA PALE ALE

I. INFORMACION DEL LOTE

N° de Lote	222832002021
Fecha Producción	11-07-2022
Fecha Vencimiento	11-07-2024

II. CALIDAD FISICOQUIMICA

Parámetro	Unidad	Resultado de Análisis	Especificación
Humedad	%	4,0	≤ 5,5
Extracto Fino s.s.	%	80,8	≥ 78
Diferencia de extracto	%	0,8	≤ 2,0
Proteína Total	%	10,0	9,0 – 12,5
Proteína Soluble	%	3,9	3,5 – 6,0
Poder Diastásico	°WK	270	≥ 250
Saccharificación	mm	9	≤ 15
Color del Mosto	EBC	7,2	5,5 – 7,5
Color del Mosto Hervido	EBC	9,5	7,5 – 9,5
Filtración del Mosto	mm	43	≤ 60
Nitrógeno soluble	mg/100g	630	560 – 950
Índice Kolbach	%	39,5	37 – 47
Hartong VZ 945	%	43	-
EAN	mg/l	151	≥ 120
pH		5,00	≥ 5,0
Viscosidad	cP	1,52	≤ 1,65
Friabilidad	%	83,0	≥ 83
Mallaje > 2,8 + 2,5 mm	%	95,8	≥ 85
Mallaje < 2,2 mm	%	2,0	≤ 3,0


III. DURACIÓN
 La duración de la Malta es de 24 meses desde su fecha de producción, almacenada en un lugar fresco, seco, limpio, libre de plagas y de aromas extraños. (Temperatura máxima sugerida 30° C)



Bruno J. González Luenzo
 Jefe de Control de Calidad
Bgonzalez@malteco.com
www.malteco.com



Figura 32. Certificado de Análisis de malta Cara Blond realizada por Castle Malting



Maltas Belgas que Hacen Sus Cervezas Tan Especiales

ESPECIFICACIÓN

CHÂTEAU CARA BLOND® Cosecha 2022

PARÁMETROS	Unidad	Min	MÁX
Humedad	%		8.5
Extracto (base seca)	%	78.0	
Color del mosto	EBC(Lov.)	17 (6.9)	24 (9.6)
pH			6.0

Propiedades

Malta pálida tipo caramelo belga. Germina a una temperatura elevada. El sabor se desarrolla a una temperatura de hasta 220 °C. Aroma intenso.

Características

La malta Château Cara Blond® proporciona un aroma suave y dulce a caramelo así como un color dorado a la cerveza. Una característica distintiva de todas las maltas caramelo es su naturaleza vidriada. Este endospermo vidriado genera los componentes no fermentables adecuados que otorgan a las verdaderas maltas caramelo la capacidad de contribuir a la sensación en boca, la espuma, la retención de la espuma y la duración de la estabilidad de la cerveza.

Uso

Lagers ligeras, ales ligeras, con poco o nada de alcohol, cervezas blancas. Hasta el 30% de la mezcla.

Almacenamiento y tiempo de caducidad

La malta debe almacenarse en un lugar limpio, fresco (< 22 °C), seco (< 35 RH %) y sin plagas. En estas condiciones, recomendamos utilizar todos los productos de grano en un plazo de 24 meses a partir de la fecha de producción y todos los productos molidos en un plazo de tres meses. Las maltas almacenadas incorrectamente pueden perder su frescor y sabor.

Embalaje

A granel; A granel en Liner Bag en contenedor; Sacos (25 kg, 50 kg); Big bags (400-1.250 kg). Todos los tipos de embalaje en contenedores de 20' o 40' para las exportaciones.

IMPORTANTE

Nosotros garantizamos para todas nuestras maltas una trazabilidad de 100% desde el campo de cebada a través del proceso de producción de la malta hasta la entrega según el Reglamento (CE) n° 178/2002 con respeto a la trazabilidad de los productos alimenticios.

Todas nuestras maltas son fabricadas según el método tradicional de fabricación de la malta que dura de 8 a 10 días lo que constituye una sólida garantía de alta modificación de los granos y de la calidad superior de las maltas Premium.

Nuestras maltas son fabricadas en estricta conformidad con la Legislación con respecto a la utilización de los OGM que prohíbe la producción de la malta obtenida a partir de cebada genéticamente modificada dentro de Reglamento (CE) no 1829/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo.

Nuestra producción está en estricta conformidad con las normas HACCP (Hazard Analyses of Critical Control Points) en vigor.

Nuestras maltas no sobrepasan los valores límite de los índices admisibles de pesticidas, herbicidas, micotoxinas y nitrosaminas según las normas de la UE e internacionales.

Las entregas de nuestras maltas están efectuadas exclusivamente para transportadores compulsados GMP.

Sobre nuestro sitio www.castlemalting.com vosotros podéis visualizar e imprimir los boletines de análisis de la malta suministrada.

La Malterie du Château SA (Castle Malting)
 Sede administrativo: Rue de Mons (Bel) 94, 7170 Bevel, Bélgica; Distribution Center: Rue de l'Orbette 1, 7011 Ghlin (Mons), Bélgica; Sito de producción: Rue de

Figura 33. Certificado de análisis de la malta Caramel por Patagonia Malt

CERTIFICADO

CAMEL 55 L/150 EBC

I.- Información General

Caramel 55L/150 EBC es un producto 100% natural, elaborada a partir de la malta verde. En su proceso de tostación se realiza una verdadera caramelización de los azúcares, desarrollando sabores, aromas y colores únicos.

II.- Calidad

Apta para consumo humano y libre de sustancias dañinas o tóxicas.

III.- Calidad Sensorial

Apariencia : Grano friable, color café dorado brillante
 Aroma : Agradable, más intenso que la malta Pilsen, dulce
 Sabor : Agradable, dulce, acaramelado

IV.- Calidad Físico - Química

ANÁLISIS	UNIDAD DE MEDICIÓN	RESULTADOS DE ANÁLISIS	ESPECIFICACIÓN
Lote	---	MC-211208	
Fecha de Fabricación	---	08.12.2021	
Humedad	%	3.5	Máx. 7.0
Color	EBC	156	130-170
Extracto fino s.s.	%	78.7	Mín. 65

V.- Duración

En envase original, saco de polipropileno, 24 meses desde su fecha de producción, almacenada en un lugar fresco, seco, limpio, libre de plagas y de aromas extraños. (Temperatura máxima sugerida 30° C).



Bruno González Luengo
 Jefe de Control de Calidad
brunoz@malteson.com
www.malteson.com

28 de septiembre de 2022



PATAGONIAMALT
 Sabor del Sur del Mundo

Figura 34. Certificado de análisis de la malta Munich por Patagonia Malt

CERTIFICADO

PATAGONIA MUNICH

I. INFORMACION DEL LOTE

Nº de Lote	221832002020
Fecha Producción	05-05-2022
Fecha Vencimiento	05-05-2024

II. CALIDAD FISICOQUIMICA

Parámetro	Unidad	Resultado de Análisis	Especificación
Humedad	%	3,6	≤ 7,0
Extracto Fino s.s.	%	79,3	≥ 70
Diferencia de extracto	%	2,0	-
Proteína Total	%	11,3	9,0 – 12,5
Proteína Soluble	%	4,3	-
Poder Diastásico	°WK	-	-
Sacarificación	min	14	≤ 15
Color del Mosto	EBC	27	25 – 35
Color del Mosto Hervido	EBC	38	-
Filtración del Mosto	min	50	-
Nitrógeno soluble	mg/100g	688	-
Índice Kolbach	%	38,0	-
Hartong VZ °45	%	39,0	-
FAN	mg/l	180	-
pH	-	5,9	-
Viscosidad	cP	1,58	-
Friabilidad	%	68,0	-
Mallaje > 2,8 + 2,5 mm	%	96,4	-
Mallaje < 2,2 mm	%	1,5	-

III. DURACIÓN

La duración de la Malta es de 24 meses desde su fecha de producción, almacenada en un lugar fresco, seco, limpio, libre de plagas y de aromas extraños. (Temperatura máxima sugerida 30° C)



Bruno J. González Luengo
 Jefe de Control de Calidad
Br Gonzalez@maltesco.com
www.maltesco.com



PATAGONIA MALT
 Flavors from the end of the Earth

10. GLOSARIO

Ácidos Alfa: familia de resinas presentes en el lúpulo conocidas como humulonas que son responsables de su amargor y sus propiedades antibacterianas.

Ácidos Beta: refieren principalmente nos referimos a tres compuestos: la lupulona, la colupulona y la adlupulona, todas ellas resinas blandas del lúpulo con escaso poder de amargor, reaccionan fácilmente ante la presencia de oxígeno, oxidándose con facilidad y pudiendo llegar a proporcionar sabores no deseados en la cerveza.

Aditivos: son las enzimas, conservantes y antioxidantes que se añaden para simplificar el proceso de elaboración de la cerveza o prolongar su duración y conservación.

Amilolisis: proceso por el cual el almidón es convertido en azúcar.

Atenuación: grado en el que la levadura consume los azúcares fermentables y los convierte en alcohol y dióxido de carbono. Esta parte del proceso de elaboración de la cerveza es muy importante dado que indica la velocidad de fermentación y el contenido final de alcohol de la cerveza.

Calado: proceso de dispensación de la cerveza desde un tanque, barril o barrilete a través de una bomba de mano, la presión de una bomba de aire o inyectando dióxido de carbono, en el contenedor de cerveza. Se realiza antes del sellado y embotellado.

Cebado o priming: adición de azúcar en la etapa de maduración, para promover una segunda fermentación.

Cocción: proceso en el que se agrega el amargor característico de la cerveza, además de asegurar un medio donde se encuentre la levadura que posteriormente se inoculó.

Enzimas: son catalizadores que se encuentran naturalmente en el grano. Cuando se calienta en la mezcla, convierten los almidones de la cebada malteada en maltosa, un azúcar utilizado en la disolución y que se fermenta para hacer la cerveza.

Gravedad específica final : peso específico de una cerveza cuando la fermentación se completa (es decir, todos los azúcares fermentables han sido fermentados).

IBU: International Bitterness Units (unidades internacionales de amargor). es un sistema para indicar el amargor del lúpulo en la cerveza terminada.

Lúpulo: hierba añadida al hervir el mosto o en la fermentación de la cerveza, para impartir un aroma y sabor amargos.

Maceración: proceso en el que las enzimas promovidas por la temperatura y el pH del medio hidrolizan el almidón de los granos.

Malteado: es el proceso por el cual la cebada se empapa en agua, germina, y luego es secada al horno, para convertir el almidón insoluble en una sustancia soluble y en azúcar. La malta es un ingrediente base de la cerveza.

Mosto: solución de azúcares obtenidos tras mezclar y moler la malta, se le aromatiza con lúpulo y posteriormente se fermenta. Se denomina mosto por su sabor dulce y la ausencia de alcohol en él.

Saccharomyces cerevisiae: levaduras de fermentación alta que se usan para la elaboración de cervezas Ale.

Termocambiador: un dispositivo mecánico utilizado para reducir rápidamente la temperatura del mosto.

Turbidez: enturbiamiento causado por la precipitación de un compuesto formado por proteína-tanino a bajas temperaturas, no afecta al sabor.