

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO
FERMENTATIVO EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL TIPO
BLONDE ALE**

**SANTIAGO ANDRÉS BARRANCO GARCÍA
GISELL NATALIA VILLARREAL CÓRDOBA**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
Ingeniero Químico**

Director

Oscar Libardo Lombana Charfuelan

MEng. Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Oscar Libardo Lombana Charfuelan

Firma del Director

Nombre

Firma del Presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá D.C. Agosto de 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García – Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectora de Academia y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio César Fuentes Arismendi

Directora del Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi familia, en especial a mi madre Luz Ángela, a mis abuelos Gilma y Guillermo y a mis hermanos Daniel y Sofía por su apoyo incondicional, por su esfuerzo durante estos años y el amor siempre demostrado para conmigo. Han sido años de lucha y trabajo para cumplir este objetivo, culminando con un gran aprendizaje, llegando a este punto gracias a la responsabilidad y valores inculcados desde siempre por mi familia, les agradezco y este es un logro no solo personal sino de todos, alcanzando un objetivo más dentro de muchos por conseguir.

SANTIAGO ANDRÉS BARRANCO GARCÍA

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado especialmente a mis padres, quienes me han inculcado siempre el valor del estudio y quienes con su esfuerzo y dedicación hoy tienen una profesional, a mis abuelos por su apoyo incondicional y a mi hermana por estar siempre conmigo y ser esa dosis de diversión y felicidad diaria. Doy fin a esta etapa de mi vida entregándole a mi familia este proyecto como un logro de ellos, fruto de los valores inculcados, siendo ésta la primera de muchas otras metas por conseguir.

GISELL NATALIA VILLARREAL CÓRDOBA

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecemos a nuestras familias por su acompañamiento y apoyo incondicional durante estos años de estudio, por su dedicación, esfuerzo y responsabilidad buscando siempre un futuro mejor para nosotros, todo esto es por ellos, ya que sin su apoyo y consejos no estaríamos aquí en este momento.

Un especial agradecimiento a la Fundación Universidad de América por su trabajo, por la atención e instalaciones prestadas para el beneficio de sus estudiantes y por la educación brindada durante estos años, al profesor Oscar Libardo Lombana por la excelente dirección en el desarrollo de este trabajo, a la profesora Diana Morales por transmitirnos sus conocimientos en temáticas esenciales para desarrollar este proyecto y asimismo a todos los docentes que nos enseñaron a ser mejores estudiantes y excelentes profesionales.

Un sincero agradecimiento a la cervecería Terra Cruz y a la Ingeniera Sandra Rangel por colaborar con nosotros en el desarrollo de este proyecto, por transmitirnos su conocimiento de la industria cervecera y por prestarnos sus instalaciones para culminar de manera exitosa nuestro proyecto de grado.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	17
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. MARCO TEÓRICO	21
1.1. ¿Qué es la cerveza?	21
1.2. Diferencia entre cerveza artesanal y cerveza industrial	21
1.3. Materias Primas	23
1.3.1. Agua	24
1.3.2. Cebada	25
1.3.3. Lúpulo	25
1.3.4. Levadura	26
1.4. Proceso de Elaboración	26
1.4.1. Molienda	26
1.4.2. Maceración	27
1.4.3. Filtración del mosto	28
1.4.4. Proceso de hervido, Whirlpool y enfriamiento del mosto	29
1.4.5. Fermentación	29
1.4.6. Maduración	30
1.4.7. Embotellado	30
1.5. Tipos de Cervezas	31
1.5.1. Cerveza tipo Lager	31
1.5.2. Cerveza tipo Ale	32
1.6. Descriptores de la cerveza artesanal	35
1.7. Etapas de crecimiento microbiano	37
1.7.1. Fase Lag o fase de adaptación	37
1.7.2. Fase logarítmica o exponencial	37
1.7.3. Fase estacionaria	38
1.7.4. Fase de muerte	38

1.8. Parámetros cinéticos	38
1.8.1. <i>Velocidad de crecimiento de la biomasa</i>	38
1.8.2. <i>Velocidad de formación de producto</i>	39
1.8.3. <i>Velocidad de consumo de sustrato</i>	40
1.8.4. <i>Rendimiento biomasa en función del sustrato ($Y_{X/S}$)</i>	40
1.8.5. <i>Rendimiento biomasa en función del producto ($Y_{X/P}$)</i>	41
1.8.6. <i>Constante de sustrato (K_S), velocidad de crecimiento específica máxima ($\mu_{m\acute{a}x}$) y tiempo de duplicación (t_D)</i>	41
2. GENERALIDADES, FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA CERVEZA BLONDE ALE EN LA CERVECERIA TERRA CRUZ	
BLONDE ALE EN LA CERVECERIA TERRA CRUZ	43
2.1. Formulación de la cerveza Blonde Ale	43
2.1.1. <i>Cantidad de maltas</i>	43
2.1.2. <i>Cantidad de lúpulos</i>	47
2.1.3. <i>Cantidad de levadura</i>	50
2.1.4. <i>Cantidad de agua</i>	50
2.2. Elaboración de la cerveza artesanal Blonde Ale	51
2.2.1. <i>Molienda</i>	53
2.2.2. <i>Maceración</i>	55
2.2.3. <i>Hervido</i>	58
2.2.4. <i>Whirlpool</i>	60
2.2.5. <i>Enfriamiento del mosto</i>	61
2.2.6. <i>Fermentación</i>	62
2.2.7. <i>Maduración</i>	65
2.2.8. <i>Carbonatación</i>	65
2.2.9. <i>Envasado y embalaje</i>	65
2.3. Equipos Adicionales	70
3. METODOLOGÍA	72
3.1. Determinación de solidos disueltos	72
3.2. Densidad y grado de alcohol (%ABV)	74
3.3. Concentración de biomasa (levadura)	75
3.3.1. <i>Siembra en placa Petrifilm 3M</i>	76

3.3.2. <i>Siembra en caja de Petri</i>	78
3.4. Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales del producto final	81
4. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO ETANOL/SUSTRATO DEL PROCESO FERMENTATIVO EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL BLONDE ALE	82
4.1. Cálculo del rendimiento etanol / sustrato	82
4.1.1. <i>Rendimiento del Fermentador 1</i>	83
4.1.2. <i>Rendimiento del Fermentador 2</i>	84
4.2. Análisis de resultados	85
5. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL CRECIMIENTO DE BIOMASA EN CADA PROCESO FERMENTATIVO	91
5.1. Temperatura	91
5.2. Análisis de resultados	92
6. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS PARA CADA DESEMPEÑO FERMENTATIVO ENCONTRADO	98
6.1. Velocidad de formación de etanol (productividad)	98
6.1.1. <i>Fermentador 1 (F1)</i>	99
6.1.2. <i>Fermentador 2 (F2)</i>	100
6.2. Velocidad de consumo de sustrato	100
6.2.1. <i>Fermentador 1 (F1)</i>	101
6.2.2. <i>Fermentador 2 (F2)</i>	101
6.3. Rendimientos experimentales	102
6.3.1. <i>Fermentador 1 (F1)</i>	103
6.3.2. <i>Fermentador 2 (F2)</i>	103
6.4. Velocidad de crecimiento de biomasa	104
6.4.1. <i>Fermentador 1 (F1)</i>	104
6.4.2. <i>Fermentador 2 (F2)</i>	104
6.5. Velocidad específica máxima de crecimiento ($\mu_{\text{máx}}$), constante de sustrato (Ks) y tiempo de duplicación (td)	105
6.5.1. <i>Fermentador 1 (F1)</i>	105
6.5.2. <i>Fermentador 2 (F2)</i>	107

6.6. Análisis de resultados	107
6.6.1. Velocidad de formación de etanol (r_p)	107
6.6.2. Velocidad de consumo de sustrato ($-r_s$)	109
6.6.3. Rendimientos experimentales ($Y_{X/S}$, $Y_{X/P}$)	110
6.6.4. Velocidad de crecimiento de la biomasa (r_x)	111
6.6.5. Velocidad específica máxima de crecimiento ($\mu_{m\acute{a}x}$)	112
6.6.6. Constante de sustrato (K_s) y tiempo de duplicación (t_d)	114
7. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICOQUÍMICOS Y SENSORIALES DEL PRODUCTO FINAL	115
7.1. Análisis microbiológicos	115
7.2. Análisis físicoquímico	118
7.3. Análisis sensorial	120
7.3.1. Consumidores comunes	121
7.3.2. Maestros Cerveceros	125
8. CONCLUSIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	140

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de bloques de la producción de cerveza artesanal	31
Figura 2. Rango de color para la cerveza Blonde Ale	34
Figura 3. Curva de crecimiento microbiano	37
Figura 4. Malta Bestmalz – BEST Pilsen	44
Figura 5. Malta Bestmalz – BEST Caramel Pils	45
Figura 6. Malta Bestmalz – BEST Caramel Munich II	45
Figura 7. Perfil aromático del lúpulo Bravo	47
Figura 8. Perfil aromático del lúpulo Cascade	48
Figura 9. Filtros del agua	52
Figura 10. Tren de cocción – fermentación	53
Figura 11. Pesaje de maltas	54
Figura 12. Molienda de las maltas	54
Figura 13. Grano de malta molido	55
Figura 14. Etapa de maceración	56
Figura 15. <i>Mirilla de vidrio del macerador</i>	57
Figura 16. Afrecho o bagazo	57
Figura 17. Indicador de temperatura de la olla de cocción	58
Figura 18. Cocción del mosto	59
Figura 19. Adición del lúpulo	60
Figura 20. Temperatura final del mosto	61
Figura 21. Fermentadores	62
Figura 22. Termostato	63
Figura 23. Tablero de control	63
Figura 24. Inoculación de levadura	64
Figura 25. Desinfección de botellas	66
Figura 26. Ubicación de botellas en embotelladora	67
Figura 27. Botellas llenas	68
Figura 28. Tapado de botellas	68

Figura 29. Embalaje de botellas	69
Figura 30. Diagrama de proceso	69
Figura 31. Chiller	70
Figura 32. Intercambiador de calor de placas	71
Figura 33. Refractómetro digital	72
Figura 34. Tabla de equivalencias °Brix - °Plato – Gravedad específica	73
Figura 35. Toma de la densidad	75
Figura 36. Placas 3M Petrifilm para recuento de hongos y levaduras	76
Figura 37. Incubación de placas Petrifilm	78
Figura 38. Preparación del medio de cultivo	79
Figura 39. Esterilización del material	80
Figura 40. Inoculación en cajas de Petri	80
Figura 41. Gráfica de °Brix contra tiempo	85
Figura 42. Gráfica de alcohol contra tiempo (%ABV)	86
Figura 43. Grafica de alcohol corregido contra tiempo	86
Figura 44. Gráfica de °Plato contra tiempo	87
Figura 45. Gráfica de temperatura contra tiempo	91
Figura 46. Placas 3M Petrifilm	92
Figura 47. Cajas de Petri con medio de cultivo	92
Figura 48. Crecimiento de biomasa en el fermentador 1	95
Figura 49. Crecimiento de la biomasa en el fermentador 2	95
Figura 50. pH durante la fermentación	113
Figura 51. Placas Petrifilm para recuento de E.coli y coliformes	116
Figura 52. Placas Petrifilm para recuento de mesófilos	117
Figura 53. Resultado pregunta 1	121
Figura 54. Resultados pregunta 2	122
Figura 55. Resultados pregunta 3	122
Figura 56. Resultados pregunta 4	123
Figura 57. Resultados pregunta 5	124
Figura 58. Resultados pregunta 6	125

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Caracterización de la cerveza artesanal e industrial	23
Tabla 2. Aguas de referencia	24
Tabla 3. Rangos para la activación de enzimas específicas	28
Tabla 4. Parámetros característicos de cervezas tipo Ale	34
Tabla 5. Descriptores organolépticos	36
Tabla 6. Cantidad de malta requerida en el proceso	46
Tabla 7. Características y cantidades de los lúpulos formulados	49
Tabla 8. Propiedades finales de la cerveza	51
Tabla 9. Contenido de extracto de malta	88
Tabla 10. Concentración de biomasa	94
Tabla 11. Porcentaje de alcohol de cada fermentación	99
Tabla 12. Concentración de sustrato y densidad global	100
Tabla 13. Concentración de biomasa, sustrato y etanol en la fase de crecimiento	102
Tabla 14. Concentración de sustrato y velocidad de crecimiento específica (μ) en fase de crecimiento	106
Tabla 15. Parámetros cinéticos de cada fermentación	107
Tabla 16. Requisitos microbiológicos de la cerveza	115
Tabla 17. Resultados de análisis microbiológico	118
Tabla 18. Requisitos de la cerveza	118
Tabla 19. %ABV del producto obtenido	119
Tabla 20. Resultados del análisis fisicoquímico	120
Tabla 21. Resultados evaluación sensorial	126
Tabla 22. Guía de calificación según BJCP	127

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Plano cervecería terra cruz	141
Anexo 2. Ficha técnica de malta base pilsen	142
Anexo 3. Ficha técnica malta caramel pils	143
Anexo 4. Ficha técnica malta caramel munich II	144
Anexo 5. Ficha técnica lúpulo bravo	145
Anexo 6. Ficha técnica lúpulo cascade	146
Anexo 7. Ficha técnica levadura	147
Anexo 8. Evaluacion sensorial juez Wilmar (F1)	148
Anexo 9. Evaluación sensorial juez Wilmar (F2)	149
Anexo 10. Evaluación sensorial juez Jorge (F1)	150
Anexo 11. Evaluación seensorial juez Robert (F2)	151
Anexo 12. Evaluación sensorial juez Diego (F1)	152
Anexo 13. Evaluación sensorial juez Diego (F2)	153
Anexo 14. Evaluación sensorial juez Sandra (F1)	154
Anexo 15. Evaluación sensorial juez Sandra (F2)	155
Anexo 16. Recomendaciones	156

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
ABV	Alcohol por volumen
BJCP	Beer Judge Certification Program
IBUs	Unidades Internacionales de Amargor
HLT	Hot Liquor Tank
OG	Gravedad Original
FG	Gravedad Final
ml, L	Mililitro, Litro
g, kg	Gramo, Kilogramo
h	Hora
SC	<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>
F1	Fermentación a temperatura ambiente
F2	Fermentación a temperatura constante(18°C)
°C	Grados Celsius
UFC	Unidades formadoras de colonia
Yp/s	Rendimiento producto/sustrato
Yx/p	Rendimiento biomasa/producto
Yx/s	Rendimiento biomasa/sustrato
-rs	Velocidad de consumo de sustrato
S	Concentración de sustrato
rp	Velocidad de formación de etanol
P	Concentración de etanol
rx	Velocidad de crecimiento de biomasa
X	Concentración de biomasa
μ_{max}	Velocidad específica máxima de crecimiento
Ks	Concentración de sustrato limitante del crecimiento
td	Tiempo de duplicación

RESUMEN

El proyecto se enfocó en el análisis de la temperatura en la etapa de fermentación. Para su desarrollo, se definió la producción de una cerveza ale tipo *blonde ale*, se prepararon 280 L de mosto a base de tres tipos de malta, Pilsen, caramunnich II y carapils; dos tipos de lúpulo, cascade y bravo, y una levadura del género *Saccharomyces Cerevisiae Safeale US-05* como microorganismo fermentador. El mosto se caracterizó con una densidad de 1,049 g/ml, pH de 5,26 y 13,9°brix, y se llevó a fermentación durante 7 días, evaluando dos casos simultáneos: en el primer caso, la fermentación se llevó a cabo de manera no isotérmica (temperatura variable) (F1) y en el segundo (F2) se controló la temperatura de fermentación (proceso isotérmico) a 18°C.

Se compararon ambos casos midiendo variables como consumo de sustrato, formación de etanol, crecimiento y comportamiento de la concentración de biomasa, algunos parámetros cinéticos en la etapa de fermentación y, se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales del producto final.

Como resultados para el caso F2 se determinó un mayor rendimiento producto/sustrato (Y_p/s) de 0,42 $g_{\text{etanol}}/g_{\text{sustrato}}$, comparando con el caso F1 que alcanzó un Y_p/s de 0,402 $g_{\text{etanol}}/g_{\text{sustrato}}$. En cuanto al crecimiento de biomasa, en F1 la concentración máxima de levadura es de $2,3 \times 10^6$ UFC/ml, mientras que en F2 es menor, de $1,7 \times 10^6$ UFC/ml, pero en este caso tuvo un comportamiento más estable durante la fermentación. Como parámetros cinéticos, la velocidad de consumo de sustrato ($-r_s$) es mayor en F1, con un $-r_s$ de 0,605 g/Lh, mientras en F2 es de 0,590 g/Lh y la velocidad específica máxima de crecimiento (μ_{max}) es mayor en el caso F2, con una μ_{max} de $0,758 \text{ h}^{-1}$, mientras en F1 toma un valor de $0,749 \text{ h}^{-1}$. Estos parámetros descritos y evaluados en el proyecto presentaron mejores resultados en el proceso isotérmico (F2), concluyendo que el control de la temperatura resulta en mayor calidad, rendimientos y eficiencias para las condiciones y tipo de fermentación empleadas.

En cuanto al producto final, la cerveza del caso F1 tiene un grado alcohólico de 4,13%ABV, mientras la cerveza del caso F2 de 4,72%ABV, valores que se encuentran dentro del rango BJCP para una cerveza *blonde ale*. En general los consumidores y maestros cerveceros evaluaron ambos productos como “muy buenos”, sin embargo, la cerveza del proceso fermentativo sin control térmico (F1) obtuvo un menor puntaje por la desviación en la parte aromática debida a la generación de componentes indeseados en este fermentador por los cambios constantes en la

temperatura. En los productos finales se evidencia una afectación directa de la temperatura, debido al control térmico en la fermentación de la cerveza F2, se obtiene una mayor concentración de etanol y unas características sensoriales más estables y acordes al estilo trabajado en el producto final.

Palabras clave: Bioprocesos, fermentación, *blonde ale*, temperatura, isotérmico, *Saccharomyces Cerevisiae*, Y_p/s , μ_{max} , características sensoriales.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto surge de una oportunidad encontrada en el proceso fermentativo empleado por la cervecería Terra Cruz en la producción de la cerveza estándar tipo *Blonde Ale* en el cual, se pretende evaluar el efecto que tiene la temperatura sobre el proceso de fermentación, buscando la posibilidad de una mejora en el producto final que se entrega a los consumidores.

Para ello, se llevó a cabo la producción en planta de 280 litros de cerveza artesanal *Blonde Ale*. El proceso de fermentación tuvo una duración de 7 días, tiempo en el cual se tomaron muestras diarias con el fin de poder analizar la mayor cantidad de parámetros como temperatura usando termómetros de mercurio, pH por medio del pH-metro, consumo de sustrato realizando mediciones de °Brix, alcohol formado a través del cálculo de la diferencia de densidades, las cuales fueron medidas por medio de picnómetros y concentración de biomasa usando las técnicas de siembra en placa *Petrifilm* y siembra en cajas de Petri, con el fin de poder calcular el rendimiento de etanol en función del sustrato y poder tener un seguimiento de variables fisicoquímicas durante la fermentación.

Se analizaron los parámetros cinéticos para *Saccharomyces cerevisiae*, con el fin de identificar el desempeño fermentativo que la biomasa obtuvo dentro del mosto bajo las condiciones de temperatura a las cuales fue sometida.

Por último, el comportamiento de la biomasa durante la fermentación tiene un efecto directo sobre el producto final obtenido, por ende, se realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos para garantizar que la cerveza fuera apta para el consumo humano y, análisis sensorial para identificar la aceptación del producto dentro del estilo *Blonde Ale* según los jueces cerveceros y así mismo, la aceptación del producto por parte de los consumidores comunes, con el fin de evaluar el efecto de la temperatura en la fermentación sobre la calidad sensorial del producto.

Se concluye finalmente que el proceso desarrollado de forma isotérmica tiene mejores resultados sobre la fermentación dado que se obtiene un mayor rendimiento respecto a la producción de etanol. Por otro lado, el desempeño fermentativo de la biomasa entrega mejores resultados en cuanto a parámetros cinéticos se refiere y así mismo, sensorialmente se obtiene un mejor producto, más acorde a las características del estilo planteado.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la temperatura en el proceso fermentativo para la elaboración de cerveza artesanal tipo *Blonde Ale*.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar el rendimiento etanol/sustrato de cada proceso fermentativo.
2. Evaluar el efecto de la temperatura en el crecimiento de la levadura durante cada proceso fermentativo.
3. Determinar los parámetros cinéticos para cada desempeño fermentativo encontrado para *Saccharomyces Cerevisiae*.
4. Realizar análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales del producto final.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realiza una descripción del proceso que se lleva a cabo para la elaboración de la cerveza empezando desde las materias primas, seguido de cada una de las etapas de producción y finalizando con los tipos de cerveza existentes para hacer énfasis en la cerveza tipo *Blonde Ale*, la cual es de importancia para el desarrollo del presente trabajo.

Adicionalmente, se realiza una revisión bibliográfica de las etapas de crecimiento de los microorganismos y se investigan algunos parámetros cinéticos involucrados en los procesos fermentativos anaerobios.

1.1. ¿Qué es la cerveza?

La cerveza es una bebida alcohólica obtenida del proceso fermentativo de un mosto rico en azúcares; es un producto derivado de cereales y granos malteados, generalmente cebada o trigo y otros menos comunes como el sorgo, verduras con almidón y centeno; otras materias primas o ingredientes utilizados son agua, lúpulo y una cepa de levadura [1].

Es también considerada una bebida carbonatada refrescante y nutritiva, rica en minerales y vitaminas; que además tiene otros constituyentes incluidas hierbas, amino ácidos y verduras o frutas crudas que proporcionan beneficios a la salud además de su valor nutricional [2].

En tiempos pasados, los sumerios, babilonios y egipcios descubrieron esta sencilla bebida a partir de cereales húmedos que germinaban, y con la adición de agua daba lugar a una fermentación alcohólica espontánea y así se elaboró la cerveza [2]. En esa época era consumida para mejorar la nutrición en humanos, y en otras actividades como prácticas religiosas y en tratamiento de enfermedades. En la actualidad existen cantidad de estilos y tipos de cerveza, dependiendo del proceso productivo y de la materia prima usada [1].

1.2. Diferencia entre cerveza artesanal y cerveza industrial

La cerveza a nivel general, está elaborada con 4 materias primas básicas que son el agua, lúpulo, cebada y levadura. Sin embargo, la diferencia entre los dos grandes grupos de cerveza artesanal y cerveza industrial radica básicamente en su proceso de producción.

Por un lado, la cerveza industrial tiene 3 características representativas: son de poco sabor, se sirve fría y, generalmente es producida por alguna empresa multinacional [3]. Este tipo de cerveza

contiene dentro de sus componentes conservantes, otros cereales o aditivos como el arroz o el maíz y lleva un proceso adicional de pasteurización. La estructura de estas cervezas es estándar y básica en cuanto a sabor se refiere. Adicionalmente, el objetivo que mantienen por ser producto de multinacionales o de grandes empresas es aumentar sus ventas y posicionar marcas [4].

Por otro lado, la cerveza artesanal cuenta con características muy opuestas a las mencionadas en el párrafo anterior. En primer lugar, esta cerveza no tiene estabilizantes, aditivos ni ningún tipo de conservantes. En cuanto a sabor y aroma, estas cervezas se identifican por tener una amplia variedad de presentaciones, texturas, colores, aspectos particulares que cada cervecero decide añadir a su fórmula de tal manera de llamar la atención de sus consumidores, otorgando en cada cerveza un producto único [5]. A diferencia del objetivo que maneja las cervecerías industriales, las cervezas artesanales buscan infundir en sus clientes su propia marca y estilo personal, además de posicionarse en el mercado, buscan entregar una experiencia diferente a los consumidores [4].

La **Tabla 1** muestra a continuación las principales diferencias entre la cerveza artesanal e industrial.

Tabla 1.*Caracterización de la cerveza artesanal e industrial*

Característica	Artisanal	Industrial
Ingredientes	Ingredientes naturales, sin presencia de aditivos ni conservantes	Se pasteuriza y contiene conservantes
Producción	Tiene más cantidad de pruebas piloto y existe heterogeneidad en el proceso de producción	Ingredientes y procesos económicamente viables. Homogeneidad en el proceso de producción
Elaboración	Es esencial la participación del maestro cervecero	Proceso automático y participación humana mínima
Espuma	Espesa	Liviana
Filtrado	Químico, pero sin dosificación. No resta calidad	Químico. Puede destruir levaduras o proteínas de la cerveza. Resta sabor, calidad y aroma
Aroma	Más concentrado por su fermentación	Suave
Características inherentes al producto	Mayor sabor, gusto y aroma	Mayor contenido artificial
Mercado/Distribución	Local y de proximidad. Circuitos cortos de comercialización	Global

Nota. Esta tabla describe las diferencias puntuales entre la cerveza artesanal y la cerveza industrial. Tomado de: J. Llanos, “Cerveza artesanal versus cerveza industrial: Un análisis de las preferencias de los jóvenes universitarios en Mar del Plata,” *Univ. Nac. Mar del Plata*, vol. 1, p. 16, 2020, [En línea]. Disponible en: <http://nulan.mdp.edu.ar/3350/1/llanos-2020.pdf>.

1.3. Materias Primas

La cerveza es una bebida alcohólica resultante de un proceso de fermentación obtenida a partir agua, malta de cebada, lúpulo y levadura. Cada uno de estos componentes permite tener un

producto caracterizado principalmente por su sabor, aroma, textura y color de acuerdo a cada uno de los estilos definidos. [5]

De acuerdo a esto, a continuación, se describen cada una de las materias primas anteriormente mencionadas.

1.3.1. Agua

Existen diferentes tipos de agua para la fabricación de cerveza de acuerdo al país de origen. La composición del agua influencia de sobre manera el estilo de cerveza que será producido ya que, por ejemplo, agua con altos niveles de sulfatos de calcio y magnesio son adecuadas para producir cervezas amargas estilo Pale – Ale mientras que las cervezas tipo Pilsen se componen de aguas más livianas que contienen pequeñas cantidades de iones, excepto carbonatos.

La **Tabla 2** a continuación, presenta las características que debe tener el agua para la fabricación de cerveza en algunas ciudades.

Tabla 2.

Aguas de referencia

Ciudad	Contenido en ppm de agua					
	Ca ²⁺	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻
Burton	268	275	36	62	54	638
Dortmund	225	221	60	40	60	120
Dublín	119	156	19	4	10	53
Londres	90	82	10	6	22	24
Múnich	75	148	2	18	2	10
Pilsen	7	14	5	2	2	5

Nota. Esta tabla presenta la concentración de algunos iones en diferentes tipos de agua empleada en la producción de cerveza. Tomado de: J. J. Fl, B. Tutores, L. Francisco, y V. Arenas, “Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería Química Planta de acondicionamiento de agua para fabricación de cerveza artesanal.”, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/proyectos/objetos/proyecto157.pdf>.

La gran cantidad de sulfatos que debe contener el agua para la ciudad de Burton incrementan el sabor de los lúpulos en la cerveza. Por otro lado, la baja cantidad de sulfatos y minerales en el agua de Pilsen ayuda a equilibrar el amargor del lúpulo. Para Londres y Dortmund, la gran cantidad de carbonatos presentes permite el balance de propiedades acidificantes de la malta oscura. Las características del agua en Múnich generan un aroma a malta dominante mientras que, en Dublín, el perfil del agua entrega cervezas más oscuras y con mayor amargor. [6]

Entre los parámetros más importantes a controlar está el pH, el cual debe ser de 7 para obtener mejores rendimientos en la transformación de almidones en azúcares fermentables. Adicionalmente, la dureza, la cual se mide por la concentración de cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} , también es importante dado que el calcio es un alimento imprescindible para el desarrollo de la levadura; este compuesto debe tener una concentración mínima de 50 ppm para poder tener buenos resultados. De igual manera, iones como el magnesio son importantes ya que en concentraciones entre 10 y 20 ppm generan un buen sabor, los sulfatos originan cervezas marcadas por su amargor, el sodio favorece el cuerpo y aumenta el sabor a malta de la misma. Por lo contrario, la cantidad de metales como el hierro o el cobre debe ser baja o nula para no afectar a la levadura. [6]

1.3.2. Cebada

La cebada es uno de los cereales cerveceros más utilizados para esta industria ya que, según Gisbert (2016) “es de los más ricos en almidón y posee las proteínas suficientes para asegurar el alimento y desarrollo idóneos de la levadura” [7]. Sin embargo, cabe resaltar que no se puede utilizar cualquier tipo de cebada dado que no todas tienen las propiedades óptimas para ser malteadas. En cuanto a sus características físicas, el grano debe ser grueso, parejo, su cascarilla debe ser fina y debe estar completamente inocuo para ser utilizado. En cuanto a sus características bioquímicas, el grano debe estar en la capacidad de absorber adecuadamente el agua de tal manera que pueda germinar rápida y uniformemente para poder producir la mayor cantidad de malta posible. [7]

1.3.3. Lúpulo

El lúpulo es una flor que proviene de la planta *Humulus lupulus*. Siendo uno de los componentes principales dentro de la elaboración de la cerveza, el lúpulo contribuye al sabor, aroma y amargor al producto en mención, mejora la formación de espuma y adicionalmente, tiene propiedades antibacterianas que ayudan a mantener a la cerveza fresca durante un largo tiempo. [7]

Esta flor contiene una diversidad de compuestos químicos como celulosa, ligninas, proteínas, lípidos, resinas como los alfa – ácidos y aceites esenciales, siendo estos dos últimos componentes importantes en el sabor y amargor. [8]

Normalmente, la adición de esta flor se realiza durante en el proceso de cocción para lograr un buen aroma y un sabor amargo que contraste con el dulzor del mosto [5]. El lúpulo no se añade una sola vez, sino que según el estilo de cerveza que se quiera obtener, se añaden progresivamente las distintas variedades [6]. Por ejemplo, durante la evaporación del mosto 10 minutos antes del final del hervor, se realiza una práctica llamada *late – hopping* o *dry – hopping*, la cual consiste en añadir el lúpulo en los recipientes de fermentación o directamente en los toneles después de la fermentación. A esto se le denomina técnicas de lupulado [9].

1.3.4. Levadura

La levadura cumple un papel importante en la producción de bebidas alcohólicas ya que, de acuerdo a la cepa utilizada y la composición del mosto dependerá el carácter final de la cerveza. Según el tipo de cepa empleada, las levaduras se pueden clasificar para este caso en 2 grupos, las que trabajan a temperaturas cálidas entre 16 – 22°C conocidas como *Saccharomyces cerevisiae*, tradicionalmente usadas en la elaboración de cerveza tipo Ale. Este microorganismo utiliza como fuente de nitrógeno el amonio, la urea y los aminoácidos presentes en el mosto. Se caracteriza principalmente por tener una alta fermentación, es decir, una vez finaliza el proceso de fermentación la levadura sube hacia la cima del recipiente y es recogida para procesos posteriores. Por otro lado, se encuentra la especie *Saccharomyces carlbergensis*, un híbrido entre las especies *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces bayanus*. Esta levadura fermenta a temperaturas más bajas (6 – 16°C). Son utilizadas para cervezas tipo lager que a diferencia del tipo ale, una vez finaliza la fermentación, la levadura se deposita en el fondo del fermentador [7].

1.4. Proceso de Elaboración

Para llevar a cabo la elaboración de la cerveza, existen una serie de etapas que se deben llevar a cabo de manera correcta ya que, cada uno depende del anterior. Para obtener un producto de calidad es indispensable un buen manejo y desarrollo de cada uno de estos procesos.

1.4.1. Molienda

En la obtención de cerveza, primero se requiere la elaboración de un mosto rico principalmente en azúcares y nutrientes con el fin de que funcione como sustrato para la levadura.

Para obtener el mosto, primero se debe moler la malta con el objetivo de separar el grano (endospermo) de la cáscara ya que en el grano es donde se encuentra el almidón el cuál será hidrolizado en etapas siguientes de tal manera que las enzimas puedan degradar los azúcares de éste almidón (maltosa) en moléculas más pequeñas como la glucosa [7]. Es importante mantener durante esta etapa el mejor estado posible de la cáscara de malta de tal manera que se abra, pero sin procesarla en exceso para evitar pulverizarla ya que estas partículas finas podrían generar obstrucciones en etapas posteriores.

1.4.2. Maceración

La etapa de la maceración es una de las etapas más importantes durante el proceso de elaboración de cerveza ya que de aquí se obtiene el extracto de malta [6].

En esta etapa se mezcla el producto resultante de la molienda con agua (previamente tratada) a una temperatura entre 60 – 70°C con el objetivo de activar algunas enzimas en la malta gracias a las altas temperaturas, para hidrolizar el almidón en azúcares fermentables como maltosa y glucosa. La temperatura a emplear depende de los rangos de temperatura en que se activan las diferentes enzimas durante la producción de cerveza [10].

En la **Tabla 3** se puede identificar, según la función de cada enzima específica, que es de especial interés la beta amilasa debido a la producción de azúcares fermentables ya que, de allí se obtendrá el alcohol durante la fermentación. Adicionalmente, la enzima alfa amilasa a pesar de que produce azúcares poco fermentables, es de gran importancia ya que le aportan la sensación de cuerpo a la cerveza [10]. Esta enzima también reduce rápidamente la viscosidad del empaste logrando lo que se conoce como licuefacción del mosto. [8]

Tabla 3.*Rangos para la activación de enzimas específicas.*

Enzima	Rango óptimo de temperatura (°C)	Función
Fitasa	30 – 52	Bajar el pH del mosto
Beta glucanasa	36 – 45	Reduce la viscosidad del mosto y mejora la clarificación
Peptidasa	46 – 57	Produce amino nitrógeno libre, esencial para la levadura
Proteasa	46 – 57	Rompe proteínas grandes y reduce la turbiedad
Beta amilasa	54 – 65	Produce azúcares de cadena corta, altamente fermentables
Alfa amilasa	68 – 75	Produce azúcares de larga cadena, poco fermentables que agregan cuerpo a la cerveza

Nota. En esta tabla se muestran los rangos de temperatura óptimos para la activación de enzimas específicas. Tomado de: V. H. Benitez Baltazar y C. O. Morales Rivas, “Automatización Del Proceso De Macerado De La Malta Para La Producción De Cerveza Artesanal”, *Epistemus*, vol. 12, núm. 24, pp. 53–61, 2018, doi: 10.36790/epistemus.v12i24.68.

1.4.3. Filtración del mosto

El producto obtenido se somete a una filtración para separar el residuo del grano y demás residuos sólidos conocido como bagazo o afrecho del extracto líquido o mosto (rico en azúcares fermentables y nutrientes). Para ello, se utiliza una técnica de lavado que consiste en dos fases. La primera, consiste en clarificar el mosto por medio de una recirculación del mismo. Se extrae el mosto por la parte inferior del macerador y este, se recircula en el mismo recipiente de tal manera que, en cada repetición del proceso, el bagazo sirva como lecho filtrante [6]. Es aquí donde toma importancia lo mencionado anteriormente sobre el tamaño de partícula que debe tener el grano de cebada luego de la molienda dado que, si éste fuera muy fino, no se tendría el lecho filtrante.

La segunda etapa consiste en el lavado del afrecho. Esta fase se realiza con agua a una temperatura no mayor a 70°C dado que, a temperaturas mayores se corre el riesgo de disolver el almidón aún presente en las cáscaras generando problemas de turbidez. [8]

1.4.4. *Proceso de hervido, Whirlpool y enfriamiento del mosto*

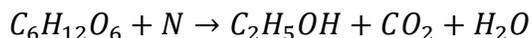
Se procede a llevar a punto de ebullición el extracto obtenido donde se logra estabilizarlo enzimática y microbiológicamente eliminando los compuestos aromáticos indeseados y esterilizando el mosto. Allí, de acuerdo a la técnica de lupulado a emplear y el tipo de cerveza que se desea obtener, se realiza la adición del lúpulo a lo largo del tiempo de hervor (90 minutos) de tal manera que se concentren algunos aromas y sabores específicos de la cerveza, se desarrolle el color y se equilibre el pH. [8]

Al culminar el tiempo de hervido necesario, se realiza la clarificación del mosto, separando el residuo sólido del lúpulo a partir de un tipo de filtración utilizando la técnica de Whirlpool, la cual consiste en agitar en forma circular el mosto caliente mientras se va depositando en otro tanque el extracto clarificado. El remolino formado arrastra los residuos sólidos hacia el centro del tanque permitiendo así una buena filtración. [6]

Finalmente se procede a enfriar el mosto hasta una temperatura propicia para la levadura que será empleada en el proceso de fermentación. La temperatura a la cual se debe enfriar el extracto líquido dependerá del tipo de cerveza que se quiera producir ya sea tipo Ale o tipo Lager. Este proceso se lleva a cabo mediante intercambiadores de calor, normalmente de placas, que utilizan agua como fluido refrigerante para poder disminuir la temperatura del mosto [6].

1.4.5. *Fermentación*

En la fermentación, la levadura por medio de un proceso químico – biológico en condiciones anaerobias, convierte los azúcares fermentables en etanol, dióxido de carbono y diversos componentes organolépticos. En este proceso se llevan a cabo múltiples reacciones químicas, sin embargo, la reacción básica se muestra a continuación



La levadura asimila todos los azúcares, nutrientes y demás componentes del mosto, se reproduce aumentando su concentración y comienza a metabolizar todo el sustrato que allí se encuentra. [8]

La duración de esta etapa dependerá del tipo de levadura utilizada ya que, si es *Saccharomyces cerevisiae* la fermentación durará alrededor de 6 días mientras que, si se utiliza *Saccharomyces carlbergensis* durará cerca de los 10 días. De igual manera, una vez se agoten los nutrientes del mosto, la biomasa se depositará en el fondo o en la cima del fermentador según sea el caso. Es importante retirar esta levadura una vez su actividad metabólica haya finalizado dado que, si no se hace, los microorganismos allí presentes comienzan a morir generando aromas y sabores poco deseados en la cerveza [8].

1.4.6. Maduración

Una vez finaliza el proceso de fermentación, se obtiene la cerveza verde con notas dulces, frutales, a alcohol concentrado, con otros sabores y aromas, unos deseados y otros que se deben mejorar. Para ello, se deja en la etapa de maduración durante 2 semanas refrigerando el producto con el fin de estabilizar estos aromas y sabores y así, conseguir un balance entre todos los compuestos y resaltar sus propiedades organolépticas [11].

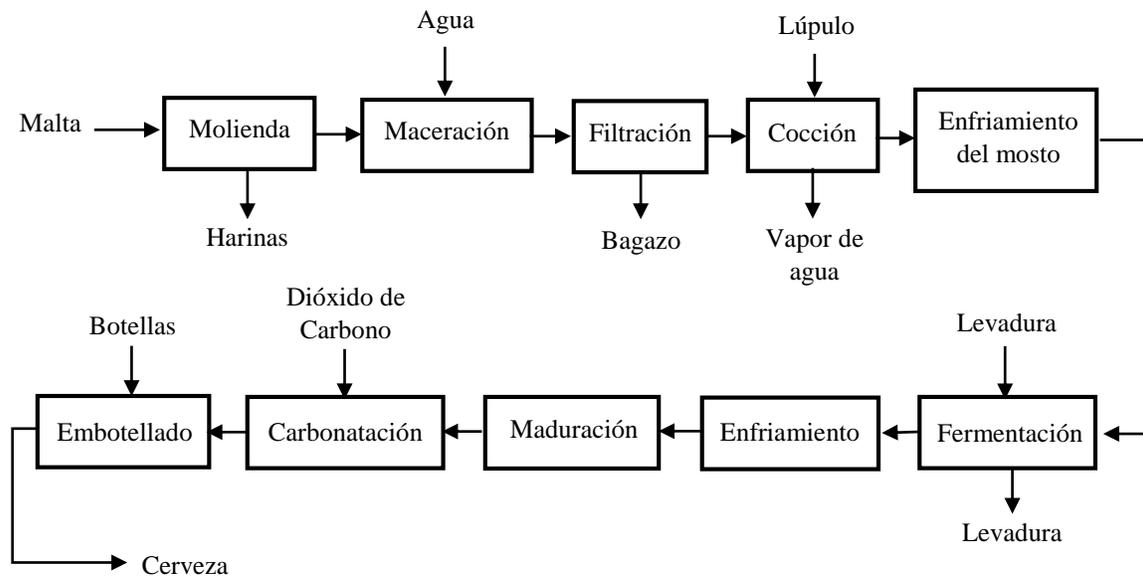
Esta etapa permite también, un proceso de clarificación mediante la estabilización de la levadura y su sedimento de manera natural, además de la precipitación de algunos residuos de lúpulo y otros remanentes reduciendo así la turbidez que presenta la cerveza [6].

1.4.7. Embotellado

Luego de que termina la etapa de maduración sigue el embotellado. Es en esta etapa donde se realiza una adición de dióxido de carbono o carbonatación al producto obtenido para agregar la efervescencia característica de esta bebida, lograr una reducción de pH de ser necesario y tener un efecto conservante para el producto [8]. Es importante tener en cuenta la cantidad de dióxido de carbono a añadir dado que, un exceso de éste podría generar una sobrepresión en el recipiente dando como resultado la fractura del mismo.

Figura 1.

Diagrama de bloques de la producción de cerveza artesanal



Nota. Esta figura representa la producción de cerveza artesanal mediante un diagrama de bloques.

1.5. Tipos de Cervezas

Existen múltiples formas de clasificar una cerveza, ya sea según su estilo, amargor, por su color o por su procedencia. Sin embargo, se puede catalogar de manera muy general en dos grandes grupos: Cerveza Lager y Cerveza Ale. La principal diferencia entre estos dos tipos, como se mencionó anteriormente, es la levadura que se utiliza para llevar a cabo el proceso de fermentación en cada una de ellas.

1.5.1. Cerveza tipo Lager

La cerveza tipo Lager se origina en Alemania, a principios del siglo XIX. Los alemanes almacenaban las cervezas en bodegas a bajas temperaturas durante un largo período de tiempo utilizando la cepa *Saccharomyces pastorianus*, la cual es de fermentación baja [12]. Es entonces como el término alemán *lagern*, que significa almacenar, se relaciona con éste tipo de cerveza. Este tipo de cerveza se caracteriza por ser ligera, refrescante, con alta cantidad de espuma y un nivel de amargor medio [13].

1.5.2. *Cerveza tipo Ale*

La cerveza tipo Ale es todo lo contrario al tipo Lager. Las temperaturas de fermentación son más altas, alrededor de los 20°C y cuando este proceso finaliza, la levadura queda en la parte superior del tanque fermentador. Utilizan la levadura *Saccharomyces cerevisiae* la cual aporta mayor aroma y cuerpo afrutado a la cerveza [14].

Para conocer a detalle las características organolépticas que debe cumplir cada estilo de cerveza, se desarrolló la guía de estilos del Programa de Certificación de Juez de Cerveza (BJCP por sus siglas en inglés), permitiendo que en los concursos y muestras de nuevos productos de cervezas artesanales los maestros cerveceros se orienten con dicho manual y sean imparciales a la hora de emitir su juicio [15].

En este manual se establecen las Unidades de Amargo Internacionales (IBUs), la cual permite medir la apreciación del amargo de la cerveza, más exactamente, medir la cantidad de alfa ácidos que se isomerizaron durante el hervido del mosto [16]. Adicionalmente, también estipula un rango para la Gravedad Original (OG) y Gravedad Final (FG), valores que se miden antes de que inicie y cuando finalice la fermentación. Así mismo, se describe el rango para los grados de Alcohol por Volumen (ABV) que debe llevar cada estilo, evaluando los mililitros de etanol presentes en cada 100 ml de solución [17]. Finalmente, se encuentra la escala SRM (Método de Referencia Estándar), que brinda el rango de color en el que se debe encontrar la cerveza en cuestión.

Dicho esto, a continuación, se muestra la clasificación de algunas de las cervezas tipo Ale y sus características según la guía BJCP.

1.5.2.a. Ale dorada británica (Golden). Según el manual BJCP, esta se caracteriza por ser una cerveza pálida, de intensidad promedio a moderadamente fuerte, tiene una cualidad refrescante, aspectos críticos del estilo; tiene un aroma a lúpulo moderadamente bajo, poco o nada de aroma a malta, buena claridad, tiene una espuma blanca moderada y con un amargor medio a medio-alto [18].

1.5.2.b. Ale marrón británica (Brown Ale). Según el manual BJCP, es una cerveza maltosa, marrón, orientada al caramelo, tiene un aroma dulce ligero a malta, con notas a chocolate, con un ligero aroma frutal a lúpulo; su color es un ámbar oscuro-marrón, con una espuma de baja a moderada; tiene un sabor de medio a seco, con un bajo amargor [18].

1.5.2.c. Escocesa de exportación. De acuerdo al manual BJCP es una cerveza Ale centrada en la malta, acaramelada, solo se usa lúpulo para apoyar a la malta, tiene un aroma a baja maltosidad, con sabor a migas de pan tostadas, posee un color cobre pálido, con espuma blanquecina y cremosa [18].

1.5.2.d. Ale Irlandesa Roja. Según el manual BJCP es una bebida fácil de beber, con sabores sutiles, cerveza ligeramente maltosa, con un suave dulzor inicial y un toque de sequedad tostado al final; tiene un aroma a malta de bajo a moderado y a lúpulo de bajo a nulo, tiene un color entre ámbar y cobrizo rojo, con espuma baja de persistencia media [18].

1.5.2.e. Witbier (Ale Belga). De acuerdo al manual BJCP, es una cerveza basada en trigo refrescante, elegante, sabrosa, de moderada intensidad, tiene una maltosidad dulce moderada, con aroma un poco ácido, bajo en lúpulo, tiene un color ligero dorado, es una cerveza nublada, a color lechoso, tiene una espuma densa y de buena retención [18].

1.5.2.f. Ale American Pálida (APA). De acuerdo al manual BJCP, es una cerveza ale pálida, refrescante y lupulada, con suficiente soporte de malta, tiene un aroma entre moderado y fuerte a lúpulo de variedades americanas; tiene una apariencia entre dorado pálido y ámbar ligero, con una espuma moderada, blanca y con buena retención; tiene un sabor a lúpulo entre moderado y alto, con toques ácidos [18].

1.5.2.g. *Blonde Ale* (Ale Rubia). Es un estilo de cerveza artesanal americana, se caracteriza principalmente por su base toda malta, aunque puede incluir malta de trigo y azúcar como adjunto. Según el manual BJCP tiene notas a fruta, lúpulo y carácter a malta. Tiene un aroma moderado a malta dulce, de bajo a medio aroma a lúpulo y es común que tenga notas cítricas, florales, frutales y especiadas [18].

La apariencia de este tipo de cerveza se encuentra entre color amarillo suave a dorado profundo, con un aspecto claro y brillante y una espuma blanca con buena retención. En cuanto a sabor, inicialmente se percibe un dulzor maltoso, un ligero toque a lúpulo, con un amargor entre bajo y medio, al final tiene un sabor medio seco [18].

En la **Figura 2**, se da a conocer el rango de color que debe tener este tipo de cerveza en específico.

Figura 2.

Rango de color para la cerveza Blonde Ale



Nota. La figura representa el rango de color para una cerveza *Blonde Ale*. Tomado de: BJCP, “Beer Judge Certification Program”, *Style Guidel.*, 2015, [En línea]. Disponible en: https://www.thebeertimes.com/wp-content/uploads/2017/08/2015_Guidelines_Beer_Español-final.pdf.

A continuación, se presenta una tabla con los parámetros característicos de grado de amargor (IBU’s), densidad final (FG), densidad original (OD), porcentaje de alcohol (%ABV) y escala de color (SRM) para cada uno de los estilos de cerveza tipo Ale mencionadas anteriormente.

Tabla 4.

Parámetros característicos de cervezas tipo Ale

Estilo de cerveza	IBU’s	OG (g/cm ³)	FG (g/cm ³)	%ABV (%v/v)	SRM
Golden	20 – 45	1,038 – 1,053	1,006 – 1,012	3.8 – 5.0	2.0 – 6.0
Brown Ale	20 – 30	1,040 – 1,052	1,008 – 1,013	4.2 – 5.4	12.0 – 22.0
Escocesa de exportación	15 – 30	1,040 – 1,060	1,010 – 1,016	3.9 – 6.0	13.0 – 22.0
Ale Irlandesa Roja	18 – 28	1,036 – 1,046	1,010 – 1,014	3.8– 5.0	9.0 – 14.0
Ale Belga	8 – 20	1,044 – 1,052	1,008 – 1,012	4.5 – 5.5	2.0 – 4.0
APA	30 – 50	1,045 – 1,060	1,010 – 1,015	4.5 – 6.2	5.0 – 10.0
Blonde Ale	15 – 28	1,038 – 1,054	1,008 – 1,013	3.8 – 5.5	3.0 – 6.0

Nota. Se presenta el rango de valores para los parámetros característicos de las cervezas tipo Ale. Datos tomados de: BJCP, “Beer Judge Certification Program”, *Style Guidel.*, 2015, [En línea]. Disponible en: https://www.thebeertimes.com/wp-content/uploads/2017/08/2015_Guidelines_Beer_Español-final.pdf

1.6. Descriptores de la cerveza artesanal

El análisis sensorial de la cerveza artesanal se realiza de forma cualitativa, en la cual, a través de un formato de evaluación diseñado por el BJCP, maestros cerveceros certificados califican el producto en cuanto a aroma, apariencia, sabor, sensación en boca e impresión general de tal forma que puedan identificar qué defectos o virtudes tiene el producto en función al estilo desarrollado.

El formato de evaluación tiene diferentes descriptores organolépticos que puede llegar a tener cualquier cerveza artesanal de acuerdo al buen o mal proceso que se haya realizado, facilitando la identificación de aspectos a mejorar.

En la **Tabla 5**, se presentan los descriptores que puede llegar a presentar una cerveza artesanal junto con la característica principal de cada uno. Adicionalmente, el formato presenta también una sección en la cual se puede calificar los aspectos anteriormente mencionados con el fin de poder obtener una puntuación final sobre 50 puntos para la cerveza y calificarla entre excepcional, excelente, muy buena, buena, regular y problemática.

Tabla 5.*Descriptorios organolépticos*

Descriptor	Característica
Acetaldehído	Aroma y sabor parecido a manzana verde
Alcohólico	El aroma, sabor y efecto cálido del etanol y alcoholes fusel. Descrito a veces como caliente
Astringente	Deja una sensación de sequedad en el retrogusto, encoje las mejillas; granulosa, raspa, dura
Diacetilo	Aroma y sabor a mantequilla artificial o rancia. A veces se percibe como pastosidad en boca
DMS (Sulfuro de dimetilo)	En niveles bajos aroma y sabor a verduras de lata, col, aceitunas negras
Ésteres	Aroma y sabor a cualquier éster (frutas o flores)
Herbáceo	Aroma/sabor a hierba recién cortada y hojas verdes
Golpe de luz	Parecido al olor de una mofeta
Metálico	Sabor a lata, monedas, cobre, hierro o como a sangre
Mohoso	Aromas y sabores a rancio, húmedo, moho
Oxidado	Cualquier combinación de sabores y aromas a rancio, vino, cartón, papel o como a Jerez
Fenólico	Especias (clavo, pimienta), humo, plástico, pegatina o medicinal (cloro fenólico)
Disolvente	Aromas y sabores a alcoholes fusel. Parecido a la acetona u otros disolventes y lacas
Agrio/Ácido	Agrio en aroma y sabor. Puede ser áspero y limpio (ácido láctico) o parecido al vinagre (ácido acético)
Sulfúrico	Aroma a huevos podridos o cerillas quemadas
Vegetal	Aroma y sabor a verduras hervidas, enlatadas o podridas (repollo, cebolla, espárragos, apio, etc.)
Levadura	Sabor o aroma a pan, azufre o levadura

Nota. Se presentan los descriptorios para una cerveza artesanal. Datos tomados de: Beer Scoresheet?. https://www.bjcp.org/docs/SCP_BeerScoreSheet.pdf (consultado may 20, 2021).

1.7. Etapas de crecimiento microbiano

El crecimiento de la levadura se identifica por ciertas etapas características de su desarrollo las cuales se describen a continuación. En la siguiente figura se presenta la curva de crecimiento de un microorganismo con sus diferentes fases.

Figura 3.

Curva de crecimiento microbiano



Nota. Fases de crecimiento y muerte del microorganismo. Tomado de: N. A. Amaya Jiménez y L. M. Díaz Pascagaza, “Evaluación de perfiles fermentativos para la elaboración de cerveza artesanal por levaduras nativas”, vol. 8, núm. 5, p. 55, 2019

1.7.1. Fase Lag o fase de adaptación

Es la primera fase del crecimiento de la levadura y tiene una duración máxima aproximadamente de 12 horas. Inicia inmediatamente se realiza la inoculación o se añade en el tanque fermentador. Aquí, la biomasa, como su nombre lo indica, se adapta a las condiciones tanto nutricionales como ambientales del medio y, además, no presenta crecimiento celular dado que, la energía disponible es utilizada para metabolizar enzimas que le permitan desarrollarse en el medio en el que ahora se encuentra [19], [20].

1.7.2. Fase logarítmica o exponencial

Esta etapa puede tener una duración entre 2 a 6 días para las cervezas tipo Ale. Es aquí donde las células se multiplican de manera exponencial hasta agotar todos los nutrientes disponibles en el medio o en el mosto. La velocidad de crecimiento es constante e independiente de la concentración del sustrato, sin embargo, esta etapa puede finalizar al verse afectada por factores como el agotamiento de nutrientes, la alteración brusca de condiciones ambientales o la producción de

metabolitos tóxicos para la levadura [20]. Cuando esta etapa entra a su fase final, la levadura comienza a sedimentar en el fermentador.

1.7.3. Fase estacionaria

Se caracteriza principalmente por tener una disminución significativa en la velocidad de crecimiento puesto que, la mayoría del sustrato ya se ha convertido en alcohol y así mismo, la mayoría de las levaduras se encuentran inactivas. Aquí, se presenta la reducción de los azúcares más pesados como la maltotriosa y otros remanentes fermentables [19].

La levadura que había quedado suspendida en la etapa anterior, se sedimenta junto con las proteínas de alto peso molecular y los componentes de tanino/fenol, disminuyendo la turbidez de la cerveza y otorgándole mayor cuerpo y sabor [19].

1.7.4. Fase de muerte

En esta etapa, los requerimientos nutricionales y ambientales no son los suficientes para el desarrollo de las levaduras, por ende, puede iniciar un proceso de lisis o autólisis, generando sustancias tóxicas y evitando el crecimiento celular [20].

1.8. Parámetros cinéticos

Los parámetros cinéticos permiten identificar la evolución de una población microbiana dentro de un medio, ya que a partir de estos valores y con los suficientes datos, se puede llegar a un modelo cinético que se ajuste al comportamiento desarrollado por el microorganismo en cuestión [21].

1.8.1. Velocidad de crecimiento de la biomasa

Este parámetro cinético permite determinar la cantidad de biomasa formada por unidad de tiempo y de volumen [21]. Está influenciado por la cantidad de nutrientes disponibles en el medio, debido a que, si la fuente de carbono es el factor limitante, la velocidad de crecimiento se verá reducida, pero, si es el caso contrario, es muy elevada la concentración de carbohidratos, la velocidad de crecimiento se puede inhibir por los efectos osmóticos de la actividad de agua. Otros factores que inhiben el crecimiento son metales pesados como el cadmio, estaño, aluminio, litio, entre otros, y el dióxido de azufre en concentraciones superiores a las 100 ppm [22].

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que el crecimiento celular también se ve afectado por la temperatura, el pH y la actividad de agua y humedad relativa, teniendo rangos de crecimiento entre los 25°C y 30°C, 3 a 4 unidades de pH y 0.70 a 0.95 de actividad de agua [22].

El cálculo de la velocidad de crecimiento celular viene dado por la siguiente ecuación:

$$r_x = \frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (1)$$

En donde, r_x es la velocidad volumétrica de producción de biomasa en g/Lh, X es la concentración de biomasa en g/L y, μ es la velocidad específica de crecimiento en unidades de h^{-1} . [23]

Esta velocidad de crecimiento viene ligado al tema descrito anteriormente de las etapas de crecimiento microbiano. Durante la fase exponencial, se puede asumir que la tasa de crecimiento es constante dado que las reacciones metabólicas que se llevan a cabo dentro del microorganismo se encuentran en equilibrio, es decir, las concentraciones de todos los metabolitos y todas las enzimas allí presentes serán constantes [24].

1.8.2. Velocidad de formación de producto

Los productos de una fermentación se clasifican según la relación que exista entre la síntesis del producto y la generación de energía en la célula. Estos pueden ser productos directamente, indirectamente o productos no asociados al metabolismo energético dependiendo cuál sea el producto de interés y la ruta metabólica empleada para llegar a éste [23].

Para el presente caso, el producto de interés será el etanol, el cual, al ser excretado por la levadura como resultado de su proceso metabólico, clasifica como un producto directamente relacionado al metabolismo energético.

La velocidad de formación del etanol está directamente relacionada con el consumo de sustrato disponible en el medio y su respectivo rendimiento de conversión [25]. Para el cálculo de éste parámetro se requiere la concentración del producto en el tiempo y está descrita por la siguiente expresión

$$r_p = \frac{dP}{dt} = q_p \cdot X \quad (2)$$

En donde r_p es la velocidad de formación del producto en unidades de g/Lh, P es la concentración del producto en g/L, q_p es la velocidad específica de formación del producto en h^{-1} y X es la concentración de la biomasa en g/L. Además, es fundamental tener en cuenta que, el crecimiento

celular es la actividad celular que más energía requiere y, por ende, habrá formación de producto siempre que exista crecimiento [23].

1.8.3. Velocidad de consumo de sustrato

Esta velocidad es la cantidad de sustrato consumido por unidad de tiempo y de volumen. Al igual que la velocidad de crecimiento, éste parámetro dependerá de la concentración de nutrientes disponibles en el medio y de las condiciones que tenga de temperatura, pH, entre otros [26].

La velocidad de consumo de sustrato puede ser, por un lado, en ausencia de formación de producto en donde se supondrá que todo el sustrato disponible para la biomasa será utilizado para el mantenimiento y crecimiento celular. Por otro lado, puede ser con formación de producto que, si está asociado directamente al metabolismo energético será consecuencia directa del consumo del sustrato o, si no está asociado o está parcialmente asociado al metabolismo energético, habrá un flujo separado de sustrato para la síntesis del producto y otro para el mantenimiento y crecimiento celular [23].

Esta velocidad estará dada entonces por la concentración del sustrato en el tiempo, así como se presenta a continuación.

$$(-r_s) = \frac{dS}{dt} = q_s \cdot X \quad (3)$$

En donde, $-r_s$ corresponde a la velocidad volumétrica del consumo del sustrato medida en g/Lh, S es la concentración del sustrato en g/L, q_s es la velocidad específica de consumo del sustrato en unidades de h^{-1} y finalmente, X será la concentración de biomasa en g/L.

1.8.4. Rendimiento biomasa en función del sustrato ($Y_{X/S}$)

Este rendimiento establece la relación que existe entre la producción de biomasa y el consumo de sustrato para dicha biomasa en particular [27].

El cálculo del rendimiento de biomasa versus el sustrato está dado por la siguiente ecuación

$$Y_{X/S} = \frac{\Delta X}{\Delta S} \quad (4)$$

Donde ΔX es la biomasa producida medida en gramos y ΔS corresponde a la cantidad de sustrato consumido igualmente medida en gramos. Estos valores se obtienen de restar los datos finales e iniciales para obtener los valores y seguido esto, calcular el rendimiento del proceso.

Normalmente, este rendimiento está ligado al concepto de nutriente limitante, dado que, la velocidad de crecimiento celular es función directa de la cantidad disponible de sustrato en el medio [28].

1.8.5. Rendimiento biomasa en función del producto ($Y_{X/P}$)

Este parámetro permite identificar la relación entre la biomasa formada con respecto a la cantidad de producto formado [26].

Este rendimiento se calcula de la siguiente manera

$$Y_{X/P} = \frac{\Delta X}{\Delta P} \quad (5)$$

En donde ΔX corresponde a la cantidad de biomasa formada y ΔP a los gramos de etanol producidos.

Este rendimiento, al igual que el de biomasa/sustrato, es dependiente de las condiciones del medio para que se lleve a cabo el crecimiento microbiano, es decir, que factores como el pH, la temperatura, la actividad de agua, entre otros, van a influenciar la producción de biomasa y así mismo, la eficiencia del proceso para la producción del metabolito de interés [29].

1.8.6. Constante de sustrato (K_s), velocidad de crecimiento específica máxima ($\mu_{m\acute{a}x}$) y tiempo de duplicación (t_D)

La constante de sustrato corresponde al valor de la concentración del sustrato limitante a la cual, la velocidad específica de crecimiento es la mitad de la velocidad específica de crecimiento máxima [23].

La velocidad de crecimiento específica máxima, como su nombre lo indica, es el valor máximo al que puede llegar la velocidad de crecimiento cuando la concentración del sustrato limitante del crecimiento es mucho mayor que la constante de crecimiento y las concentraciones de los otros nutrientes han permanecido constantes o no han cambiado de forma notable [23].

Finalmente, el tiempo de duplicación es el tiempo que tarda una célula en dividirse y formar dos nuevas células, es decir, es el tiempo requerido para que una población de un microorganismo se duplique en número [30].

2. GENERALIDADES, FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA CERVEZA BLONDE ALE EN LA CERVECERIA TERRA CRUZ

La cervecería artesanal Terra Cruz es una microempresa SAS constituida desde el año 2018 a cargo de la ingeniera química Sandra Rangel Ortega. La planta de producción de la empresa está ubicada en la ciudad de Bogotá en el barrio Alcalá Sur y cuenta con su propio bar ubicado en el sector de Galerías, teniendo como productos principales cervezas frutales de mora, jengibre, hierbabuena, café y maracuyá.

En este capítulo se formulan las materias primas, con sus cantidades para la obtención de una cerveza *blonde ale* y se describen las etapas para su respectiva elaboración, además de algunas generalidades de la planta de producción.

2.1. Formulación de la cerveza Blonde Ale

Teniendo en cuenta los objetivos que tiene el desarrollo del presente trabajo, es necesario realizar los cálculos pertinentes de materias primas para saber cuánto se debe adicionar de cada uno de ellos de tal forma que corresponda al estilo de cerveza planteado y así evitar pérdidas durante el proceso.

Además de los cálculos, se utiliza Brewer's Friend [31], una herramienta de libre acceso en internet la cual permite introducir las cantidades de maltas, lúpulos y levadura, y a medida que se ingresan estos datos, muestra una aproximación de los parámetros característicos (IBU's, OG, FG, ABV y SRM) de la cerveza que se obtendría con dichos valores.

Cabe aclarar que para realizar las operaciones que se muestran a continuación, se toma como base de cálculo una cantidad a preparar de cerveza equivalente a 300 litros.

2.1.1. Cantidad de maltas

Considerando que el estilo de la cerveza a preparar es una cerveza rubia, por recomendación de expertos cerveceros, se decide preparar con la malta base correspondiente al proceso y con 2 tipos de maltas caramelo adicionales para lograr tanto cuerpo, como color en el producto.

La malta base es la más clara que existe entre todos los tipos de maltas aportando a las cervezas un color pálido y un sabor ligero. Adicionalmente, la malta base es el tipo de malta que retiene mayor cantidad de azúcares, siendo esto una característica fundamental dentro del proceso

cerveceros [32]. Para la presente formulación se utiliza la malta base Bestmalz – BEST Pilsen, utilizada en un amplio rango de cervezas, entre ellas las estilo Ale, es una malta rica en enzimas, tiene un extracto de alto rendimiento y aporta a la cerveza un sabor fresco y ligero [33]. En la **Figura 4** se puede observar físicamente cómo es el grano de este tipo de malta. La ficha técnica de este tipo de malta se presenta en el **ANEXO 2**.

Figura 4.

Malta Bestmalz – BEST Pilsen



Nota. Características externas de los granos de la malta base Pilsen

Las maltas caramelo, de manera general aportan más que azúcares no fermentables, el color y sabor característico de esta clase de cerveza, por tal motivo, se emplean en menor cantidad dentro de la formulación [32].

Se usa la malta Bestmalz – BEST Caramel Pils, con un porcentaje de uso máximo del 50% en la formulación. Esta se caracteriza por aportar sensación en boca de la cerveza, otorgando estabilidad en el sabor sin intensificar su color dado a que es una de las más pálidas, tiene un sabor y aroma a miel e higo, componentes que además de las proteínas mejoran la estabilidad de la espuma en la cerveza [33]. El grano de este tipo de malta tiene una apariencia un poco más oscura que la de una malta base, como se puede apreciar en la **Figura 5**. La ficha técnica de este tipo de malta se presenta en el **ANEXO 3**.

Por último, se añade la malta caramelo Bestmalz – BEST Caramel Munich II, también con un porcentaje de uso máximo del 50% en la formulación, caracterizada principalmente por tener una

nota discreta de sabor tostado, contribuye con un color y un sabor más intenso al producto [33]. En la **Figura 6** se percibe un grano más oscuro y con una apariencia mucho más tostada, comparando con los otros dos tipos de malta anteriormente mencionados. La ficha técnica de este tipo de malta se presenta en el **ANEXO 4**.

Figura 5.

Malta Bestmalz – BEST Caramel Pils



Nota. Apariencia externa de los granos de malta Caramel Pils; granos de un color más oscuro comparando con la malta base.

Figura 6.

Malta Bestmalz – BEST Caramel Munich

II



Nota. Apariencia externa del grano de malta Caramel Munich II, de aspecto más oscuro y tostado entre las tres maltas formuladas.

Para el cálculo de cada una de las maltas, se debe hacer uso de las siguientes ecuaciones

$$GT = \frac{OG * Q}{3,785} \quad (6)$$

En donde GT es el coeficiente global, OG son los dos últimos dígitos del valor de la densidad original para éste estilo de cerveza que se muestra en la **Tabla 4** y Q es la cantidad en litros a preparar de cerveza.

$$P = \frac{GT * x * 0,4536}{G * R} \quad (7)$$

En donde x es el porcentaje que se va a adicionar de cada malta, G es el coeficiente según el tipo de malta, R es el rendimiento del macerador el cual será tomado como 65% según las especificaciones de la ingeniera a cargo y P será la cantidad de malta en kg que se deberá adicionar [34].

Reemplazando la ecuación (6) en la ecuación (7), se obtiene lo siguiente:

$$P = \frac{\left(\frac{OG * Q}{3,785}\right) * x * 0,4536}{G * R} \quad (8)$$

Realizando este cálculo para cada una de las maltas se obtienen los siguientes resultados

Tabla 6.

Cantidad de malta requerida en el proceso

Malta	Cantidad (kg)	%
Bestmalz – BEST Pilsen	60.07	84.3
Bestmalz – BEST Caramel Pils	8.98	12.6
Bestmalz – BEST Caramel Munich II	2.24	3.1

Nota. Se presenta la cantidad de maltas a utilizar en el proceso.

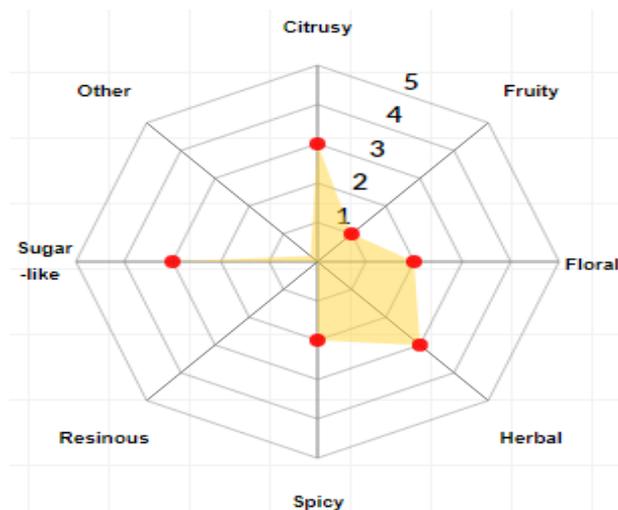
2.1.2. Cantidad de lúpulos

Según la intensidad de sabor, aroma y amargor que se desee en el producto final existen distintos lúpulos para cumplir dichas características deseadas. Así mismo, es importante tener en cuenta los tiempos en los que se adiciona este ingrediente durante el tiempo de hervor ya que, el lúpulo está formado por aceites esenciales que, si bien aportan sensorialmente a la cerveza, éstos también son volátiles y si no se realiza en el tiempo adecuado puede ser contraproducente en el producto final.

Dicho esto, existen dos categorías generales para el lúpulo los cuales son amargor y aroma. Los lúpulos amargos son ricos en alfa – ácidos. Su adición se realiza normalmente al inicio del hervor con el fin de isomerizar los alfa – ácidos que contiene y así proporcionar la mayor parte de amargor en la cerveza dado que, por el largo tiempo al que permanece expuesto durante la cocción, los aceites esenciales que contiene se volatilizan haciendo que su aporte en aroma sea nulo [35].

Figura 7.

Perfil aromático del lúpulo Bravo

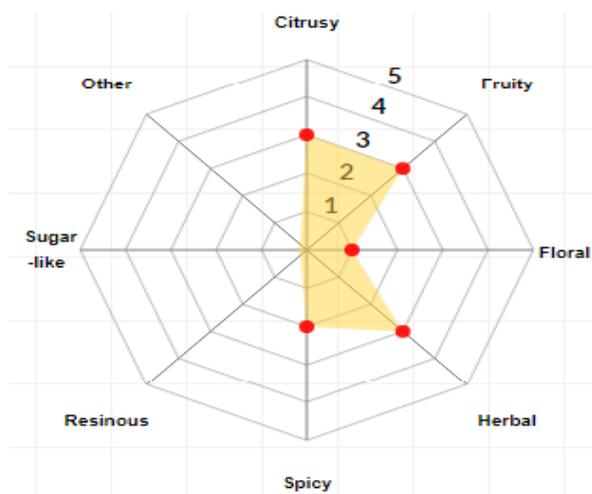


Nota. Se presenta el perfil aromático del lúpulo Bravo, en una escala de 1-5, predominando la parte cítrica, herbal y azucarada (3) y con una escala menor un aroma especiado, floral (2) y frutal (1). Tomado de: “Lúpulo Bravo - Insumos de Cerveza”. [En línea]. Disponible en: <https://distrines.com/lupulos/30/lupulo-bravo> (consultado abr. 07, 2021).

Para el producto realizado, el lúpulo amargo con el que se trabaja es lúpulo bravo, el cual tiene un 15,4% de alfa ácidos y de acuerdo al proveedor, “es una excelente variedad de amargor y puede proporcionar agradables características de fruta y aroma floral o dulce en algunas aplicaciones” [36]. En relación a la parte aromática, para esta clase de lúpulo resaltan aromas cítricos, herbales y azucarados, como se puede evidenciar en la **Figura 7**. Cabe aclarar que se realizan dos adiciones de este lúpulo en dos tiempos distintos debido a las características sensoriales que se quieren lograr en el producto, por ende, se deben realizar dos cálculos diferentes para cuantificar las cantidades respectivas necesarias. En el **ANEXO 5** se puede revisar la ficha técnica de lúpulo bravo.

Figura 8.

Perfil aromático del lúpulo Cascade



Nota. Perfil aromático del lúpulo Cascade, en el cual predomina la parte cítrica, frutal y herbal (3) y en una escala menor, un aroma especiado (2) y floral (1). Tomado de: “Lúpulo Cascade - Insumos de Cerveza”. [En línea]. Disponible en: <https://distrines.com/lupulos/28/lupulo-cascade> (consultado abr. 07, 2021).

Por otro lado, están los lúpulos aromáticos, los cuales suelen tener menos cantidad de alfa – ácidos, pero aportan mayor aroma y sabor a la cerveza. Estos se suelen agregar al final del hervor con el fin de evitar que los aceites esenciales que contribuyen en el aroma se volatilicen. [35]. En la

formulación se añadió el lúpulo Cascade el cual contiene un 6% de alfa – ácidos y como característica principal un fuerte aroma especiado, floral, cítrico, ideal para maximizar el sabor y el aroma [37]. En el **ANEXO 6** se presenta la ficha técnica de este tipo de lúpulo. En la **Figura 8** se presentan las principales características aromáticas de este tipo de lúpulo.

Para determinar la cantidad que se debe utilizar de cada uno de ellos, se utiliza la ecuación (9)

$$W = \frac{Q * Cg * IBU}{U\% * A\% * 1000} \quad (9)$$

En donde W es la cantidad en gramos de lúpulo a adicionar, Q es la cantidad de litros de cerveza a elaborar, IBU son las unidades de amargor deseadas, U% es el coeficiente que depende del tiempo de hervor, A% equivale a la cantidad de alfa – ácidos del lúpulo que se va a utilizar, y el Cg es un coeficiente que depende del valor de OG; para el presente caso, tomará el valor de 1 ya que el valor de OG es menor a 1050 [34].

Realizando este cálculo para cada uno de los lúpulos mencionados anteriormente, se obtienen los resultados mostrados en la **Tabla 7**

Tabla 7.

Características y cantidades de los lúpulos formulados

Lúpulo	Cantidad de lúpulo (g)	Etapas	A%	IBUs
Bravo (60 min)	150,5	Hervido	15,4	20,32
Bravo (15 min)	64,5	Hervido	15,4	4,32
Cascade	250	Whirlpool	6	1,87

Nota. Se presentan las características principales y la cantidad de lúpulos a utilizar en el proceso. Valores de A% e IBUs tomados de: “BLONDE ALE | Receta de cerveza Blonde Ale All Grain en Brewer’s Friend”. <https://www.brewersfriend.com/homebrew/recipe/view/1122185/blonde-ale> (consultado abr. 18, 2021). [38]

2.1.3. Cantidad de levadura

La levadura, como se mencionó en el capítulo 1, es un hongo unicelular que se reproduce asexualmente por gemación. Tiene la capacidad de convertir azúcares fermentables en alcohol etílico y dióxido de carbono bajo condiciones anaerobias, sin embargo, cuando la concentración de nutrientes se agota, se pueden producir otros compuestos como ésteres, diacetilos, fenólicos, entre otros, que según el estilo de cerveza que se esté produciendo, pueden o no ser indeseables en el producto.

Para la formulación se utiliza levadura seca SafAle – US – 05, la cual es una de las más utilizadas para la elaboración de cervezas tipo Ale, dando lugar a cervezas aromáticas con niveles de diacetilo justos. Según su ficha técnica (ver ANEXO 7), es recomendable agregarla en un volumen de mosto 10 veces superior a su propio peso, es decir, para el presente caso se emplea 1g de levadura por cada litro a producir [39]. Cabe aclarar que la cantidad de levadura que se debe añadir varía entre 0,5 y 1 gramo por litro de cerveza a preparar según la cepa y según el proveedor [40], [41]. De acuerdo a esto, para los 300 litros se requieren 300 gramos de la levadura formulada.

2.1.4. Cantidad de agua

Como bien se sabe, el agua es el componente mayoritario de la cerveza. Esta es importante que este fisicoquímico y microbiológicamente apta para el proceso, dado que posibles rastros de metales pesados, cloruros o sales pueden ser perjudiciales para la levadura y, por ende, para el producto en general.

Se debe considerar que existen pérdidas que se deben tener en cuenta al realizar el cálculo para determinar la cantidad de agua que se requiere para cierta cantidad de cerveza. Estas pérdidas se le atribuyen principalmente a la cantidad de agua que el grano pueda absorber, las pérdidas que hay por evaporación durante el proceso de cocción y a la eficiencia de los equipos. Con esto, la secuencia para realizar el cálculo es la siguiente [34].

1. Establecer el volumen del batch
2. Dividir entre 0.96 por la restricción de volumen al enfriar
3. Teniendo en cuenta las pérdidas por evaporación, se divide el resultado del numeral 2 entre 0.925
4. Por pérdidas en los equipos, se adicionan 3 litros más al valor obtenido
5. Pérdidas por absorción del grano. Por cada 2.5kg grano, se le adicionan 3.5 litro más de agua.

Posterior a los cálculos realizados y teniendo la formulación planteada, se añaden los resultados obtenidos para la receta creada en el programa en línea Brewersfriend [31]. En la **Tabla 8** se presentan los valores aproximados de los parámetros relevantes que, según los datos y cantidades establecidas en este capítulo, va a tener la cerveza final, a partir de la información otorgada al programa.

Tabla 8.

Propiedades finales de la cerveza

Parámetro	Valor
IBUs	26.51
OG (g/cm³)	1,048
FG (g/cm³)	1,008
ABV(%v/v)	5.19
SRM	5.45

Nota. Características finales aproximadas de la cerveza *Blonde Ale*, según las cantidades y materias primas formuladas. Tomado de: “BLONDE ALE | Receta de cerveza Blonde Ale All Grain en Brewer’s Friend”. <https://www.brewersfriend.com/homebrew/recipe/view/1122185/blonde-ale> (consultado abr. 18, 2021).

Los valores mostrados en la **Tabla 8**, se encuentran entre los rangos establecidos por el manual BJCP de acuerdo a la **Tabla 4**, lo que indica que los cálculos y las cantidades estipuladas para la formulación diseñada son correctos y se puede continuar con la elaboración de la cerveza a partir de este planteamiento.

2.2. Elaboración de la cerveza artesanal Blonde Ale

Una vez establecida la formulación de materias primas para la producción de la cerveza *Blonde Ale*, y adquiridas las maltas, lúpulos y la levadura a emplear, se procede a la elaboración de la misma en la planta de producción de la cervecería Terra Cruz.

Previo al inicio de la elaboración de la cerveza, para el tratamiento del agua empleada durante todo el proceso, la planta cuenta con 3 filtros de polipropileno, de 10, 5 y 2 micras y un último filtro de carbón activado, los cuales permiten retirar impurezas, mejorar la calidad fisicoquímica del agua, disminuir su carga microbiológica, reducir la cantidad de cloro con la cuál esta ingresa y así utilizarla a lo largo del proceso de producción. Esta purificación es de gran importancia dado que el agua de Bogotá, a pesar de que es potable, trae consigo metales pesados, sales y elevadas cantidades de cloro que perjudican especialmente a la levadura durante la fermentación llegando a tener productos indeseables en la cerveza que pueden afectar el crecimiento de la levadura reduciendo su desempeño fermentativo.

Figura 9.

Filtros del agua



Nota. La imagen muestra los filtros utilizados en la cervecería para purificar el agua usada en el proceso.

En la **Figura 10** se presenta el tren de cocción con el cual cuenta la cervecería está conformado por un Hot Liquor Tank (HLT por sus siglas en inglés), un macerador y una olla de cocción, cada una de ellas con capacidad de 500 litros, hechas de acero inoxidable de calibre 12. Adicionalmente, cuenta con 2 fermentadores cónicos, cada uno de ellos con un recubrimiento térmico (chaqueta), de 300 litros de capacidad y fabricados en el mismo material anteriormente mencionado.

Figura 10.

Tren de cocción – fermentación



Nota. La imagen muestra en orden de izquierda a derecha el HLT, el macerador, la olla de cocción y los dos fermentadores utilizados en la cervecería Terra Cruz.

2.2.1. Molienda

En primer lugar, se inicia calentando en el HLT 200 litros de agua previamente filtrada para luego ser utilizada en la etapa de maceración. Mientras se lleva a cabo este calentamiento, se pesan las cantidades de malta establecidas en la formulación y se realiza el proceso de molienda, así como se presenta en la **Figura 11** y **Figura 12**.

La planta de producción cuenta con un molino sin fin para quebrar parcialmente el grano, separando la cascarilla y dejando expuesto el almidón que contiene la malta. Se procede a moler los 60.07 kg de la malta Pilsen, los 8.98 kg de la malta Caramel Pils y los 2.24 kg de la malta Caramel Munich II, previamente pesados. Se obtiene el almidón separado de la cáscara del grano como se ve en la **Figura 13**.

Figura 11.

Pesaje de maltas



Nota. Pesaje de cada una de las maltas en una balanza electrónica.

Figura 12.

Molienda de las maltas



Nota. Molienda del grano de malta, para separar el almidón de la cáscara.

Figura 13.

Grano de malta molido



Nota. La figura muestra el grano de malta molido, donde queda separada la cáscara del almidón.

El objetivo de esta etapa es dejar expuesto el endospermo (almidón), para tener una mayor eficiencia en el macerado, además de mantener la cáscara intacta para lograr una mejor filtración en la siguiente etapa [19].

2.2.2. Maceración

Teniendo el agua a una temperatura elevada en el HLT, a no más de 70°C, se traspasan 200 litros de esta a la olla de maceración, la cual debe mantener una temperatura de 65°C para activar y mantener el trabajo de las enzimas alfa y beta-amilasas, encargadas de convertir el almidón en azúcares reducidos, en especial en maltosa [1], [7], [19].

Se añaden las maltas molidas a la olla de maceración. Esta etapa tendrá una duración de 60 minutos [9], tiempo en el cual se mantendrá la temperatura constante de 65°C mencionada anteriormente y, además, se tendrá una agitación continua por medio de un agitador de paletas que se encuentran al interior del macerador con el fin de generar la mayor conversión de almidón posible. En los primeros 15 minutos se produce más de la mitad de la conversión de almidón y más del 75% se completa después de 30 minutos de maceración [19]. En la **Figura 14** se puede observar la olla de maceración con las maltas molidas y el agua a la temperatura establecida.

Figura 14.

Etapa de maceración.



Nota. Macerado de los tres tipos de malta, a una temperatura de 65°C. El equipo cuenta con un agitador de aspas y un falso fondo.

En los últimos 15 minutos de maceración se genera la conversión del porcentaje faltante de almidón, que se encuentra en los granos más pequeños [19]. En la misma etapa se lleva a cabo un proceso de filtración, con el objetivo de transportar únicamente el mosto líquido a la siguiente etapa (hervido), dejando el residuo sólido (cáscara de malta y demás partículas sólidas) en la olla de maceración.

Esta filtración se realiza a partir de un lavado del grano. Para ello, se utilizan 100 litros de agua provenientes del HLT, la cual está en un rango de temperatura entre los 65°C y los 70°C con el propósito de extraer azúcares que aún no se han desprendido del grano. Es importante que la temperatura del agua no sobrepase los 70°C en esta etapa dado que valores mayores puede extraer cualidades y características indeseadas de la cáscara de la malta [7], [19].

Por otro lado, el falso fondo en la olla de maceración retiene la cáscara y la parte sólida, mientras el líquido pasa y se recircula a la olla hasta evidenciar la clarificación de este a través de la mirilla de vidrio (**Figura 15**), gracias a este instrumento se reconoce cuando la filtración ha finalizado, notando una mínima o nula turbidez en el mosto. Seguido esto, se procede a bombear el mosto líquido a la última olla del tren de cocción, mientras el residuo sólido permanece en la olla de macerado como se ve en la **Figura 16**.

Figura 15.

Mirilla de vidrio del macerador



Nota. Se aprecia la mirilla de vidrio que dispone el macerador para observar el color del mosto y la eficiencia de la filtración (recirculación).

Figura 16.

Afrecho o bagazo



Nota. Residuo de la etapa de maceración, resultante del lavado y filtrado en la olla, compuesto principalmente por la cáscara y material no hidrolizable de la malta.

2.2.3. Hervido

Específicamente en la cocción, se traspasa el mosto líquido proveniente de la olla de macerado a la olla de cocción o hervido y se bombea el agua restante del HLT hacia la olla de hervido para completar los 300 litros planificados. Se calienta la olla con el mosto líquido, buscando alcanzar la temperatura de hervor, que en este caso fue de 94°C por las condiciones ambientales, como se puede evidenciar en el indicador de temperatura presentado en la **Figura 17**. Los equipos implicados en el tren de cocción cuentan con este instrumento, el cual mide la temperatura en grados Fahrenheit (°F) y Celcius (°C), y está diseñado con un rango desde 0 hasta 120°C.

Figura 17.

Indicador de temperatura de la olla de cocción



Nota. Indicador que señala la temperatura a la cual comienza a hervir el mosto (94°C).

Desde el momento en que el mosto llega a la temperatura de ebullición (94°C – 100°C), se presencia en el equipo un fuerte burbujeo y una mayor generación de vapor como se puede observar en la **Figura 18**.

Figura 18.

Cocción del mosto.



Nota. Hervido del mosto, donde se presenta el burbujeo y generación de vapor.

Esta condición se mantiene durante 60 minutos [9], [36] y se realiza la primera adición de 150.5 gramos de lúpulo Bravo al inicio del hervido, como se observa en la **Figura 19**, adición que aporta 20.32 IBUs según la **Tabla 7** que equivale al 76.65% de las unidades de amargor totales (26.51 IBUs) que tendrá el producto de acuerdo a la **Tabla 8**.

Cabe resaltar en esta etapa y como se ha mencionado en capítulos anteriores, que sus principales objetivos son inhibir y eliminar el crecimiento de microorganismos que afecten la levadura y su trabajo en el proceso fermentativo, además gracias a las altas temperaturas, se eliminan compuestos que alteren las características aromáticas y de sabor del producto final [7], [19].

En la olla de cocción presentada en la **Figura 19**, se llevan a cabo las etapas de hervido, whirlpool y enfriado del mosto. La parte superior del recipiente cuenta con una abertura la cual permite visualizar el mosto, añadir los lúpulos correspondientes, además de permitir la evaporación de componentes volátiles no deseados.

Figura 19.

Adición del lúpulo



Nota. Adición de lúpulo al mosto en la etapa de hervido.

Por otro lado, gracias a las temperaturas elevadas que se manejan, la adición de lúpulo genera unas características en cuanto aroma, amargor y sabor esenciales en la cerveza, además de volatilizar el oxígeno disuelto y algunos compuestos indeseables (DMS) [5], [19], adicionalmente, se presenta un aumento en la concentración de azúcares y se intensifica el color [7].

Según lo planteado en la formulación de la cerveza, se realiza una segunda adición de lúpulo Bravo, faltando 15 minutos para completar el tiempo de hervido. Se pesan 64.5 gramos del lúpulo y se agregan a la olla de cocción, los cuales aportan 4.32 IBUs (16.3%) al amargor total de la cerveza.

Al finalizar la hora de hervido, se mide el nivel del mosto lícaracquido en el tanque, indicando un volumen de 280 litros, las pérdidas se deben a la evaporación del agua y de los componentes orgánicos volátiles, siendo aproximadamente entre 4-12% del volumen inicial, dependiendo del tiempo de hervido [19], [42]. En este caso se inició con un volumen de 300 litros, por lo tanto, se pierden 20 litros que equivalen a un 6.67% de pérdida en la etapa de cocción.

2.2.4. Whirlpool

Pasados los 60 minutos de hervido, se apaga el sistema de calentamiento. Al inicio de esta etapa, se pesa y se agregan 250 gramos de lúpulo Cascade, cantidad que aporta de acuerdo a la **Tabla 7**

1.87 IBUs, correspondiente a un 7.04% del amargor total. El objetivo de esta adición no es aumentar en gran medida las unidades de amargor, sino que se enfoca en la parte aromática que este tipo de lúpulo aporta [35].

El propósito de esta etapa es clarificar el mosto, con un tipo de filtración para separar el residuo sólido de lúpulo y demás material sólido que se encuentre en el mosto (hot trub) [43], y por lo tanto evitar un posible bloqueo de los intercambiadores de calor usados en el enfriamiento del mosto [42]. El fundamento de la etapa está en la sedimentación gravitacional del residuo sólido a partir de la generación de un movimiento circular en el mosto a manera de centrífuga, se va precipitando la masa sólida en el fondo del tanque, mientras el mosto líquido se va filtrando para pasar a la etapa de enfriamiento [43]. Este proceso se lleva a cabo a baja velocidad de tal forma que no se oxigene el mosto y evitar que se volatilicen los aromas otorgados por el lúpulo.

2.2.5. Enfriamiento del mosto

Figura 20.

Temperatura final del mosto



Nota. Temperatura final del mosto, acondicionada para iniciar la fase de fermentación.

En esta etapa se busca disminuir la temperatura del mosto a un valor tal que se pueda realizar la inoculación de la levadura para llevar a cabo el proceso de fermentación. Este valor va a depender del tipo de levadura que se utilice que, por ejemplo, para el caso de las levaduras tipo Ale está en

un rango entre los 14°C y los 25°C [9], [19]. Adicionalmente, siendo aún más específicos y siguiendo la ficha técnica del producto adquirido (levadura Safale US-05), se recomienda fermentar a una temperatura entre los 18°C y 28°C [39].

Para lograr este objetivo, el mosto ya filtrado, el cual se encuentra a una temperatura de 70°C se ingresa a un intercambiador de placas en el que se utiliza como fluido de enfriamiento agua proveniente del chiller la cual se encuentra a una temperatura de 2.9°C, consiguiendo que el mosto salga a una temperatura de 18°C como se observa en la **Figura 20**.

2.2.6. Fermentación

Los equipos empleados en esta etapa cuentan con una llave toma muestra en la parte superior; en la parte inferior cuentan con dos llaves para poder retirar la levadura una vez la fermentación haya finalizado y poder llevar a cabo ahí mismo la etapa de maduración.

Figura 21.

Fermentadores



Nota. Fermentadores utilizados en la cervecería artesanal Terra Cruz.

Estos fermentadores por la parte posterior cuentan con un termostato el cual mide la temperatura y mediante una válvula solenoide envía la lectura a un tablero de control.

El tablero de control permite programar su funcionamiento de tal manera que se pueda manejar de manera automática, es decir, programar una temperatura específica a la cual deba permanecer el fermentador o, se puede dejar desactivado de tal manera que el fermentador tenga una fluctuación de temperatura sin control alguno.

Figura 22.

Termostato



Nota. Termostato ubicado en la parte posterior de los fermentadores.

El tablero de control en el lado izquierdo muestra la lectura del fermentador 1 y del lado derecho muestra la lectura del fermentador 2.

Figura 23.

Tablero de control



Nota. La imagen muestra el tablero de control de la temperatura de la chaqueta térmica de los fermentadores.

Para el desarrollo de la etapa de fermentación, primero el mosto acondicionado a la temperatura requerida para la levadura Safale US-05, se divide por mitad en términos de volumen en cada fermentador, llenando el fermentador 1 (F1) con una cantidad de 140 litros de mosto, y el fermentador 2 (F2) se llena con la misma cantidad. Posteriormente se inoculan los fermentadores

con 1 gramo de levadura por litro de mosto (1g/L), a una temperatura de 17°C, se pesan 140 gramos de esta y se adicionan al mosto por la parte superior de cada uno de los equipos como se observa en la **Figura 24**.

Figura 24.

Inoculación de levadura.



Nota. Se añade la levadura para dar inicio a la fermentación.

Una vez realizado este proceso, se configura el tablero de control mostrado en la **Figura 23** de tal forma que dicha configuración permita por un lado mantener al fermentador 2 con una temperatura constante de 18°C mediante el paso de fluido refrigerante proveniente del chiller a través de una chaqueta térmica y, por el otro lado, permita que el fermentador 1 varíe su temperatura sin control alguno.

El mosto se deja fermentando a las condiciones anteriormente mencionadas durante 7 días debido a las recomendaciones del maestro cervecero y con base en la teoría, una fermentación batch tradicional tiene una duración entre 5 y 7 días [5], [42]. Si este tiempo se llega a sobrepasar, se pueden generar compuestos indeseados en la cerveza, como producto del metabolismo de la levadura como por ejemplo diacetilos o ésteres.

2.2.7. Maduración

Pasados los 7 días de fermentación, se retira la levadura por la parte inferior de los fermentadores cónicos y se ajusta la configuración de los mismos en el tablero de control para que pase agua proveniente del chiller a través de las chaquetas térmicas y de esta forma logre mantener la cerveza verde a una temperatura constante de $6^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ [7].

La cerveza permanece en estas condiciones durante 2 semanas, normalmente esta etapa dura entre 2-6 semanas, dependiendo del grado de maduración requerido [8]. En esta etapa se consigue un tipo de asentamiento de la cerveza, en el que las células de levadura restantes, hacen una purga de algunos productos indeseables (acetaldehído, diacetilo) [7]. Gracias a la estructura del equipo, el excedente final de levadura se sedimenta en la parte cónica y de esta manera es separado del producto final, en resumen, es una etapa de adecuación, estabilizando y asentando características organolépticas finales de la cerveza [7], [42].

2.2.8. Carbonatación

El objetivo de esta etapa es aumentar la concentración de CO_2 en la cerveza, lo que conduce a un producto final con más gas y una mayor generación de espuma [7].

El último día de maduración se lleva a cabo el proceso de carbonatación forzada, el cual consiste en inyectar dióxido de carbono en ambos fermentadores a una presión de 15 psi (aproximadamente 1 bar). Se utiliza esta presión debido a que el CO_2 se disuelve mejor en la cerveza a presiones entre 1 y 1.5 bar [44].

No se utiliza el método de carbonatación natural debido a que de ésta forma, implicaría dejar el producto otros 8 días en una segunda fermentación, además se debe agregar azúcar a cada una de las botellas y luego cerrarlas. El problema que trae consigo esto es que, si no se adiciona la cantidad correcta de azúcar, se puede correr el riesgo de que las botellas se revienten en caso de que se exceda la cantidad requerida o, caso contrario, quede baja de carbonatación si se agrega menos de lo requerido.

2.2.9. Envasado y embalaje

Esta es la última etapa que se lleva a cabo en la producción de la cerveza. Cabe aclarar que el producto no puede ser empacado en botellas de plástico o de vidrio color transparente dado que la luz puede oxidar la cerveza. Debido a esto, la mayoría de cervezas comerciales son distribuidas en

botellas color ámbar. Dicho esto, el producto será envasado en botellas de este color con capacidad de 330 ml, y se taparan con tapas tipo corona especiales para este tipo de botellas.

El proceso de embotellado se lleva a cabo en la embotelladora a presión de 5 vías. Primero es necesario esterilizar las botellas y tapas que se van a utilizar con ácido fosfórico de grado alimenticio para poder desinfectar cada elemento del proceso y así evitar contaminación en el producto. Se aplica dicho esterilizante en el interior de las botellas y se deja secando boca abajo, así como se observa en la **Figura 25**

Figura 25.

Desinfección de botellas



Nota. Desinfección y secado de botellas.

En esta etapa se traspa la cerveza de los fermentadores a la embotelladora a través de una manguera estéril. Una vez realizado esto, se ubica una botella en cada una de las boquillas dispensadoras y se procede con el llenado, así como se presenta a continuación en la **Figura 26**.

Figura 26.

Ubicación de botellas en embotelladora



Nota. Se ubican las botellas en cada una de las vías de la embotelladora.

Como se puede observar en la **Figura 26**, el llenado de las botellas se realiza de forma manual abriendo y cerrando las válvulas manuales (azules) que se encuentran en la parte superior de cada una de las botellas. Para iniciar este proceso, primero se realiza una purga, la cual consiste en ingresar una pequeña cantidad de dióxido de carbono a las botellas con el fin de desplazar el oxígeno que hay en ellas y así evitar la mencionada oxidación del producto. Seguido esto, inmediatamente se procede a abrir las válvulas manuales y se empiezan a llenar cada una de las botellas. Cabe resaltar que todas las válvulas se deben abrir al tiempo debido al funcionamiento del equipo, sin embargo, eso no significa que todas se llenen a la misma velocidad.

Una vez llenas las botellas y cerradas las llaves, así como se observa en la **Figura 27**, se retiran cada una de las botellas, se ubica la tapa tipo corona en la parte superior de estas y con una tapadora a presión se cierran manualmente.

Figura 27

Botellas llenas.



Nota. Botellas llenas luego del envasado.

Figura 28.

Tapado de botellas



Nota. La imagen (a) muestra cómo se sobreponen las tapas en la parte superior de la botella. La imagen (b) muestra cómo se ajusta la tapa en la botella y la imagen (c) muestra cómo queda el producto final.

Se repite este proceso hasta que se desocupe el contenido de cada fermentador y queden listas las botellas. A medida que estas se van tapando, se van guardando en cajas de cartón para su posterior transporte y almacenamiento, así como se observa en la **Figura 29**.

Figura 29.

Embalaje de botellas

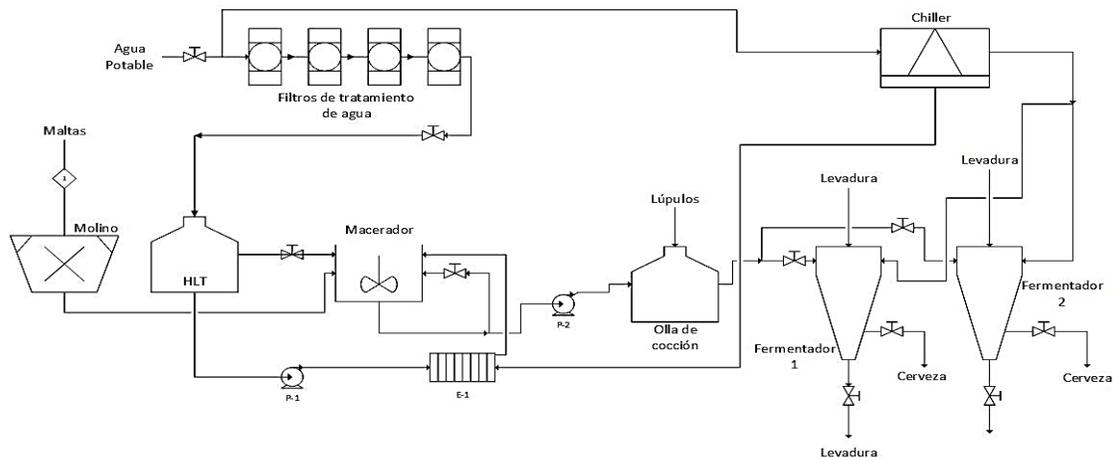


Nota. Embalaje del producto final.

A continuación, se presenta el diagrama de proceso elaborado para la planta de producción de la cervecería artesanal Terra Cruz y el plano de la cervecería se presenta en el **ANEXO 1**.

Figura 30.

Diagrama de proceso



Nota. La imagen describe el diagrama de procesos de la cervecería artesanal Terra Cruz.

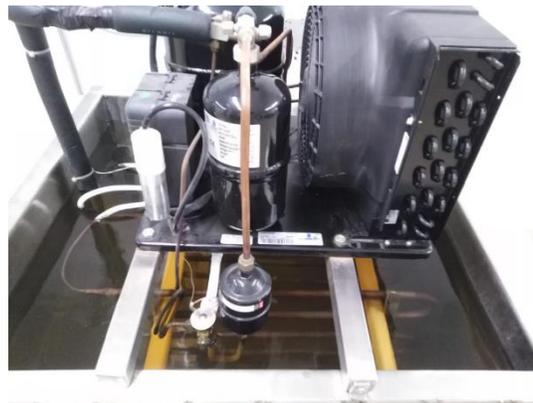
2.3. Equipos Adicionales

Dentro de otros equipos adicionales con los que cuenta esta planta se encuentran bombas centrífugas que permiten el transporte del líquido a través de las tuberías de proceso, intercambiadores de calor de placas para realizar el acondicionamiento energético del mosto en las etapas que lo requieran y un chiller, equipo que permite realizar la refrigeración térmica en los fermentadores de tal manera que se pueda mantener la temperatura controlada.

Con el agua enfriada por el chiller se intercambia calor con la corriente de agua ya purificada en la secuencia de filtros, que se utiliza posteriormente para el enfriamiento del mosto.

Figura 31.

Chiller



Nota. Chiller para acondicionamiento del agua en la planta de Terra Cruz, con serpentín para enfriamiento.

En el proceso de preparación del mosto se utilizan tres intercambiadores de calor de placas, el primero es utilizado para enfriar el agua purificada a partir de otra corriente proveniente de un chiller. Los otros dos intercambiadores están presentes para hacer un intercambio de calor entre el mosto caliente y el agua purificada fría con el objetivo de enfriar el mosto, para posteriormente llevar a fermentación.

Figura 32.

*Intercambiador de calor de
placas*



Nota. Intercambiador de calor de placas usado en la planta de Terra Cruz.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados en el presente proyecto, se hace uso de unas metodologías específicas para la determinación de los datos requeridos.

De forma general, durante los 7 días de fermentación, se tomaron 3 muestras diarias de cada uno de los fermentadores evaluados. Estas muestras se llevaron y analizaron en los laboratorios de la Universidad de América. Adicionalmente, cada una de las variables que serán mencionadas fueron medidas 3 veces por muestra con el fin de garantizar una lectura más precisa.

3.1. Determinación de sólidos disueltos

Los °Brix permiten determinar la cantidad de sólidos disueltos presente en la solución. Para realizar esta medición se utilizó un refractómetro digital, el cual además de dar el valor que se requiere, entrega también el valor correspondiente al índice de refracción. Primero, se calibra el equipo colocando unas gotas de agua destilada sobre el prisma, y se toma el valor, el cual debe ser de 0. Posteriormente, se limpia el prisma y se colocan unas gotas de la solución a analizar, que para el presente caso será el mosto que se está fermentando y se toma el dato del valor obtenido.

Figura 33.

Refractómetro digital



Nota. Se muestra la medición de los °Brix para una muestra de mosto.

La lectura de este valor corresponde a la cantidad de sacarosa disuelta en 100 gramos de solución, es decir, 1°Brix corresponde entonces a 1 gramo de sacarosa disuelto en 100 gramos de solución [46].

Figura 34.

Tabla de equivalencias °Brix - °Plato – Gravedad específica

Brix	Plato	SG	Brix	Plato	SG	Brix	Plato	SG	Brix	Plato	SG
0.0	0.0	1000.0	8.0	8.3	1033.1	16.0	16.6	1068.2	24.0	25.0	1105.5
0.2	0.2	1000.8	8.2	8.5	1034.0	16.2	16.8	1069.1	24.2	25.2	1106.4
0.4	0.4	1001.6	8.4	8.7	1034.8	16.4	17.1	1070.0	24.4	25.4	1107.4
0.6	0.6	1002.4	8.6	8.9	1035.7	16.6	17.3	1070.9	24.6	25.6	1108.4
0.8	0.8	1003.2	8.8	9.2	1036.5	16.8	17.5	1071.8	24.8	25.8	1109.3
1.0	1.0	1004.0	9.0	9.4	1037.4	17.0	17.7	1072.7	25.0	26.0	1110.3
1.2	1.2	1004.8	9.2	9.6	1038.2	17.2	17.9	1073.7	25.2	26.2	1111.3
1.4	1.5	1005.7	9.4	9.8	1039.1	17.4	18.1	1074.6	25.4	26.4	1112.2
1.6	1.7	1006.5	9.6	10.0	1040.0	17.6	18.3	1075.5	25.6	26.6	1113.2
1.8	1.9	1007.3	9.8	10.2	1040.8	17.8	18.5	1076.4	25.8	26.8	1114.2
2.0	2.1	1008.1	10.0	10.4	1041.7	18.0	18.7	1077.3	26.0	27.0	1115.2
2.2	2.3	1008.9	10.2	10.6	1042.6	18.2	18.9	1078.2	26.2	27.2	1116.1
2.4	2.5	1009.7	10.4	10.8	1043.4	18.4	19.1	1079.1	26.4	27.5	1117.1
2.6	2.7	1010.6	10.6	11.0	1044.3	18.6	19.3	1080.1	26.6	27.7	1118.1
2.8	2.9	1011.4	10.8	11.2	1045.2	18.8	19.6	1081.0	26.8	27.9	1119.1
3.0	3.1	1012.2	11.0	11.4	1046.0	19.0	19.8	1081.9	27.0	28.1	1120.1
3.2	3.3	1013.0	11.2	11.6	1046.9	19.2	20.0	1082.8	27.2	28.3	1121.0
3.4	3.5	1013.8	11.4	11.9	1047.8	19.4	20.2	1083.8	27.4	28.5	1122.0
3.6	3.7	1014.7	11.6	12.1	1048.6	19.6	20.4	1084.7	27.6	28.7	1123.0
3.8	4.0	1015.5	11.8	12.3	1049.5	19.8	20.6	1085.6	27.8	28.9	1124.0
4.0	4.2	1016.3	12.0	12.5	1050.4	20.0	20.8	1086.6	28.0	29.1	1125.0
4.2	4.4	1017.1	12.2	12.7	1051.3	20.2	21.0	1087.5	28.2	29.3	1126.0
4.4	4.6	1018.0	12.4	12.9	1052.2	20.4	21.2	1088.4	28.4	29.5	1127.0
4.6	4.8	1018.8	12.6	13.1	1053.0	20.6	21.4	1089.4	28.6	29.7	1128.0
4.8	5.0	1019.6	12.8	13.3	1053.9	20.8	21.6	1090.3	28.8	30.0	1129.0
5.0	5.2	1020.5	13.0	13.5	1054.8	21.0	21.8	1091.2	29.0	30.2	1130.0
5.2	5.4	1021.3	13.2	13.7	1055.7	21.2	22.0	1092.2	29.2	30.4	1131.0
5.4	5.6	1022.1	13.4	13.9	1056.6	21.4	22.3	1093.1	29.4	30.6	1132.0
5.6	5.8	1023.0	13.6	14.1	1057.5	21.6	22.5	1094.1	29.6	30.8	1133.0
5.8	6.0	1023.8	13.8	14.4	1058.3	21.8	22.7	1095.0	29.8	31.0	1134.0
6.0	6.2	1024.7	14.0	14.6	1059.2	22.0	22.9	1095.9	30.0	31.2	1135.0
6.2	6.4	1025.5	14.2	14.8	1060.1	22.2	23.1	1096.9	30.2	31.4	1136.0
6.4	6.7	1026.3	14.4	15.0	1061.0	22.4	23.3	1097.8	30.4	31.6	1137.0
6.6	6.9	1027.2	14.6	15.2	1061.9	22.6	23.5	1098.8	30.6	31.8	1138.0
6.8	7.1	1028.0	14.8	15.4	1062.8	22.8	23.7	1099.7	30.8	32.0	1139.0
7.0	7.3	1028.9	15.0	15.6	1063.7	23.0	23.9	1100.7	31.0	32.2	1140.0
7.2	7.5	1029.7	15.2	15.8	1064.6	23.2	24.1	1101.6	31.2	32.4	1141.0
7.4	7.7	1030.6	15.4	16.0	1065.5	23.4	24.3	1102.6	31.4	32.7	1142.1
7.6	7.9	1031.4	15.6	16.2	1066.4	23.6	24.5	1103.6	31.6	32.9	1143.1
7.8	8.1	1032.3	15.8	16.4	1067.3	23.8	24.8	1104.5	31.8	33.1	1144.1

Nota. Tabla de equivalencias °Brix - °Plato – Gravedad específica para realizar las correcciones correspondientes. Tomado de: http://braukaiser.com/documents/Kaiser_Brix_Plato_SG_table.pdf (consultado may 03, 2021) [49]

Los °Brix son la escala mayormente usada en industrias como zumos de frutas, refrescos, bebidas carbonatadas, entre otras. Sin embargo, esta escala como bien se mencionó anteriormente, sólo contempla la sacarosa presente en la solución, siendo insuficiente, ya que se sabe que el mosto contiene otras moléculas como maltosa y maltotriosa. Para tener en cuenta estas moléculas, en la industria cervecera se utiliza la escala Plato o °Plato, los cuales permiten medir el contenido de azúcar disponible en el mosto. Así, 1°Plato será igual a tener 1 gramo de extracto en 100 gramos de mosto [47].

Como ya se tiene el dato de los °Brix correspondientes a cada día de fermentación, se utilizan las equivalencias mostradas en la **Figura 34** para poder pasar este valor a los correspondientes °Plato realizando las interpolaciones para cada uno de los datos obtenidos, o bien, si se quiere utilizar una relación, se puede decir que $1^{\circ}\text{Plato} = 1.04^{\circ}\text{Brix}$ [48].

3.2. Densidad y grado de alcohol (%ABV)

La densidad es la relación que existe entre la masa y el volumen bien sea de una sustancia o un sólido. Para llevar a cabo la ejecución del presente objetivo, se utiliza la densidad para realizar el cálculo del porcentaje de alcohol que se forma en la cerveza haciendo uso de la siguiente ecuación [46]

$$\%ABV = (D_i - D_f) * 131,25 \quad (10)$$

Para calcular la densidad se utilizó un picnómetro de 25 ml. Se tomó el peso de este instrumento estando vacío, se llenaba con la muestra a analizar y se volvía a pesar. La resta de estos dos valores obtenidos corresponde a la masa del mosto, y este dato se divide entre el volumen del picnómetro para obtener así el valor de la densidad.

Sin embargo, este valor también debe ser corregido dado que, a medida que pasan los días durante el proceso de fermentación, el consumo de sustrato genera producción de etanol. Esto quiere decir que el valor de la densidad puede estar desviado debido a la presencia de alcohol en la muestra.

Figura 35.

Toma de la densidad



Nota. Se presenta la medición de la masa del picnómetro lleno de mosto para calcular la densidad del mismo.

La corrección de este valor se hace mediante el uso de los ya obtenidos °Plato usando la siguiente ecuación [50]

$$SG = 1 + \left(\frac{\text{°Plato}}{258.6 - \left(\frac{\text{°Plato}}{258.2} * 227.1 \right)} \right) \quad (11)$$

La ecuación (11) entrega el valor de la gravedad específica. Para obtener el valor de la densidad, se multiplica el valor obtenido por la densidad de la sustancia de referencia (agua) el cual se toma como 1.00 g/cm³. De esta forma, se obtiene la densidad corregida y con este valor, se utiliza la ecuación (10) para poder tener el valor del porcentaje de alcohol en volumen.

3.3. Concentración de biomasa (levadura)

Para cuantificar la concentración de biomasa en el tiempo de fermentación, se llevó a cabo a partir de dos métodos distintos: el método de siembra en placa *Petriefilm* 3M y método de siembra en caja de Petri.

3.3.1. Siembra en placa Petrifilm 3M

Este método es específico para el crecimiento de mohos y levaduras, estas placas son un medio de cultivo listo para usar, que contiene nutrientes de *Sabhi* (infusión de tejidos animales, peptona, tampón fosfato y glucosa) [55], dos antibióticos (clorotetraciclina y cloramfenicol), indicador de fosfatos y un tinte indicador para facilitar el recuento [56]. En la **Figura 36** se presenta una placa limpia para esta cuantificación.

Figura 36.

Placas 3M Petrifilm para recuento de hongos y levaduras



Nota. Empaque y placa limpia para cuantificación de levaduras y mohos. Tomado de “3M - Placas Petrifilm™ para Recuento de Hongos y Levaduras”. <https://somosadvance.com/productos/3m-placas-petrifilm-para-recuento-de-hongos-y-levaduras/> (consultado may 18, 2021) [57]

Esta metodología es usada por su aplicación en alimentos, en este caso, una bebida fermentada. Estas placas tienen beneficios como la optimización de recursos, una menor variabilidad y por ende resultados consistentes junto con una mayor confiabilidad ya que son placas aprobadas internacionalmente (AOAC, APHA) y son fabricadas bajo norma ISO 9001 [56].

Para la siembra en este tipo de placas, se deben realizar diluciones en serie de la muestra a analizar con diluyentes estériles (sal peptonada, agua peptonada, agua destilada, solución salina, etc.) [58]. En el presente desarrollo, se utilizó solución salina estéril al 0.9% debido a su fácil adquisición en comparación con los otros diluyentes. El agua destilada se descartó dado que, si el procedimiento no se realizaba de manera rápida y correcta, podía causar apoptosis en las células, perjudicando el procedimiento.

Debido a la falta de insumos y materiales disponibles para continuar con el conteo en placas *petrifilm*, los últimos días de fermentación se preparó el medio de cultivo agar papa dextrosa, el cual también es recomendado internacionalmente (APHA y FDA) para el cultivo de hongos y levaduras [58].

Para llevar a cabo este procedimiento, se requieren 6 tubos de ensayo, una micropipeta, puntas para micropipeta estériles, 6 placas *Petrifilm* para levaduras y mohos, dispersor, autoclave, gradilla, incubadora, 2 mecheros, etanol y bolsas de solución salina estéril al 0.9%, además de tener las muestras de cada fermentador para su respectivo análisis.

Al ser un procedimiento microbiológico, todo el material debe estar completamente estéril. Para ello, se lavan con etanol los tubos de ensayo y las puntas para micropipeta y posteriormente, son llevadas a la autoclave. Mientras el material es esterilizado, se limpia el área de trabajo con etanol y se encienden dos mecheros para mantener el aire lo más estéril posible.

Se procede a realizar las diluciones en serie, para ello, se proponen 3 diluciones para cada muestra de cada fermentador, siendo éstas 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} . Una vez establecido esto, se ubican los tubos de ensayo en la gradilla y se añade en cada uno 9 ml de solución salina.

Para la dilución de 10^{-1} , se añade 1 ml de la muestra a analizar en el primer tubo de ensayo y se homogeniza el contenido. Seguido esto, se toma 1 ml de la solución que se acaba de obtener y se añade al segundo tubo de ensayo para realizar la dilución de 10^{-2} e igualmente, se homogeniza. Finalmente, de ésta última solución, se toma 1 ml y se añade al tercer tubo de ensayo, obteniendo de esta manera la dilución del 10^{-3} [59].

Una vez listas las diluciones, se inoculan las placas *Petrifilm*. Para ello, se levanta la película superior de la placa y se añade 1 ml de la dilución en el centro, se deja caer la película y, por último, se coloca el dispersor sobre la placa con el fin de homogenizar la muestra, se retira el

dispersor y se espera un minuto hasta que solidifique el gel [58]. Este procedimiento se repite con cada una de las diluciones realizadas

Finalmente, las placas inoculadas se marcan y se llevan a la incubadora, así como se puede observar en la **Figura 37**. De acuerdo a la ficha técnica de estas placas, se recomienda dejarlas en la incubadora por un tiempo de 3 a 5 días a una temperatura entre los 20°C y los 25°C [58]. Para el presente caso, el tiempo de incubación fue de 5 días y se dejó a una temperatura programada de 25°C, sin embargo, el equipo permanecía cerca de los 30°C, valor que es igualmente permitido dado que este tipo de hongos crecen a temperaturas entre los 10°C y los 35°C [59].

Todo el procedimiento descrito hasta este punto se realizó a diario durante los primeros 5 días de fermentación.

Figura 37.

Incubación de placas Petrifilm



Nota. Placas para cuantificar la concentración de levadura en el proceso fermentativo, incubadas durante 5 días a 30°C.

3.3.2. Siembra en caja de Petri

Para este método, se requieren 6 tubos de ensayo, 1 Erlenmeyer de 250 ml, 3 vidrios de reloj, espátula, una micropipeta, balanza analítica, puntas para micropipeta, 6 cajas de Petri, agar bacteriológico (agar-agar), almidón de papa, glucosa, autoclave, gradilla, incubadora, cabina de flujo laminar, etanol, agua destilada, bolsas de solución salina estéril al 0.9% y 1 muestra diaria de cada fermentador con la solución a analizar (fermentado).

Para preparar 1000 mililitros de medio de cultivo agar papa dextrosa, se le debe agregar a un litro de agua destilada, 15 gramos de agar bacteriológico, 4 gramos de almidón de papa y 20 gramos de dextrosa. Sin embargo, para el presente trabajo se prepararon sólo 200 ml de medio manteniendo la proporción de las cantidades, con la diferencia que, en lugar de dextrosa, se utiliza glucosa. Adicionalmente, para garantizar una disolución completa, se recomienda calentar el medio de cultivo hasta su punto de ebullición durante un minuto [60]

Cabe resaltar que esta preparación se realiza en una cabina de flujo laminar procurando que el ambiente sea lo más estéril posible.

Figura 38.

Preparación del medio de cultivo



Nota. Preparación del medio de cultivo agar papa dextrosa en la cámara de esterilización.

Una vez listo el medio de cultivo, se lleva a esterilización en la autoclave junto con todos los otros materiales a emplear, así como se muestra en la **Figura 39**. Una vez finaliza el ciclo de la autoclave, se deja enfriar el medio de cultivo a una temperatura entre los 45°C y los 50°C para luego proceder a distribuirlo en las cajas de Petri haciendo uso nuevamente de la cabina de flujo laminar [60].

Mientras se alcanza la temperatura requerida, se preparan las diluciones en los tubos de ensayo siguiendo el procedimiento ya descrito para el anterior método. Una vez alcanzada esta temperatura, el medio se distribuye en las 6 cajas de Petri y se procede a inocular con 1 ml de cada dilución las respectivas cajas de Petri, así como se puede observar en la **Figura 40** .

Las cajas de Petri son selladas con cinta Parafilm para evitar derrames, se marcan cada una de ellas y, son almacenadas en la incubadora durante 5 días a una temperatura programada de 25°C.

Figura 39.

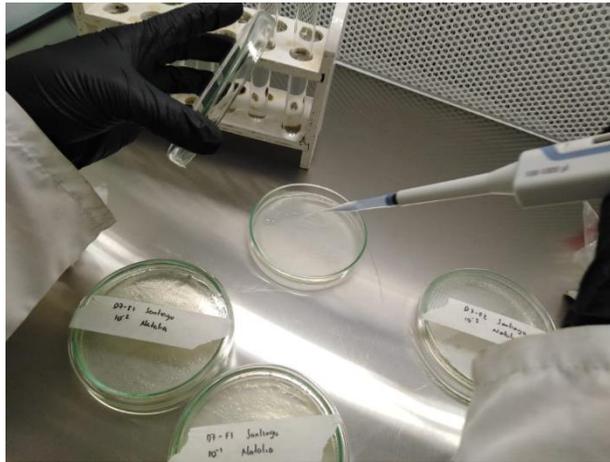
Esterilización del material



Nota. Se presenta el autoclave con el material a esterilizar.

Figura 40.

Inoculación en cajas de Petri



Nota. Inoculación de las diluciones en el medio de cultivo, procedimiento realizado en la cabina de flujo laminar.

Incubadas las muestras, cada 5 días se van retirando las placas *Petrifilm* y cajas de Petri del equipo y se realiza un conteo manual o visual, el cual puede traer consigo posibles errores experimentales, ya que no se cuenta con los equipos y tecnologías para realizar un conteo más preciso.

A partir del conteo realizado con las muestras de cada fermentador, se procede a calcular la concentración de biomasa en cada día de fermentación, de la siguiente manera [59].

$$X \left(\frac{UFC}{ml} \right) = \frac{\sum C}{D \cdot 1,1 \cdot V_s} \quad (12)$$

En la ecuación anterior, X es la concentración de biomasa en unidades de UFC/ml, $\sum C$ es la suma de colonias de levadura en la placa o caja de Petri específica en unidades de UFC, D es la dilución (10^{-1} o 10^{-2} o 10^{-3}) sembrada en la placa o caja de Petri y V_s es el volumen sembrado de la dilución en la placa o caja de Petri, para este trabajo V_s es igual a 1 ml para todas las siembras.

3.4. Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales del producto final

Para el desarrollo y cumplimiento del último objetivo, se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales para garantizar que los productos obtenidos cumplieran con la normativa que respalda a la cerveza artesanal en Colombia, que fuera apto para consumo humano y adicionalmente, que fuera aprobado tanto por consumidores comunes como por maestros cerveceros de tal modo que se calificara qué tan cerca o lejos se estuvo del estilo de cerveza planteado.

Dicho esto, se tomaron 6 cervezas de cada fermentador y, cada uno de las variables analizadas se midieron y cuantificaron por triplicado con el fin de garantizar una lectura lo más correcta posible. El análisis microbiológico se realizó haciendo uso de placas 3M Petrifilm de E.coli, y coliformes y mesófilos aerobios.

El análisis fisicoquímico fue realizado midiendo pH, °Brix y densidad. Finalmente, el análisis sensorial se realizó en dos partes, por un lado, se realizó una encuesta a consumidores comunes de cerveza artesanal con el fin de ver la aprobación del producto por parte de los mismos y, por otro lado, la cerveza fue evaluada por maestros cerveceros con el objetivo de evaluar cómo interfirió el efecto de la temperatura en la fermentación sobre el estilo de cerveza propuesto.

4. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO ETANOL/SUSTRATO DEL PROCESO FERMENTATIVO EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL BLONDE ALE

En este apartado es importante tener en cuenta la reacción química que representa la fermentación con el fin de poder calcular el rendimiento teórico que tiene este proceso y poder realizar el análisis correspondiente para cada uno de los ensayos realizados.



De acuerdo a la relación estequiométrica planteada a partir de la reacción química mostrada, una mol de glucosa produce 2 moles de etanol y 2 moles de dióxido de carbono.

$$1 \text{ g}_{glucosa} \cdot \frac{1 \text{ mol}_{glucosa}}{180,156 \text{ g}_{glucosa}} \cdot \frac{2 \text{ mol}_{etanol}}{1 \text{ mol}_{glucosa}} \cdot \frac{46,07 \text{ g}_{etanol}}{1 \text{ mol}_{etanol}} = 0,511 \text{ g}_{etanol} \quad (13)$$

Teniendo en cuenta la ecuación (13), por cada gramo de glucosa que entre en el proceso se van a producir 0,511 gramos de etanol, logrando así un rendimiento teórico del 51,1%.



Visto desde la transformación de la sacarosa, según la reacción química planteada [45] se puede observar que una mol de sacarosa produce 4 moles de etanol, teniendo así un rendimiento estequiométrico teórico del 53,8%, el cual es calculado de la siguiente forma

$$1 \text{ g}_{sacarosa} \cdot \frac{1 \text{ mol}_{sacarosa}}{342,3 \text{ g}_{sacarosa}} \cdot \frac{4 \text{ mol}_{etanol}}{1 \text{ mol}_{sacarosa}} \cdot \frac{46,07 \text{ g}_{etanol}}{1 \text{ mol}_{etanol}} = 0,538 \text{ g}_{etanol} \quad (14)$$

4.1. Cálculo del rendimiento etanol / sustrato

Con los datos obtenidos a partir del muestreo diario durante la fermentación alcohólica realizada, el rendimiento del producto versus el sustrato ($Y_{P/S}$) consumido se calcula de la siguiente forma

$$Y_{P/S} = \frac{P_f - P_i}{S_i - S_f} \times 100 \quad (15)$$

En donde P_f y P_i corresponden a los gramos de producto final e inicial respectivamente, S_i los gramos de sustrato iniciales y S_f los gramos de sustrato finales, teniendo así la relación entre la cantidad de etanol producido respecto a la cantidad de sustrato consumido.

Para poder calcular dicho rendimiento, se calculan los gramos de etanol producidos utilizando la siguiente ecuación [51]

$$\text{Gramos alcohol puro} = \frac{\text{volumen (\%ABV)}(0.8)}{100} \quad (16)$$

El uso de esta fórmula requiere el volumen de la muestra el cual será tomado como 25ml, el 0,8 es la densidad de etanol en g/ml y, el %ABV como se ha mencionado anteriormente, es el porcentaje de alcohol contenido en la muestra.

Luego, se determinan los gramos de sustrato consumido haciendo uso de los °Plato calculados anteriormente junto con la densidad corregida en unidades de g/cm³ y un volumen de muestra equivalente a 25ml.

$$\text{Gramos sustrato} = \text{°Plato} \cdot \rho_{\text{corregida}} \cdot V_{\text{muestra}} \quad (17)$$

4.1.1. Rendimiento del Fermentador 1

Teniendo en cuenta que cada fermentador se encontraba en condiciones de operación diferentes, se realiza el cálculo del rendimiento $Y_{p/s}$ de manera individual para cada uno.

Para determinar los gramos de etanol producidos para este ensayo, se reemplazan los valores en la ecuación (16)

$$\text{Gramos alcohol puro} = \frac{25 \text{ ml} (4.0571)(0.8)}{100} = 0.8114 \text{ g} \quad (18)$$

Seguido esto, se calcula la cantidad de sustrato inicial y final, así como se muestra a continuación

$$\text{Sustrato}_{\text{inicial}} = \frac{14,4 \text{ g}_{\text{sustrato}}}{100 \text{ g}_{\text{mosto}}} \cdot 1.058 \frac{\text{g}_{\text{mosto}}}{\text{cm}^3_{\text{muestra}}} \cdot 25 \text{ cm}^3_{\text{muestra}} = 3.8264 \text{ g}_{\text{sustrato}} \quad (19)$$

$$Sustrato_{final} = \frac{6.766 g_{sustrato}}{100 g_{mosto}} \cdot 1.0279 \frac{g_{mosto}}{cm^3_{muestra}} \cdot 25 cm^3_{muestra} = 1.808 g_{sustrato} \quad (20)$$

Una vez obtenido los gramos de etanol producidos y los gramos de sustrato consumidos se puede hacer uso de la ecuación (15)

$$Y_{P/S} = \frac{(0.8114 - 0)g_{etanol}}{(3.8264 - 1.808)g_{sustrato}} = 0.4021 \frac{g_{etanol}}{g_{sustrato}} \quad (21)$$

Con este valor, se puede determinar que el rendimiento del producto versus el sustrato es del 40,21%, es decir que, por cada gramo de sustrato consumido, se producen 0.4021 gramos de etanol. Comparando el rendimiento experimental contra el rendimiento teórico tanto del 51,1% para la transformación de glucosa, como para el 53,8% para la transformación de sacarosa, se calcula que el rendimiento fue del 78.68% y del 75.86% respectivamente sobre el 100% posible.

4.1.2. Rendimiento del Fermentador 2

Este cálculo se realiza de la misma forma que se hizo para el fermentador 1, con los correspondientes datos de este ensayo.

Dicho esto, los gramos de etanol producidos serán entonces

$$Gramos alcohol puro = \frac{25 ml (4.1308)(0.8)}{100} = 0.8261 g \quad (22)$$

La cantidad inicial y final de sustrato será

$$Sustrato_{inicial} = \frac{14,144 g_{sustrato}}{100 g_{mosto}} \cdot 1.0575 \frac{g_{mosto}}{cm^3_{muestra}} \cdot 25 cm^3_{muestra} = 3.8264 g_{sustrato} \quad (23)$$

$$Sustrato_{final} = \frac{6.633 g_{sustrato}}{100 g_{mosto}} \cdot 1.0273 \frac{g_{mosto}}{cm^3_{muestra}} \cdot 25 cm^3_{muestra} = 1.771 g_{sustrato} \quad (24)$$

Con estos datos, se procede a calcular el rendimiento obtenido para el fermentador 2

$$Y_{P/S} = \frac{(0.8261 - 0)g_{etanol}}{(3.8264 - 1.771)g_{sustrato}} = 0.4199 \frac{g_{etanol}}{g_{sustrato}} \quad (25)$$

Teniendo este resultado, se puede establecer que el rendimiento del producto versus el sustrato es del 41,99%, es decir que, por cada gramo de sustrato consumido, se producen 0.4199 gramos de etanol. Comparando el rendimiento experimental contra el rendimiento teórico tanto del 51,1% para la transformación de glucosa, como para el 53,8% para la transformación de sacarosa, se calcula que el rendimiento fue del 82.17% y del 79.23% respectivamente sobre el 100% posible, siendo estos rendimientos mayores con relación a los obtenidos para el fermentador 1.

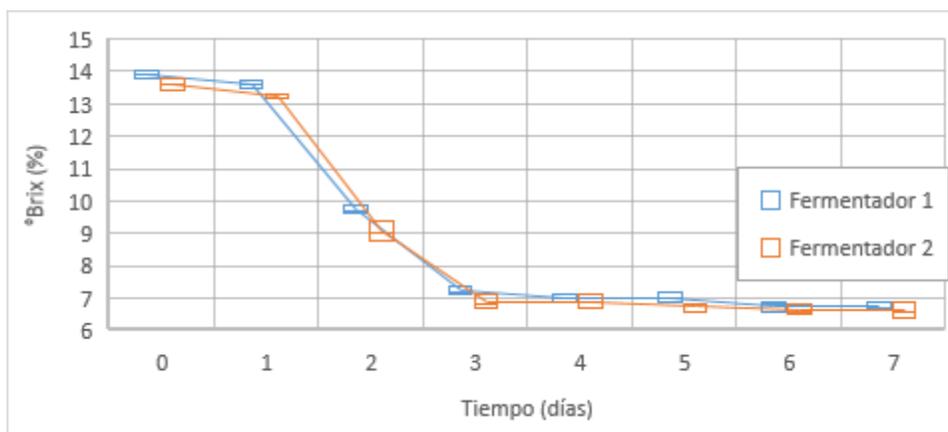
4.2. Análisis de resultados

Una vez realizado todo el proceso para la elaboración de la cerveza y analizadas las muestras diarias tomadas durante la fermentación se obtienen los siguientes resultados en cada uno de los fermentadores de °Brix, %ABV y °Plato. Para los resultados obtenidos, de forma gráfica se presenta la desviación estándar, el valor máximo y mínimo para cada rango de datos tomado en ambos casos de fermentación evaluados.

Cabe aclarar que, en la determinación de la densidad para el cálculo de la concentración de etanol, los equipos e insumos utilizados (ver capítulo 3) se trabajaron en un rango de temperatura entre 15,1 a 17,3 °C.

Figura 41.

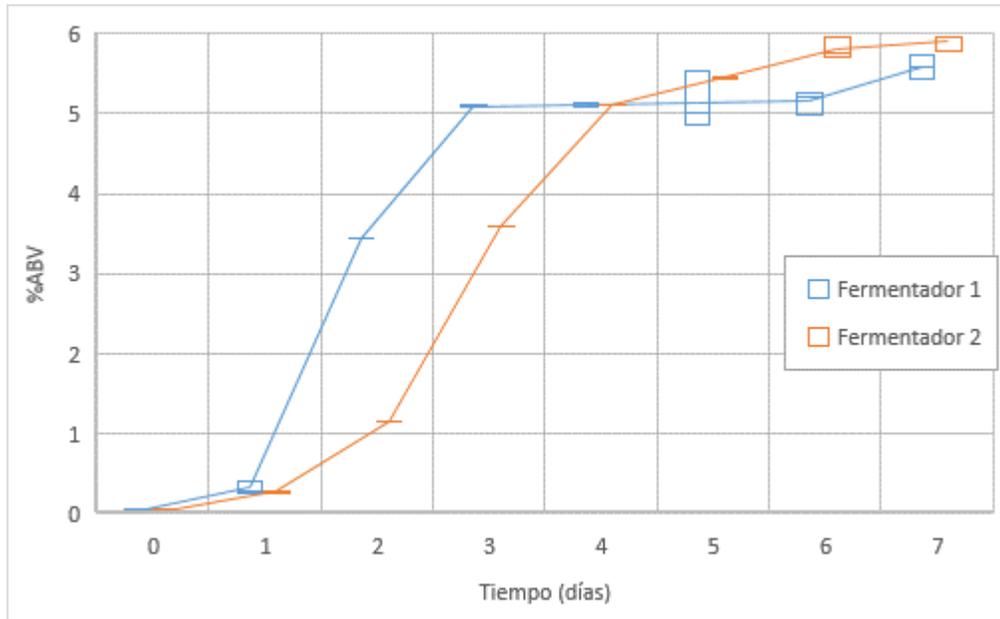
Gráfica de °Brix contra tiempo



Nota. Se presenta el comportamiento de los °Brix en función del tiempo medido en días de fermentación, datos tomados en un rango de temperatura entre 14,3 a 16,9 °C.

Figura 42.

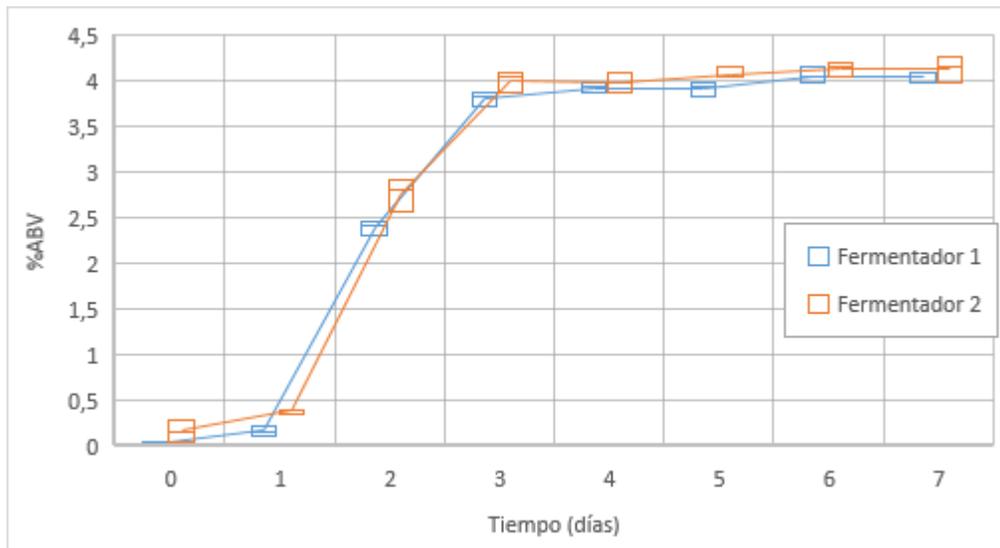
Gráfica de alcohol contra tiempo (%ABV)



Nota. Se presenta el aumento del porcentaje de alcohol (%ABV) en función del tiempo.

Figura 43.

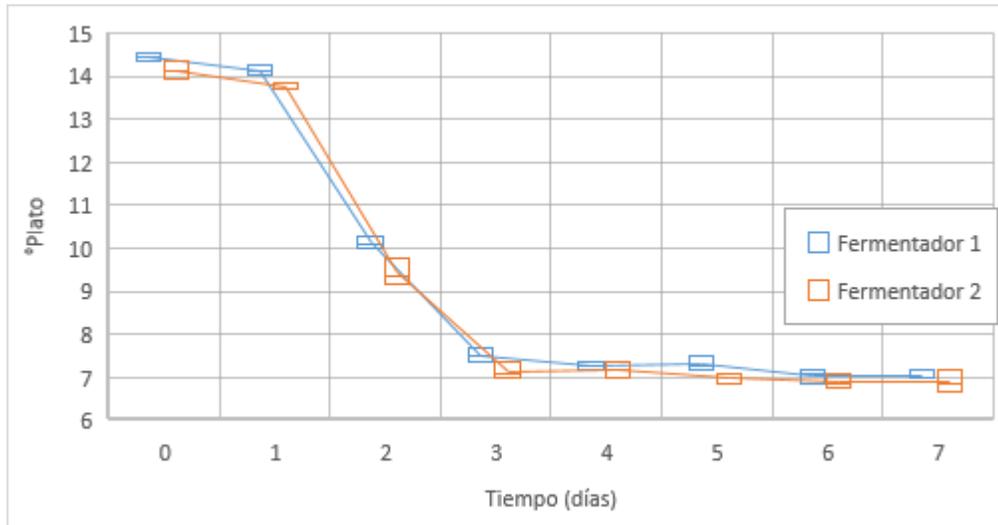
Gráfica de alcohol corregido contra tiempo



Nota. Se presenta la gráfica del %ABV realizada a partir de los datos corregidos de la densidad.

Figura 44.

Gráfica de °Plato contra tiempo



Nota. Se presenta el comportamiento de los °Plato en función del tiempo

Como se puede observar en las gráficas mostradas anteriormente, a medida que disminuyen los °Brix, aumenta el porcentaje de alcohol en la bebida. Una vez que la levadura inicia el consumo de los azúcares fermentables disponibles en el mosto, estos empiezan a disminuir mientras son transformados en moléculas de etanol, CO₂ y otros metabolitos secundarios.

Así mismo, a pesar de que los valores de los °Plato son un poco más altos que los °Brix, se puede evidenciar en la **Figura 44** que presentan la misma tendencia. Esto se debe a que los °Plato siguen representando la cantidad de sustrato disponible en el mosto, con la diferencia que contempla otras moléculas de azúcar derivadas de la malta.

De acuerdo con otras investigaciones realizadas, el rendimiento de este proceso a nivel industrial se encuentra entre el 87% y el 93% con respecto al teórico, es decir, entre el 44% y el 47% [52]. Visto desde una forma más medible, autores como Katheryn Campoverde reporta que el mayor rendimiento que logró obtener para la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es del 49% logrando una concentración de etanol de 89,72 g/L y, para otro ensayo, obtuvo un rendimiento de 46,35% [26].

Sin embargo, para el proceso desarrollado se puede evidenciar que no se obtuvo un rendimiento tan alto como lo esperado. De manera general, el rendimiento del proceso se vio afectado por varios factores. En primer lugar, se debe tener en cuenta que los granos de malta adicionados al

proceso no son en su totalidad azúcares. De acuerdo a la ficha técnica de cada una de las maltas utilizadas, cada una de ellas contiene el porcentaje de extracto seco capaz de transformar, además de contener también proteínas y otros compuestos de interés para la fermentación.

Tabla 9.

Contenido de extracto de malta

Tipo de malta	Porcentaje de extracto de malta
Pilsen	81,60%
Caramel Pils	79,7%
Caramunich II	79,2%

Nota. Se presenta el porcentaje de extracto de malta que contiene cada malta utilizada. Datos tomados de: “Bestmalz”, 2017. https://bestmalz.de/files/Malzbroschuere_EN_Version_201709.pdf (consultado may. 05, 2021).

Para determinar el porcentaje de extracto de malta que contiene el mosto, se debe tener en cuenta la cantidad añadida de cada una de ellas al proceso y se multiplica por el porcentaje correspondiente mostrado en la **Tabla 9**. Teniendo en cuenta dicha secuencia de cálculo, se determina que de los 71.29 kg de malta total ingresados al proceso, el 81.28%, es decir, 57.948 kg corresponden al extracto seco de malta.

En segundo lugar, la cantidad de azúcares disponibles para la levadura no se pueden convertir en su totalidad únicamente en etanol dado que, el microorganismo aprovecha el sustrato disponible en el medio para la producción de metabolitos secundarios fundamentales para su desarrollo y crecimiento [52], [20]. Dichos metabolitos, que pueden ser alcoholes pesados, ésteres, ácidos orgánicos, dicetonas vecinales y aldehídos, se pueden generar debido a las vías alternas que puede tomar el piruvato dentro de la ruta metabólica de la glucólisis [53].

En tercer lugar, como se presentó en las reacciones químicas anteriormente mostradas, se puede evidenciar que el consumo de azúcares (ya sea glucosa o sacarosa) no solo se transforma en etanol, sino también, en dióxido de carbono [25].

Finalmente, se debe tener en cuenta que los equipos en la planta de producción tampoco tienen una eficiencia del 100%. Para el presente caso, se establece que los equipos operan con un 70% de

eficiencia de acuerdo con las características técnicas entregadas por el fabricante para cada uno de ellos.

Ahora bien, realizando un análisis particular para cada fermentador, se puede observar que el fermentador 2 obtuvo un mayor rendimiento con respecto al primero. Esto sucede como consecuencia del control de temperatura que se realizó para el segundo equipo, siendo la única variable con un rango diferente para los dos casos evaluados.

Como se puede observar en la **Figura 41**, el consumo de sustrato se realiza de manera más pronunciada los primeros días en el primer fermentador, el cual no tenía control de temperatura, mientras para el fermentador 2 la tendencia de consumo del sustrato es más controlada, con un mayor trabajo por parte de la levadura del día 1 al 3.

De acuerdo a lo anterior, la levadura además de transformar el sustrato consumido en etanol, utilizara dicho sustrato para el mantenimiento celular, es decir, el estrés que genera el cambio constante de temperatura causa que el microorganismo modifique su estructura celular de tal forma que le permita adaptarse a las condiciones variantes del medio interfiriendo de manera directa sobre la cantidad de etanol producido [22].

Adicionalmente, como se puede evidenciar en la **Figura 42**, la producción de alcohol en el fermentador 2 se dio de manera más controlada, presentado así mismo una tendencia de crecimiento más lineal con un R^2 de 0.907, logrando obtener un mayor grado alcohólico en este ensayo (5,89% ABV) mientras que, en el primer fermentador, se obtuvo menor grado alcohólico en el producto (5,5765%) y un R^2 de 0.754.

Ahora bien, si se realiza el análisis con respecto a los datos corregidos observados en la **Figura 43**, se puede evidenciar que, a pesar de que muestra un porcentaje de alcohol menor para ambos ensayos, la tendencia es la misma, es decir, que el último día de fermentación, en el fermentador 2 sigue habiendo un mayor porcentaje de alcohol con respecto al fermentador 1

Por otro lado, se puede evidenciar que el control de temperatura en el segundo fermentador favorece la producción de etanol y así mismo, aporta en el rendimiento del proceso. Esto indica que el proceso se vio afectado de manera positiva por la temperatura dado que, al ser un medio fermentativo controlado, evita el estrés en la levadura y como consecuencia, el consumo de sustrato

se destina mayormente a la producción de etanol, sin tener que suplir necesidades metabólicas de reparación celular.

5. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL CRECIMIENTO DE BIOMASA EN CADA PROCESO FERMENTATIVO

Las diversas especies de microorganismos que existen en el mundo tienen una clasificación especial de acuerdo al rango de temperatura óptimo para su crecimiento, lo que quiere decir, que la temperatura está directamente relacionada con su desarrollo y metabolismo.

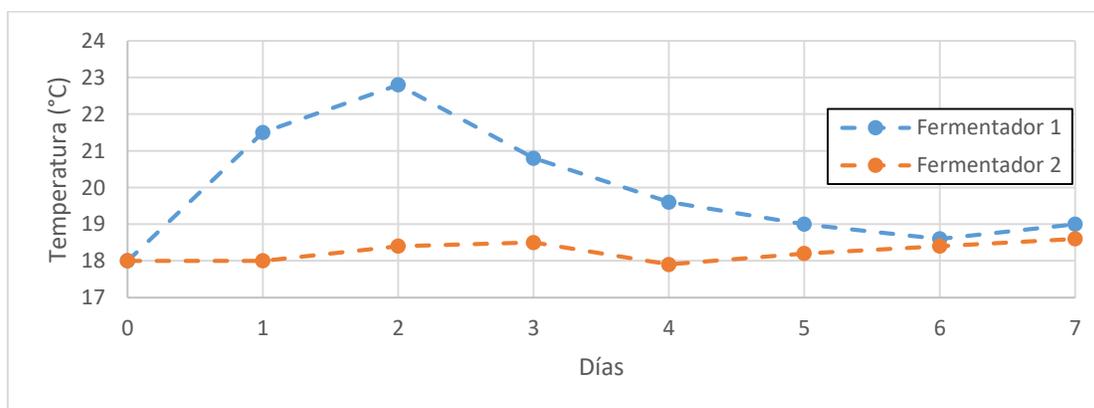
Dicho esto, la levadura del tipo *Saccharomyces cerevisiae* se caracteriza por ser un microorganismo mesófilo, es decir, que el rango de temperatura de crecimiento óptimo se encuentra entre los 20°C y los 45°C. Si la temperatura llegase a sobrepasar estos límites, podría llegar a generar una desnaturalización de las proteínas o, caso contrario, si se encuentra por debajo del límite indicado, se ve afectado directamente el transporte de nutrientes hacía las células generando una afección en la biomasa [26]. Sin embargo, el intervalo de temperatura para las levaduras puede variar de acuerdo a la especie que se emplee para la fermentación. De acuerdo con la ficha técnica del proveedor, el rango de temperatura de fermentación óptimo para la levadura seca SafAle – US – 05 se encuentra entre 18°C a 28°C.

5.1. Temperatura

La etapa de fermentación tuvo una duración de 7 días. Durante este tiempo, se tomaron muestras diarias, midiendo la temperatura una vez sacada la muestra haciendo uso de un termómetro de mercurio y dicho valor, se verificó con el señalado en el tablero de control.

Figura 45.

Gráfica de temperatura contra tiempo



Nota. Se presenta la variación de temperatura a lo largo del tiempo para los 2 fermentadores.

En la **Figura 45**, se puede evidenciar el perfil de temperatura que se obtuvo para cada ensayo durante el período de fermentación, observando que el fermentador 2 tuvo una temperatura constante de $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ mientras que, el fermentador 1 tuvo lecturas muy variables, siendo el segundo día, el dato más alto registrado para la temperatura.

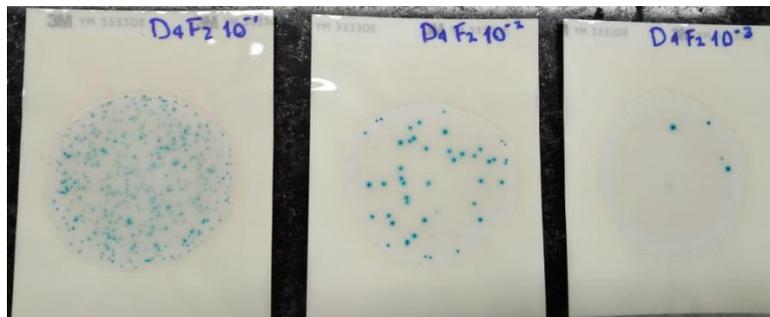
El aumento de la temperatura en el fermentador 1 se atribuye a que el proceso de fermentación anaerobia es un proceso exotérmico, es decir, que a medida que la fermentación avanza, el calor generado por esta reacción aumenta la temperatura del medio [54].

5.2. Análisis de resultados

En la **Figura 46** y **Figura 47** se presentan las placas y cajas de Petri con presencia de levadura.

Figura 46.

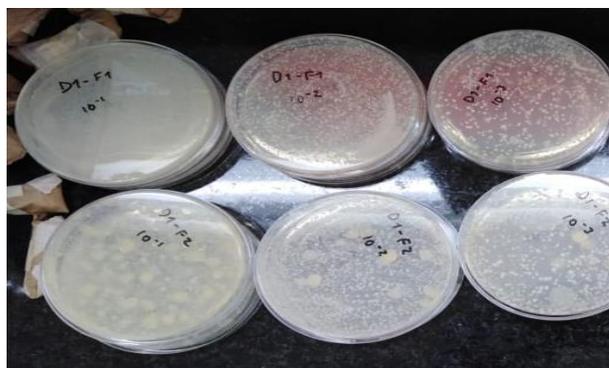
Placas 3M Petrifilm



Nota. Crecimiento de levadura en placas *Petrifilm* para un día específico de fermentación, presentando las tres diluciones.

Figura 47.

Cajas de Petri con medio de cultivo



Nota. Crecimiento de levadura en cajas de Petri para un día específico de fermentación, presentado en tres diluciones. Cajas de Petri incubadas durante 5 días a 30°C .

Como ya se ha explicado, este tipo de placas y medios de cultivo tienen cualidades específicas para crecimiento de levaduras y mohos. La presencia de mohos es sinónimo de contaminación, por lo tanto, en las etapas de producción y elaboración de la cerveza debe haber una muy buena esterilización y desinfección en los equipos y el ambiente.

Para distinguir estos grupos de microorganismos en las placas *Petriefilm*, las colonias de levadura se presentan en este medio como colonias pequeñas, con bordes definidos y de color uniforme el cual puede variar desde beige-crema a azul verdoso. Por otro lado, las colonias de mohos se caracterizan por ser grandes, tener bordes difusos sin límite definido, tienen un centro oscuro que se expande difusamente, un color muy variable y una apariencia plana [58].

En la **Figura 46**, se puede apreciar que sólo hay crecimiento de levadura dado que, las colonias formadas coinciden con las características mencionadas anteriormente para este grupo y, así mismo, se puede evidenciar que no hay presencia de hongos en ninguna de ellas, lo que quiere decir que no hubo contaminación dentro del proceso de producción.

En cuanto al método utilizado de siembra en cajas de Petri con el medio agar papa dextrosa, las levaduras crecen como colonias de color crema blanco, mientras los mohos crecen como colonias difusas de varios colores [60]. Para este caso, en la **Figura 47** se distinguen colonias color crema de diferentes tamaños que representan levaduras y como en el caso anterior, tampoco se distinguen colonias difusas, por lo que no hay presencia de mohos.

En la siguiente tabla se presentan las concentraciones de biomasa para cada día de fermentación.

Tabla 10.*Concentración de biomasa*

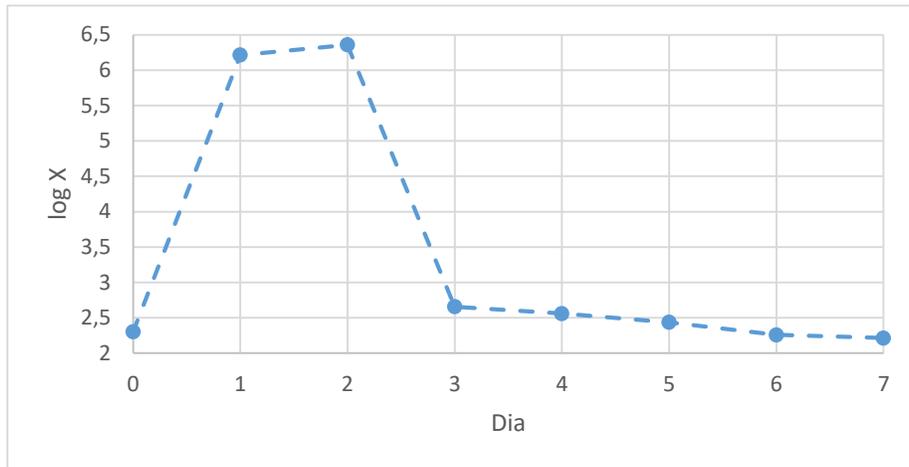
Día Fermentación	F1		F2	
	X(UFC/ml)	LogX	X(UFC/ml)	LogX
0	$2,0 \times 10^2$	2,30	$1,9 \times 10^2$	2,28
1	$1,6 \times 10^6$	6,21	$1,7 \times 10^6$	6,22
2	$2,3 \times 10^6$	6,36	$9,9 \times 10^5$	5,99
3	$4,5 \times 10^2$	2,66	$2,4 \times 10^4$	4,37
4	$3,6 \times 10^2$	2,56	$6,0 \times 10^3$	3,78
5	$2,7 \times 10^2$	2,44	$4,7 \times 10^3$	3,67
6	$1,8 \times 10^2$	2,26	$3,2 \times 10^3$	3,50
7	$1,6 \times 10^2$	2,21	$2,1 \times 10^2$	2,32

Nota. Se presentan las concentraciones de levadura determinadas a partir de la cuantificación en placa y caja de Petri, para cada día en ambas fermentaciones.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos para los 7 días de fermentación, el crecimiento de la biomasa para cada uno de los fermentadores se presenta a continuación.

Figura 48.

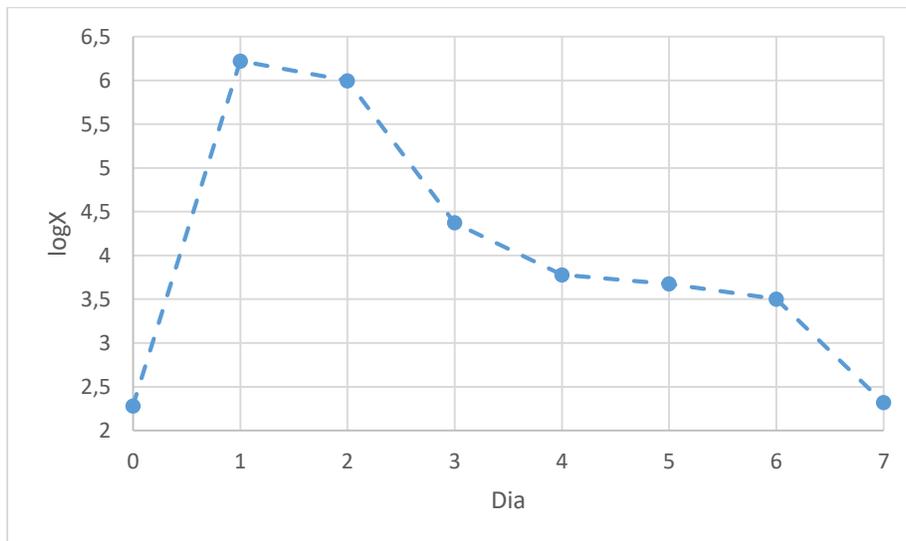
Crecimiento de biomasa en el fermentador 1



Nota. Se presenta el comportamiento de la biomasa en el fermentador 1 durante el tiempo de fermentación.

Figura 49.

Crecimiento de la biomasa en el fermentador 2



Nota. Se presenta el comportamiento de biomasa en el fermentador 2 durante el tiempo de fermentación.

Se puede observar en la **Figura 48** que el crecimiento de biomasa en F1 se da entre el día 0 y 2, sin embargo, tiene una disminución significativa a partir del tercer día y, hasta el final de la fermentación permanece con baja concentración. Por otro lado, en la **Figura 49**, se puede observar

que en F2 sólo hay crecimiento de levadura entre el día 0 y 1, pero, a diferencia del primer fermentador, la disminución de biomasa se da de forma más gradual hasta el final del proceso.

En ambas gráficas se puede evidenciar la ausencia de la fase de latencia debido a que ésta, tiene una duración aproximada de 12 horas desde el momento en que se realiza la inoculación, sin embargo, se tomaron datos de forma diaria, más no horaria, impidiendo tener datos suficientes para observar gráficamente esta etapa.

Esta información, coincide con el perfil de temperatura asignado a cada fermentador, puesto que, en el primero, hasta el segundo día hubo un incremento de temperatura, pero al tercer día disminuyó drásticamente casi 2 grados.

La temperatura, así como la humedad y la tensión de oxígeno, son factores extrínsecos para el crecimiento de la levadura, es decir, la temperatura no es una variable que impida del todo el desarrollo del microorganismo, como si sucedería con los factores intrínsecos (actividad de agua, pH y nutrientes como fuentes de carbono, nitrógeno, vitaminas y minerales). Lo que genera entonces en la levadura como respuesta a las altas temperaturas es la modificación de su estructura y mecanismos de funcionamiento que le permitan adaptarse a las condiciones variantes del medio [22].

Esta variación de temperatura afecta directamente el comportamiento de la levadura ya que, el porcentaje de fermentación aumenta con el incremento de esta variable [8], [26]. Una temperatura que exceda los valores que tolera el microorganismo podría causar un aumento de la mortalidad del mismo debido a la desnaturalización de proteínas. En el caso contrario, si la temperatura es demasiado baja se ve afectado el mecanismo de transporte del sustrato hacía fuera y dentro de las células, generando una disminución de la biomasa [26].

A pesar de que la temperatura más alta fue de 22°C en el primer fermentador, este valor no se salió del rango óptimo para el crecimiento del microorganismo. De haber sobrepasado el valor de 32°C, hubiera podido generar un estrés oxidativo en la levadura debido al choque térmico al que es expuesta. Esta condición causa una producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) las cuales, causan alteración de la membrana celular, proteínas y ADN que conllevan a la muerte celular [54].

Visto desde otro punto de vista, esta condición, además de generar estrés en la levadura, las altas temperaturas durante la fermentación pueden fomentar la producción de alcoholes fusel o ésteres,

que son aquellos alcoholes más pesados que pueden generar sabores parecidos a los de los disolventes en el producto final, ya que pueden esterificarse y posteriormente, ser dominantes en el sabor de la cerveza. Un ejemplo de esto, pueden ser las cervezas con un fuerte sabor a plátano, indicando la alta presencia de ésteres en la bebida como consecuencia de una fermentación a alta temperatura [35].

6. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS PARA CADA DESEMPEÑO FERMENTATIVO ENCONTRADO

En la fermentación alcohólica, como se ha discutido en capítulos anteriores, el microorganismo encargado del proceso cumple el papel principal, al disponer de un sustrato y unos nutrientes provenientes del mosto preparado, convirtiéndolos en etanol, CO₂ y energía, bajo unas condiciones de temperatura y otras variables ya especificadas y dependientes del tipo de microorganismo a emplear.

Para trabajar con una cerveza tipo Ale, se empleó una levadura cuya especie es *Saccharomyces Cerevisiae*, en donde sus características, metabolismo, además del medio de cultivo y fermentativo preparado son críticos para la evolución del proceso, por lo que el comportamiento cinético de la levadura cumple un papel relevante en las variables de respuesta como en la producción de etanol, el consumo de sustrato y el crecimiento de la biomasa.

En este capítulo estas variables serán evaluadas a partir de algunos parámetros cinéticos como la velocidad de formación de etanol (productividad), la velocidad de consumo de sustrato, rendimientos experimentales, la velocidad de crecimiento de biomasa, la velocidad específica máxima de crecimiento y el tiempo de duplicación.

6.1. Velocidad de formación de etanol (productividad)

Para el cálculo de este parámetro, se requiere de la medición de la concentración de etanol en el tiempo, datos presentados en el capítulo 4. En la **Tabla 11** se presentan los valores para la obtención del parámetro.

Tabla 11.*Porcentaje de alcohol de cada fermentación*

Tiempo		%ABV	
Día	Horas	F1	F2
0	0	0	0
6	133,5	4,0571	4,1308

Nota. Porcentaje de alcohol alcanzado en cada fermentación, calculado a partir de los datos corregidos de °Plato y densidades.

Se toma el porcentaje de alcohol en el sexto día de fermentación (133,5 horas), ya que desde este momento al séptimo día (157,5 horas), no hubo cambios en la concentración de alcohol.

6.1.1. Fermentador 1 (F1)

A partir de los datos de la **Tabla 11**, se calcula la velocidad de formación de etanol de la siguiente manera.

$$r_p = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{P_f - P_i}{t_f - t_i} \quad (26)$$

Para la ecuación, r_p es la velocidad de formación de etanol en g/Lh, P_f y P_i son la concentración de etanol al final y al inicio de la fermentación respectivamente en g/L, t_f y t_i son el tiempo final e inicial de fermentación en horas.

Se debe convertir el porcentaje de alcohol en una concentración de g/L, y esto se hace multiplicando por la densidad del etanol, que a estas condiciones se toma como 0,79 g/mL y se procede resolviendo el siguiente cálculo.

$$P_f = \frac{4,0571\% \left(\frac{ml_{EtOH}}{ml_{sln}} \right)}{100\%} \times 0,79 \frac{g_{EtOH}}{ml_{EtOH}} = 0,032 \frac{g_{EtOH}}{ml_{sln}} \quad (27)$$

Por último, se utiliza la ecuación (27) y se resuelve con los datos ya conocidos de la siguiente forma, para obtener la velocidad de formación de etanol en este fermentador.

$$r_P = \frac{(0,032 - 0) \frac{g_{EtOH}}{ml_{sln}} * \frac{1000ml}{1L}}{133,5h - 0h} = 0,240 \frac{g_{EtOH}}{L h} \quad (28)$$

6.1.2. Fermentador 2 (F2)

Para este fermentador se aplican las mismas condiciones del anterior para calcular la velocidad de formación de etanol, empezando por la conversión del etanol final.

$$P_f = \frac{4,1309\% \left(\frac{ml_{EtOH}}{ml_{sln}} \right)}{100\%} \times 0,79 \frac{g_{EtOH}}{ml_{EtOH}} = 0,033 \frac{g_{EtOH}}{ml_{sln}} \quad (29)$$

Con la ecuación (30) se obtiene el parámetro evaluado para este fermentador.

$$r_P = \frac{(0,033 - 0) \frac{g_{EtOH}}{ml_{sln}} * \frac{1000ml}{1L}}{133,5h - 0h} = 0,244 \frac{g_{EtOH}}{Lh} \quad (30)$$

6.2. Velocidad de consumo de sustrato

Para el cálculo de este parámetro se requieren las mediciones de la concentración de sustrato en el tiempo tomadas y referenciadas en el capítulo 4. En la **Tabla 12** se presentan los datos necesarios para este cálculo.

Tabla 12.

Concentración de sustrato y densidad global

Tiempo		°Plato		Densidad(g/ml)	
Día	Horas	F1	F2	F1	F2
0	0	14,456	14,144	1,0588	1,0575
6	133,5	7,0373	6,8987	1,0279	1,0273

Nota. Concentración de sustrato mediada en cada fermentación, con corrección en °Plato.

Al igual que en la producción de etanol, se toman los valores del sexto día de fermentación ya que la concentración de sustrato no vario significativamente en las siguientes horas de fermentación.

6.2.1. Fermentador 1 (F1)

A partir de los datos de la **Tabla 12**, se calcula la velocidad de consumo de sustrato de la siguiente manera.

$$-r_s = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_f - S_i}{t_f - t_i} \quad (31)$$

Para la ecuación anterior, r_s es la velocidad de consumo de sustrato en g/Lh, S_f y S_i son la concentración de sustrato al final y al inicio de la fermentación respectivamente en g/L, t_f y t_i son el tiempo final e inicial de fermentación en horas.

Con los °Plato y la densidad de la solución se calcula la concentración de sustrato final e inicial en g/L, multiplicando ambos valores conocidos, como se ve en el siguiente calculo.

$$S_i = \frac{14,456^\circ\text{Plato}}{100^\circ} \times 1,0588 \frac{\text{g}_{\text{sln}}}{\text{ml}_{\text{sln}}} = 0,153 \frac{\text{g}_{\text{sustrato}}}{\text{ml}_{\text{sln}}} \quad (32)$$

$$S_f = \frac{7,0373^\circ\text{Plato}}{100^\circ} \times 1,0279 \frac{\text{g}_{\text{sln}}}{\text{ml}_{\text{sln}}} = 0,072 \frac{\text{g}_{\text{sustrato}}}{\text{ml}_{\text{sln}}} \quad (33)$$

Por último, se utiliza la ecuación (34) y se resuelve con los datos ya conocidos de la siguiente forma, para obtener la velocidad de consumo de etanol en este fermentador.

$$-r_s = \frac{(0,153 - 0,072) \frac{\text{g}_{\text{sustrato}}}{\text{ml}_{\text{sln}}} * \frac{1000\text{ml}}{1\text{L}}}{133,5\text{h} - 0\text{h}} = 0,605 \frac{\text{g}_{\text{sustrato}}}{\text{L h}} \quad (34)$$

6.2.2. Fermentador 2 (F2)

Para este fermentador se aplican las mismas condiciones del anterior para calcular la velocidad de consumo de sustrato, empezando por el cálculo de las concentraciones de sustrato mediante el producto de los °Plato y la densidad de la solución.

$$S_i = \frac{14,144^\circ \text{Plato}}{100^\circ} \times 1,0575 \frac{g_{sln}}{ml_{sln}} = 0,150 \frac{g_{sustrato}}{ml_{sln}} \quad (35)$$

$$S_f = \frac{6,8987^\circ \text{Plato}}{100^\circ} \times 1,0273 \frac{g_{sln}}{ml_{sln}} = 0,071 \frac{g_{sustrato}}{ml_{sln}} \quad (36)$$

Y con la ecuación (37) se obtiene el parámetro evaluado para este fermentador.

$$-r_s = \frac{(0,150 - 0,071) \frac{g_{sustrato}}{ml_{sln}} * \frac{1000ml}{1L}}{133,5h - 0h} = 0,59 \frac{g_{sustrato}}{L h} \quad (37)$$

6.3. Rendimientos experimentales

Otro parámetro para comprender el comportamiento fermentativo del microorganismo, es a partir de los rendimientos producto/sustrato ($Y_{P/S}$), que es analizado en el capítulo 4, el rendimiento biomasa/sustrato ($Y_{X/S}$) y biomasa/producto ($Y_{X/P}$), los dos últimos se van a determinar para la fase de crecimiento del microorganismo, tomando fase de latencia y exponencial, a partir de los datos de la **Tabla 13** y con las ecuaciones (38) y (39).

Tabla 13.

Concentración de biomasa, sustrato y etanol en la fase de crecimiento

Tiempo	Biomasa(UFC/ml)		Sustrato(g/ml)		Etanol(%ABV)		
	Día	F1	F2	F1	F2	F1	F2
0		2E+02	1,9E+02	0,153	0,150	0	0
1		1,6E+06	1,7E+06	0,150	0,145	0,175	0,388
2		2,3E+06	9,9E+05	0,105	0,0978	2,396	2,772

Nota. Concentraciones medidas en los días de crecimiento de la levadura.

Los rendimientos a determinar en esta sección ($Y_{X/S}$, $Y_{X/P}$) se calculan con las concentraciones de las variables evaluadas en la fase de crecimiento del microorganismo, por lo que para el fermentador 1 (F1), se utilizan los datos del día 0 al día 2 y para el fermentador 2 (F2), los datos del día 0 al día 1.

$$Y_{X/P} = \frac{X_F - X_I}{P_F - P_I} \quad (38)$$

$$Y_{X/S} = \frac{X_F - X_I}{S_I - S_F} \quad (39)$$

En las ecuaciones anteriores X_F y X_I representan la concentración de biomasa final de crecimiento y la inicial respectivamente, P_F y P_I representan la concentración de etanol final e inicial en la fase de crecimiento y S_F y S_I representan la concentración de sustrato final e inicial en la fase de crecimiento.

6.3.1. Fermentador 1 (F1)

A partir de los datos de la **Tabla 13**, y con las ecuaciones presentadas, se calculan ambos rendimientos para este fermentador.

$$Y_{X/P} = \frac{(2,3E6 - 2E2) \left(\frac{UFC}{ml}\right) * \left(\frac{1g}{10^9 UFC}\right)}{\left(\frac{2,396\%}{100\%}\right) \left(\frac{ml_{EtOH}}{ml_{sln}}\right) * 0,79 \left(\frac{g_{EtOH}}{ml_{EtOH}}\right)} = 0,1215 \frac{g_{biomasa}}{g_{EtOH}} \quad (40)$$

$$Y_{X/S} = \frac{(2,3E6 - 2E2) \left(\frac{UFC}{ml}\right) * \left(\frac{1g}{10^9 UFC}\right)}{(0,153 - 0,105) \frac{g_{sustrato}}{ml}} = 0,04818 \frac{g_{biomasa}}{g_{sustrato}} \quad (41)$$

En las ecuaciones anteriores, los datos obtenidos para la concentración de biomasa de manera experimental como ya se explicó en otros capítulos, se obtienen en unidades formadoras de colonia por mililitro (UFC/ml), para convertir las UFC en gramos de biomasa, se utiliza un factor de conversión donde 1 gramo de esta biomasa son 10^9 UFC [26].

6.3.2. Fermentador 2 (F2)

De la misma forma al fermentador 1, se calculan los rendimientos de acuerdo a los datos de la **Tabla 13** para este fermentador.

$$Y_{X/P} = \frac{(1,7E6 - 1,9E2) \left(\frac{UFC}{ml}\right) * \left(\frac{1g}{10^9 UFC}\right)}{\frac{0,388\%}{100\%} \left(\frac{ml_{EtOH}}{ml_{stn}}\right) * 0,79 \left(\frac{g_{EtOH}}{ml_{EtOH}}\right)} = 0,554 \frac{g_{biomasa}}{g_{EtOH}} \quad (42)$$

$$Y_{X/S} = \frac{(1,7E6 - 1,9E2) \left(\frac{UFC}{ml}\right) * \left(\frac{1g}{10^9 UFC}\right)}{(0,150 - 0,145) \frac{g_{sustrato}}{ml}} = 0,398 \frac{g_{biomasa}}{g_{sustrato}} \quad (43)$$

6.4. Velocidad de crecimiento de biomasa

Para determinar este parámetro, se requieren nuevamente los datos de concentración de biomasa en la fase de crecimiento de la levadura en los tiempos respectivos, datos que se presentan en la **Tabla 13**, y se calcula mediante la ecuación (44).

Nuevamente para la siguiente ecuación las concentraciones de biomasa y los tiempos, se toman específicamente para la fase de crecimiento.

$$r_X = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{X_f - X_i}{t_f - t_i} \quad (44)$$

6.4.1. Fermentador 1 (F1)

A partir de los datos de la **Tabla 13**, y con la ecuación presentada, se determina la velocidad de crecimiento de biomasa en este fermentador.

$$r_X = \frac{(2,3E6 - 2E2) \left(\frac{UFC}{ml}\right) * \left(\frac{1g}{10^9 UFC}\right) * \frac{1000ml}{1L}}{34,5h - 0h} = 0,0667 \frac{g_{biomasa}}{L h} \quad (45)$$

6.4.2. Fermentador 2 (F2)

Se aplica la ecuación (44) de la misma manera que en F1, utilizando los datos respectivos para este fermentador y se determina la velocidad de crecimiento de biomasa en este caso.

$$r_X = \frac{(1,7E6 - 1,9E2) \left(\frac{UFC}{ml}\right) * \left(\frac{1g}{10^9 UFC}\right) * \frac{1000ml}{1L}}{12h - 0h} = 0,142 \frac{g_{biomasa}}{L h} \quad (46)$$

6.5. Velocidad específica máxima de crecimiento (μ_{\max}), constante de sustrato (K_s) y tiempo de duplicación (t_D)

Para calcular estos parámetros, primero se debe determinar la velocidad específica máxima de crecimiento (μ_{\max}) a partir de los datos presentados en la **Tabla 13**, ya que ésta velocidad depende del crecimiento de biomasa y el tiempo; posteriormente es posible calcular K_s y el tiempo de duplicación que dependen del μ_{\max} . Para el cálculo de estos términos, se emplean las siguientes ecuaciones.

$$\mu_{max} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{X_f}{X_i} \right)}{t_f - t_i} \quad (47)$$

La velocidad específica máxima de crecimiento como su nombre resalta, representa la máxima velocidad alcanzada en la fase de crecimiento del microorganismo, por lo que para su determinación se utilizan los datos específicos del crecimiento de la biomasa y se calcula con la ecuación anterior [61], [62].

$$t_D = \frac{\text{Ln}(2)}{\mu_{max}} \quad (48)$$

A partir del cálculo del μ_{\max} es posible determinar el tiempo de duplicación de la biomasa con la ecuación anterior [63]. Por último, es posible obtener la concentración de sustrato limitante de crecimiento (K_s), esta concentración se determina dividiendo el μ_{\max} entre 2, y tomando la concentración de sustrato con este valor de velocidad específica de crecimiento (μ) de acuerdo a los datos experimentales obtenidos[63] [23]

6.5.1. Fermentador 1 (F1)

Para determinar el μ_{\max} en F1, se toman los datos de concentración de biomasa en el tiempo para la fase de crecimiento de la levadura, que en este fermentador se presentó entre los días 0 y 2 de fermentación, pero se evidencia el mayor crecimiento de biomasa entre el día 0 y 1, entonces se toman los datos de este intervalo, los cuales fueron presentados en la **Tabla 13** y se operan de la siguiente forma.

$$\mu_{max} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{1,6E6 \frac{UFC}{ml}}{2E2 \frac{UFC}{ml}} \right)}{12h - 0h} = 0,7489 h^{-1} \quad (49)$$

De acuerdo a la ecuación anterior, se deduce que el K_s , es una concentración de sustrato entre las 0 y 12 horas de fermentación, para identificar este valor se presenta la **Tabla 14**.

Tabla 14.

Concentración de sustrato y velocidad de crecimiento específica (μ) en fase de crecimiento

Tiempo		Sustrato(g/L)		$\mu(h^{-1})$	
Día	Horas	F1	F2	F1	F2
0	0	153,06	149,57	0	0
1	12	149,57	145,31	0,7489	0,7583

Nota. Velocidades de crecimiento específicas y concentraciones de sustrato para ambos fermentadores en el tiempo de la fase de crecimiento del microorganismo

En la tabla anterior, además de presentar los valores para F1 se presentan los del fermentador 2 que serán utilizados en la siguiente sección.

De acuerdo al valor obtenido de μ_{max} en el fermentador 1, para definir el K_s , la velocidad de crecimiento específica para determinar esta concentración es de $0,3745 h^{-1}$ ($\mu_{max}/2$), por lo tanto, se tiene un valor para la concentración de sustrato limitante de crecimiento (K_s) aproximada de 151,32 g/L, el dato es un valor aproximado debido a la cantidad de datos disponibles.

Por último, se determina el tiempo de duplicación aplicando la ecuación presentada.

$$t_D = \frac{\text{Ln}(2)}{0,7489 h^{-1}} = 0,926 h \quad (50)$$

6.5.2. Fermentador 2 (F2)

De forma similar al F1 se calcula el μ_{max} para este fermentador, en este caso la fase de crecimiento se presentó entre el día 0 y 1, en donde se encuentra la velocidad específica máxima de crecimiento, de acuerdo a los datos presentados en la **Tabla 13** se determina el μ_{max} de la siguiente forma.

$$\mu_{max} = \frac{\text{Ln} \left(\frac{1,7E6 \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}}{1,9E2 \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}} \right)}{12h - 0h} = 0,7583 h^{-1} \quad (51)$$

Para definir el K_s , la velocidad específica de crecimiento en la cual se alcanza la concentración de sustrato limitante del crecimiento (K_s) es de $0,3791 h^{-1}$ ($\mu_{max} / 2$) y de acuerdo a la **Tabla 14** el K_s es de manera aproximada $147,44 \text{ g/L}$.

Por último, se determina el tiempo de duplicación de la siguiente forma.

$$t_D = \frac{\text{Ln}(2)}{0,7583 h^{-1}} = 0,914 h \quad (52)$$

6.6. Análisis de resultados

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los parámetros cinéticos evaluados en este capítulo.

Tabla 15.

Parámetros cinéticos de cada fermentación

	$r_p(\text{g/Lh})$	$-r_s(\text{g/Lh})$	$r_x(\text{g/Lh})$	$Y_{x/p}(\text{g/g})$	$Y_{x/s}(\text{g/g})$	$\mu_{max}(\text{h}^{-1})$	$K_s(\text{g/L})$	$t_D(\text{h})$
F1	0,240	0,605	0,0667	0,122	0,0482	0,749	151,32	0,926
F2	0,244	0,590	0,142	0,554	0,398	0,758	147,44	0,914

Nota. Parámetros cinéticos determinados con los datos experimentales obtenidos en los dos casos de fermentación evaluados.

6.6.1. Velocidad de formación de etanol (r_p)

Como se puede evidenciar en los cálculos anteriores y en la **Tabla 15**, el sistema fermentativo con control de temperatura (F2) tiene una r_p mayor de $0,244 \text{ g/Lh}$, comparando con el sistema sin control de temperatura (F1) que tiene una r_p menor de $0,240 \text{ g/Lh}$. De acuerdo a esto, se forma

etanol más rápidamente en F2, por lo que el control de temperatura a 18°C genera en la biomasa un enfoque mayor en la formación de etanol, que además como se revisó en el capítulo 4 también se obtuvo un mayor porcentaje de este en F2 al final de ambas fermentaciones.

De acuerdo a otros trabajos y artículos, como el presentado por Gerhards, S., et al. [9], estudio en el que trabajan para obtener una cerveza Pale-Ale Americana, fermentan con la misma especie de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, de marca Danstar Bry-97, a temperaturas entre 20-22°C, por 156 horas, obteniendo una r_P de 0,221 g/Lh.

En otro trabajo presentador por Cárdenas, A., y Gualdron, F. [19], producen una cerveza *blonde ale*, al igual que en el presente trabajo, además emplean la misma especie de levadura y mismo proveedor (SC-Safale US05), fermentan a 20°C y en un tiempo de 100 horas alcanzan la máxima producción de etanol, para el cual obtienen una r_P de 0,277 g/Lh.

Otra referencia en producción de cerveza *blonde ale*, presentada por Salazar, D. [46]; en la etapa fermentativa utilizan la misma cepa de levadura SC-Safale US05 y mismo proveedor del presente trabajo, fermentan a temperatura entre 17-18°C durante 178 horas, con un inóculo de levadura de 0,39 g/L, alcanzaron una r_P de 0,145 g/Lh.

Comparando con las velocidades de formación de etanol (r_P) presentadas en las anteriores referencias, las determinadas para F1 y F2 en el presente trabajo tienen un resultado satisfactorio, en contraste con [46], en el que las condiciones son similares a este trabajo, difiriendo en el inóculo de levadura, y algunos tipos de maltas; se evidencia que las velocidades del presente trabajo son mayores por las condiciones trabajadas. Por otro lado, comparando con [19], también se presentan condiciones de trabajo muy similares, con tiempos y temperaturas de fermentación diferentes, referencia en la cual consiguen una velocidad r_P mayor al presente trabajo, condiciones interesantes ya que utilizan un tiempo de fermentación menor y una temperatura un poco más alta. Por último, comparando con [9], las condiciones no son tan similares, por el tipo de cerveza trabajado, pero sigue siendo un dato relevante ya que se continua en la misma industria y con la misma especie de levadura; el presente trabajo también tiene una mayor r_P que la referencia comparada, la razón principal son las fuentes de sustrato empleadas, la cantidad de azúcares fermentables cambian con el tipo de maltas a trabajar. De acuerdo a los datos evaluados el parámetro analizado alcanzó resultados satisfactorios comparando con referencias equiparables.

6.6.2. Velocidad de consumo de sustrato ($-r_s$)

De acuerdo a los resultados determinados y presentados en la **Tabla 15**, la levadura consumió más rápido los azúcares en F1, con una $-r_s$ de 0,605 g/Lh, mientras en F2 se obtuvo una $-r_s$ de 0,590 g/Lh; la levadura en F1 al someterse a cambios de temperatura en el ambiente a diferentes horas del día, se estresa y así mismo para compensar estos cambios consumió rápidamente el sustrato, pero no lo empleo directamente en la formación de etanol, también tuvo que controlar el estrés generado y esta fue una de las formas empleadas por la biomasa. Y tiene coherencia ya que en el capítulo 4 se concluyó que en el proceso F1 la levadura consumió una mayor cantidad de azúcares, pero no generó una mayor cantidad de etanol, comparando con F2.

En las referencias especificadas en la sección anterior, [9], [19] y [46], presentan una $-r_s$ respectiva de 0,712, 0,696, 0,366 g/Lh. D. Salazar [46] tiene las condiciones más semejantes al presente trabajo y comparando con su velocidad de consumo de sustrato (0,366 g/Lh), se tienen mejores resultados para ambos procesos fermentativos de este trabajo (F1 y F2), una razón importante es la concentración inicial de sustrato, que en el presente trabajo está entre 13,6-13,9 °Brix y en la referencia comparada inician con 12,3°brix, entonces al disponer de menos sustrato, la levadura debe racionar para diferentes funciones, crecimiento, mantenimiento celular, formación de productos, etc. Por lo tanto, redujo la velocidad en estas funciones, como se evidencio con la r_p que también fue menor, como se vio en la sección anterior.

Por otro lado, están las referencias [9], [19], estudios con características semejantes, que alcanzaron velocidades $-r_s$ mayores a las de este trabajo, en este caso a pesar de tener menores concentraciones iniciales de sustrato en [9], el consumo por parte de la levadura fue mayor (10,1°Brix), mientras en el presente trabajo la levadura consumió en F1 7,13 °Brix y en F2 6,97 °Brix; al consumir menos sustrato la velocidad de consumo de sustrato es menor, ya que el consumo lo afecta directamente. En [19] se consumen 6,5 °Plato, tiene menor consumo de azúcares que en el presente trabajo, en F1 se consumen 7,42 °Plato y en F2 se consumen 7,25 °Plato, pero en la referencia alcanzan una mayor $-r_s$, en este caso debido a que, a pesar de tener un menor consumo, la diferencia no es muy alta, pero el tiempo de fermentación en la referencia fue de 100 horas, mientras en el presente trabajo el consumo total de sustrato se alcanza a las 133,5 horas, al tener un tiempo mayor la velocidad de consumo se reduce.

6.6.3. Rendimientos experimentales ($Y_{X/S}$, $Y_{X/P}$)

Se determinaron los rendimientos biomasa/sustrato ($Y_{X/S}$) y biomasa/etanol ($Y_{X/P}$) en este capítulo, el rendimiento producto/sustrato ($Y_{P/S}$) se analiza en el capítulo 4. Los rendimientos $Y_{X/S}$ y $Y_{X/P}$ se calcularon para la fase de crecimiento de la levadura, donde se busca analizar para la máxima producción de biomasa cómo se comportan la formación de etanol y el consumo de sustrato a partir de estos parámetros.

Comparando los dos casos trabajados en este proyecto, la fermentación con control de temperatura (F2), tiene un mayor rendimiento $Y_{X/S}$ de 0,398 $\text{g}_{\text{biomasa}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$, mientras la fermentación sin control (F1) tiene un $Y_{X/S}$ de 0,0482 g/g. El rendimiento mayor en F2 es resultado de que en este caso se alcanzó la máxima concentración de biomasa más rápido (Día 1) y por lo tanto el consumo de sustrato fue menor para alcanzarla, por el contrario, en F1 la concentración de biomasa tardo un día más (Día 2) en alcanzar su máximo y por lo tanto al ser concentraciones similares, y consumir mayor cantidad de sustrato en F1, se obtiene un menor rendimiento. Por lo que en F1 las variaciones en la temperatura afectan directamente el crecimiento de la levadura, demorando el alcance del tope de crecimiento.

Para el rendimiento $Y_{X/P}$ se presenta una situación similar, en F2 se obtiene un rendimiento mayor, de 0,554 $\text{g}_{\text{biomasa}}/\text{g}_{\text{etanol}}$, mientras en F1 es de 0,122 $\text{g}_{\text{biomasa}}/\text{g}_{\text{etanol}}$; como ya se explicó, en F2 la levadura alcanza más rápido su concentración máxima (ver **Tabla 13**) y en este menor tiempo la formación de etanol también fue menor, por lo que esto justifica a partir de las condiciones de fermentación en F2 y lo especificado en el párrafo anterior, la diferencia y mejor desempeño en estos rendimientos, en comparación con F1.

Otras referencias, como en [26], estudian la producción de etanol por fermentación, pero para la industria de biocombustibles, utilizando otras condiciones de operación (30°C y 12 horas de fermentación) y otro tipo de sustratos, pero tiene semejanzas como la especie de levadura usada (SC), en este caso los °Brix iniciales son de 14, valor muy cercano a las fermentaciones trabajadas en el presente trabajo (13,6-13,9 °Brix), en esta referencia alcanzan un $Y_{X/S}$ de 0,084 g/g y un $Y_{X/P}$ de 0,178 g/g; En la referencia [62], capítulo 2, fermentan a 30°C y por 45 horas, como sustrato emplean bagazo de caña de azúcar y la misma especie de levadura SC-No.1701, en este caso alcanzan un rendimiento $Y_{X/S}$ de 0,24 g/g y un $Y_{X/P}$ de 0,149 g/g.

De acuerdo a los rendimientos presentados de otras referencias, que, aunque presenten condiciones diferentes de fermentación, tienen en común la especie de levadura y el objetivo de producción de etanol, aspectos de comparación relevantes; de acuerdo a estos valores se puede concluir que los rendimientos obtenidos en F1 son muy bajos, debido a las condiciones y razones explicadas a lo largo de esta discusión. Del otro lado está el proceso fermentativo F2 que tiene rendimientos altos comparando con F1 y con las referencias antes presentadas, siendo determinante en el estudio, marcando una gran diferencia en favor del proceso con control de temperatura.

6.6.4. Velocidad de crecimiento de la biomasa (r_x)

De acuerdo a los cálculos realizados y a la **Tabla 15**, el proceso en F2 tiene una r_x de 0,142 g/Lh, presentando una velocidad mayor a la fermentación F1 que tiene una r_x de 0,0667 g/Lh, este ha sido uno de los parámetros con mayor diferencia entre ambos casos estudiados, en donde la velocidad de crecimiento de biomasa en F2 es más de 2 veces la de F1. Como ya se mencionó y se puede observar en la **Tabla 13**, en el caso de F1 se alcanza una mayor concentración de biomasa, comparando con la fermentación F2, pero en esta se alcanza el tope máximo a las 12 horas de fermentación, mientras en F1 a las 34,5 horas, por lo que el crecimiento de biomasa en F2 es más rápido como demuestra este parámetro.

El control de temperatura en F2 le permite a la biomasa en las horas iniciales de fermentación enfocarse en la adaptación y crecimiento de manera más eficiente, mientras la biomasa en F1 debe, además preocuparse por el estrés generado por la variación de la temperatura ambiente y los cambios de temperatura en el medio donde se está reproduciendo, cambios que requieren otras funciones para priorizar el control de estos mismos.

De acuerdo a otros estudios, como el descrito en otra sección de este capítulo, donde producen una cerveza *blonde ale* [46] y presentan condiciones de fermentación similares a las del presente trabajo, en este estudio obtienen una r_x de 3,44 g/Lh, varias veces mayor a las obtenidas en las fermentaciones F1 y F2 (ver **Tabla 15**), el motivo principal es porque en este estudio el crecimiento de levadura alcanzó una concentración máxima de $2,7 \times 10^8$ UFC/ml, mientras en este proyecto se alcanzaron concentraciones máximas de $2,3 \times 10^6$ UFC/ml (F1) y de $1,7 \times 10^6$ UFC/ml (F2), comparando lo antes mencionado, es posible tener una mayor velocidad de crecimiento de biomasa y una mayor concentración de levadura en su crecimiento, algunos factores a tener en cuenta son la concentración inicial de azúcares fermentables, los nutrientes del mosto disponibles y la

concentración inicial de biomasa (inoculo de levadura), factores que afectan directamente al microorganismo en su viabilidad y crecimiento.

En otras referencias, como en [64], estudian una fermentación a 31°C y 13 horas, para producción de etanol como biocombustible a partir de una SC-CICC1308, empleando como sustrato jugo dulce de sorgo, que según los resultados obtienen una r_x de 0,454 g/Lh. En [26] y en [62], referencias ya descritas en este capítulo, obtienen una r_x de 0,642 y de 0,21 g/Lh respectivamente, evidenciando que, a pesar de estar en una industria distinta, algunas condiciones de fermentación son similares y el microorganismo utilizado es el mismo, las velocidades de crecimiento de biomasa en este trabajo siguen siendo menores, aunque en este caso las diferencias de magnitud en r_x no son tan altas, pero el motivo sigue siendo el mismo, en [64], se genera una concentración de biomasa en la fase de crecimiento de 5,9 g/L, en [26] de 7,7 g/L y en [62] de 1,05 g/L, mientras en este trabajo se generan 1,7 g/L en F2 y 2,3 g/L en F1, concentraciones menores, excepto con la tercera referencia, en la cual la máxima concentración la alcanzó en cinco horas mientras en este proyecto tomo más tiempo alcanzar la máxima generación de biomasa (ver **Tabla 13**).

6.6.5. Velocidad específica máxima de crecimiento ($\mu_{m\acute{a}x}$)

El proceso fermentativo con control de temperatura F2, presenta una $\mu_{m\acute{a}x}$ de 0,758 h⁻¹, valor mayor con respecto al obtenido para el proceso sin control de temperatura F1, que presenta una $\mu_{m\acute{a}x}$ de 0,749 h⁻¹ (ver **Tabla 15**). En ambos casos la velocidad específica de crecimiento máxima alcanzó valores superiores a los ordinarios para este tipo de microorganismo (levadura), el rango de $\mu_{m\acute{a}x}$ para este tipo de biomasa se encuentra entre 0,2-0,6 h⁻¹ [63], pero pueden existir excepciones como en ambos casos del presente trabajo. La temperatura tiene un efecto directo sobre este parámetro, a medida que esta se incrementa, el $\mu_{m\acute{a}x}$ aumenta ya que la velocidad global de las reacciones que componen el metabolismo del microorganismo aumenta.

El rango de temperatura de crecimiento de un microorganismo mesófilo, es de 15-45°C, con 35°C como temperatura óptima [63], las temperaturas utilizadas en este trabajo son, para F2 de 18°C y para F1 temperatura ambiente de Bogotá, según lo anterior trabajar la fermentación a 35°C aumenta el $\mu_{m\acute{a}x}$ alcanzando más rápido la concentración máxima de biomasa y mejorando la eficiencia del proceso, recortando tiempos de fermentación, pero como desventaja aumenta los costos energéticos para mantener esta temperatura. De acuerdo a los resultados obtenidos en este

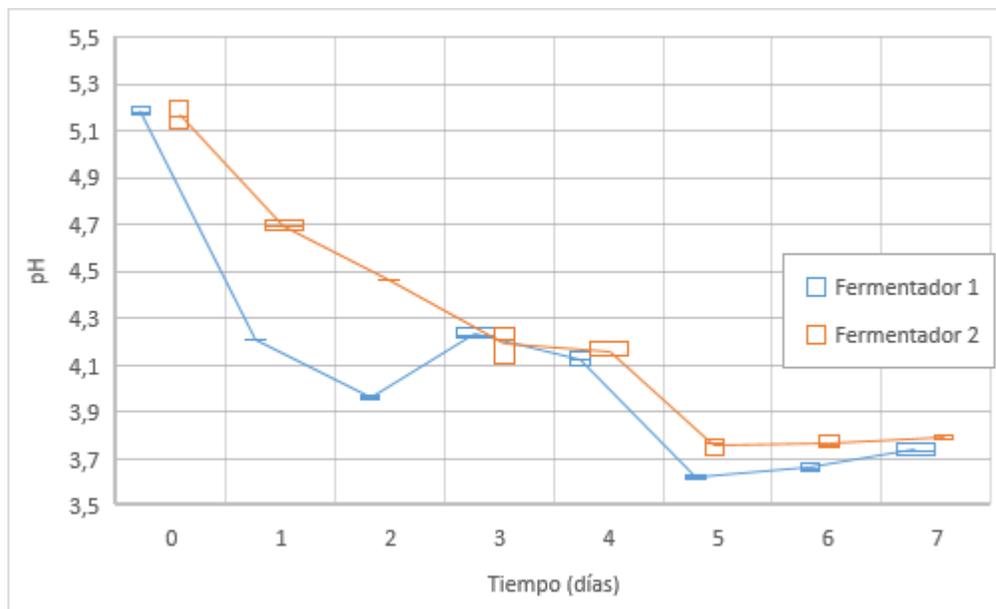
proyecto, el μ_{\max} para ambos casos es alto debido a que las condiciones y tiempos de fermentación son correctas y eficientes en este aspecto.

El pH del medio también influye en el μ_{\max} directamente en la estabilidad de las proteínas que constituyen al microorganismo, las levaduras toleran los pH ácidos, trabajan y crecen con pH óptimo entre 4-5,5 [63]. En este trabajo el rango de pH en ambas fermentaciones (F1 y F2) fue de 3,7-5,2 con un comportamiento más estable en F2 durante los siete días de fermentación, así como se puede observar en la siguiente figura.

De forma gráfica se presenta para cada rango de datos y para cada fermentador la desviación estándar, el valor mínimo y máximo correspondientes a cada análisis diario de pH.

Figura 50.

pH durante la fermentación



Nota. Se presenta la variación del pH en ambos fermentadores durante los 7 días de fermentación, datos tomados en un rango de temperatura entre 14,7 a 16,8 °C.

Los buenos resultados del μ_{\max} también se deben a este rango y al comportamiento del pH, ya que se encuentra entre el rango óptimo, haciendo posible un buen trabajo y crecimiento de la biomasa.

6.6.6. Constante de sustrato (K_s) y tiempo de duplicación (t_D)

6.6.6.a. Concentración de sustrato limitante del crecimiento (K_s). Al igual que la μ_{max} , el K_s tiene valores muy cercanos para ambas fermentaciones, para el proceso fermentativo F1 toma un valor de 151,32 g_{sustrato}/L y para el proceso F2 un K_s de 147,44 g_{sustrato}/L. Estos valores son muy similares porque se empleó el mismo sustrato en cada fermentación, según estos resultados la levadura fue más afín al sustrato en la fermentación con control de temperatura F2 por tener un K_s menor [63], pero la diferencia es pequeña, por lo que en F1 la levadura también tiene una muy buena afinidad por el sustrato.

6.6.6.b. Tiempo de duplicación (t_D). Para el proceso fermentativo F1 el t_D fue de 0,926 horas (56 minutos aprox.) y para el proceso F2 de 0,914 horas (55 minutos aprox.). Aunque la diferencia en los tiempos de duplicación de los microorganismos para cada proceso es de solo un minuto, el proceso con control de temperatura (F2) tiene un menor t_D , por lo tanto, por medio de este parámetro también se demuestra la mayor rapidez en el crecimiento de la biomasa en F2, ya que la levadura se duplica de manera más eficiente y rápida que en el proceso sin control de temperatura (F1).

Al igual que la μ_{max} , el tiempo de duplicación tiene un rango ordinario o frecuente, que para el tipo de microorganismo empleado (levadura), esta entre 1,15-3 horas, pero no es un rango restringido, pueden existir casos en que se obtenga un t_D por fuera del rango [63], como ocurre en este trabajo, donde el parámetro se encuentra para ambas fermentaciones por debajo del rango, lo que demuestra que fueron procesos más eficientes, con una duplicación de la biomasa más rápida que las fermentaciones frecuentes a partir de la levadura *SC*.

7. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS, FISICOQUÍMICOS Y SENSORIALES DEL PRODUCTO FINAL

Una vez obtenido el producto final, es necesario realizar análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales con el fin de garantizar su calidad y de igual forma, pueda ser consumido sin problemas.

7.1. Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos que se realizaron para el presente objetivo fue el recuento total de microorganismos mesófilos, coliformes, *E. Coli* y recuento total de mohos y levaduras, los cuales son requisito en la norma NTC 3854 “Bebidas alcohólicas. Cerveza”, usando el método de siembra en placa y caja de petri.

Tabla 16.

Requisitos microbiológicos de la cerveza

Microorganismos	Filtración por membrana	Siembra en placa profunda
Recuento total de microorganismos mesófilos	$\leq 100 \text{ UFC/cm}^3$	$\leq 100 \text{ UFC/cm}^3$
Recuento total de mohos y levaduras	$\leq 20 \text{ UFC/cm}^3$	$\leq 20 \text{ UFC/cm}^3$

Nota. Se presentan los requisitos microbiológicos para la cerveza de acuerdo a la norma NTC 3854. Tomado de N. Técnica, “NTC”, 1996 [65]

Cabe resaltar que se toma como base ésta norma que está diseñada para cerveza industrial dado que, aún no existe una normativa específica para cerveza artesanal. La cerveza industrial contempla la presencia de etapas de pasteurización y/o microfiltración que reduciría la presencia de levadura en la cerveza, sin embargo, esta etapa se omite en la producción de cerveza artesanal.

Adicionalmente, se realizó recuento total de *E.coli* y coliformes, usando el mismo método de siembra en placa, con el fin de garantizar que no hubo contaminación a lo largo de la cadena productiva de la cerveza.

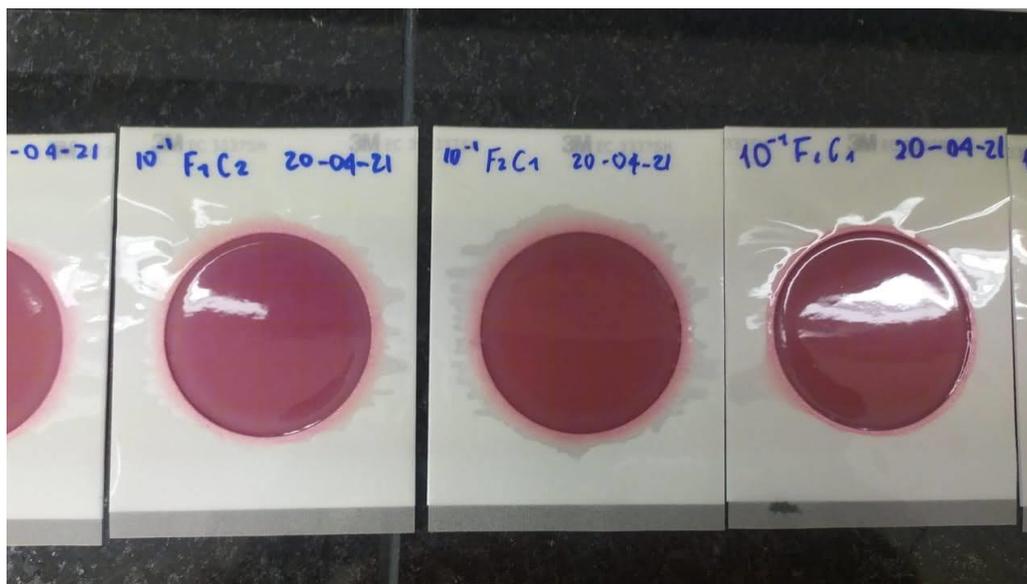
Para realizar el recuento de *E.coli* y mesófilos se hizo uso de las placas *Petrifilm* específicas para cada uno de estos microorganismos. Por un lado, la placa para recuento de *E.coli* y coliformes está compuesta por nutrientes de Bilis Rojo – Violeta, un componente gelificante, un indicador de actividad de la glucuronidasa y un indicador que facilita el conteo de colonias. Una vez se realiza la inoculación, se deja en la incubadora a una temperatura de 35°C durante 24 horas [66]

Cuando se retira la placa de la incubadora, la existencia de colonias de color azul indica la presencia de *E.coli*. Adicionalmente, algunas colonias pueden producir gas, las cuales también deben ser enumeradas y tenidas en cuenta [66].

Como se puede observar en la **Figura 51**, para las muestras analizadas, no existe presencia de *E.coli* y coliformes en el producto.

Figura 51.

Placas Petrifilm para recuento de E.coli y coliformes



Nota. Resultado de análisis para *E.coli* y coliformes

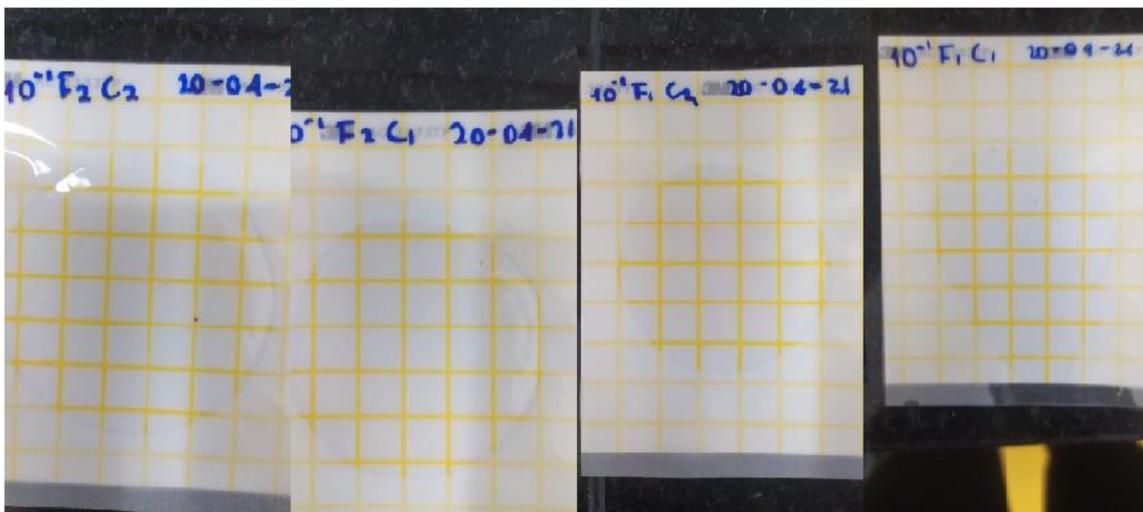
Las placas *Petrifilm* para el recuento de mesófilos están compuestas por nutrientes del Agar Standard Methods, un agente gelificante y un indicador color rojo que facilita el conteo de colonias. Estas placas una vez inoculadas, se deben dejar en la incubadora a una temperatura de 35°C durante un tiempo de 48 horas [67].

Cuando las placas son retiradas de la incubadora, la existencia de puntos rojos en la placa indica presencia de mesófilos. Caso contrario, si la placa no tiene puntos rojos indica que no hubo crecimiento de colonias.

Se puede evidenciar en la **Figura 52**, que hay presencia de puntos rojos en algunas de las placas, pero en una concentración muy baja y por debajo de la norma NTC 3854. Más adelante se presentan las concentraciones para cada fermentador.

Figura 52.

Placas Petrifilm para recuento de mesófilos



Nota. Resultados de análisis para microorganismos aerobios mesófilos.

El recuento para mohos y levaduras se realizó con siembra en cajas de Petri como se mostró en la sección 3.3.2. Para el producto final, si hubo presencia de levadura dado que no se realizó ningún proceso de pasterización ni de microfiltración que pudiera retener remanentes de biomasa del proceso, sin embargo, no hubo existencia de mohos, cabe aclarar que esto no es contraproducente ni tiene efectos negativos sobre la salud de las personas.

Teniendo en cuenta esto, se obtienen los siguientes resultados

Tabla 17.*Resultados de análisis microbiológico*

Cerveza	Recuento total de mesófilos (UFC/ml)	Recuento total de levaduras (UFC/ml)	Recuento total de <i>E.coli</i> y coliformes (UFC/ml)
Fermentador 1	18	32	0
Fermentador 2	14	57	0

Nota. Se presentan los resultados obtenidos para el análisis microbiológico del producto final de cada fermentador

7.2. Análisis fisicoquímico

El análisis fisicoquímico que se le realizó al producto obtenido es densidad, pH, °Brix y porcentaje de alcohol, sin embargo, de los parámetros mencionados anteriormente, en la normatividad sólo se encuentra especificado el rango en el que debe estar el porcentaje de alcohol

Tabla 18.*Requisitos de la cerveza*

Requisitos	Especificación
Etanol (expresado en grados alcoholimétricos) a 20°C	2,5 – 12,0

Nota. Grado alcohólico para una cerveza de acuerdo a la norma NTC 3854.

Tomado de N. Técnica, “NTC”, 1996.

Como se explicó en la sección 3.2, el porcentaje de alcohol en las cervezas obtenidas se calculó por diferencia de densidades. Estos valores para el producto final se presentan a continuación.

Tabla 19.

%ABV del producto obtenido

Cerveza	%ABV
Cerveza F1	4,13
Cerveza F2	4,72

Nota. Se presenta el porcentaje de alcohol del producto obtenido de cada fermentador.

Se puede observar que el producto del fermentador 2 tiene mayor porcentaje de alcohol en comparación con el producto del fermentado 1 como se mencionó anteriormente, sin embargo, los dos valores están dentro de la especificación dictada por la norma NTC 3854, además de también cumplir con el rango de alcohol establecido para el estilo de cerveza elaborado, el cual, según el manual BJCP debe estar entre 3.8 y 5.5 %ABV [18].

En cuanto a pH se refiere, las cervezas tienen un pH que va desde 3 hasta 4.8 de acuerdo al estilo [68]. Siendo un poco más específicos, autores como P. Cárdenas Duarte [19] y D. Cortés Montaña [69] reportan valores de pH para las cervezas elaboradas de 4.3 y 4.27 respectivamente para cervezas tipo *Blonde Ale*.

Los valores obtenidos de pH para el producto obtenido del fermentador 1 es de 4.31 y para el segundo fermentador es de 4.24. Estos valores están dentro del rango reportado por la Norma Técnica Colombiana 3952, la cual especifica que el pH debe estar entre 3.0 y 4.8, indicando que el producto se encuentra dentro de especificación a pesar de que no se obtuvo el mismo valor para cada ensayo, es decir, que a pesar de que el comportamiento de la temperatura fue diferente para cada caso, esto no afectó significativamente el valor del pH del producto [70].

Por otro lado, la densidad para una cerveza artesanal puede variar entre 0.997 g/ml y 1.040 g/ml dependiendo del estilo de cerveza elaborada [71]. Adicionalmente, siendo más específicos en la cerveza tipo Ale, W. Rodríguez [68] establece que la densidad para una cerveza tipo Ale debe estar entre 0.998 g/ml y 1.018 g/ml. Para el presente caso, se obtuvo una densidad para el producto del primer fermentador de 1.0233 g/ml y para el segundo de 1.005 g/ml, estando estos valores dentro del rango admisible para una cerveza artesanal.

Se puede evidenciar que la densidad de la cerveza producida en el primer fermentador es mayor en comparación con la obtenida del segundo fermentador. Esto se puede justificar considerando que el primer fermentador fue el que operó sin control de temperatura. Como se mencionó anteriormente, esto genera compuestos indeseables en la cerveza a causa del estrés que sufre la levadura por los cambios repentinos en el ambiente en el cual se está desarrollando, explicando el valor alto obtenido para la densidad.

La cerveza obtenida del segundo fermentador, al haber estado en un proceso fermentativo isotérmico, refleja que el consumo de azúcar por parte de la levadura, lo transformo en formación de alcohol y así mismo, al no tener presencia de otros compuestos debido al control realizado sobre este proceso, se obtiene un valor mucho más bajo para la densidad en comparación con el otro ensayo.

Finalmente, según la NTC 3952, los °Brix para una cerveza deben ser mayores a 4.5°[70]. Los productos obtenidos cumplen con esta norma debido a que, el primer producto (F1) tiene 6.68°Brix mientras que el segundo (F2) tiene 5.68°Brix.

En la siguiente tabla se presentan las características fisicoquímicas de cada cerveza.

Tabla 20.

Resultados del análisis fisicoquímico

Cerveza	pH	Densidad (g/ml)	°Brix	%ABV
Fermentador 1	4,31	1,023	6,68	4,13
Fermentador 2	4,24	1,005	5,68	4,72

Nota. Se presentan los resultados obtenidos para el análisis fisicoquímico del producto final de cada fermentador.

7.3. Análisis sensorial

Las pruebas organolépticas se realizaron con 2 grupos de personas diferentes. El primer grupo está conformado por consumidores normales de cerveza, se encuestaron 40 personas con edad entre 18 y 50 años. El segundo grupo son 4 maestros cerveceros certificados como jueces BJCP quienes realizaron una evaluación más específica para los productos obtenidos.

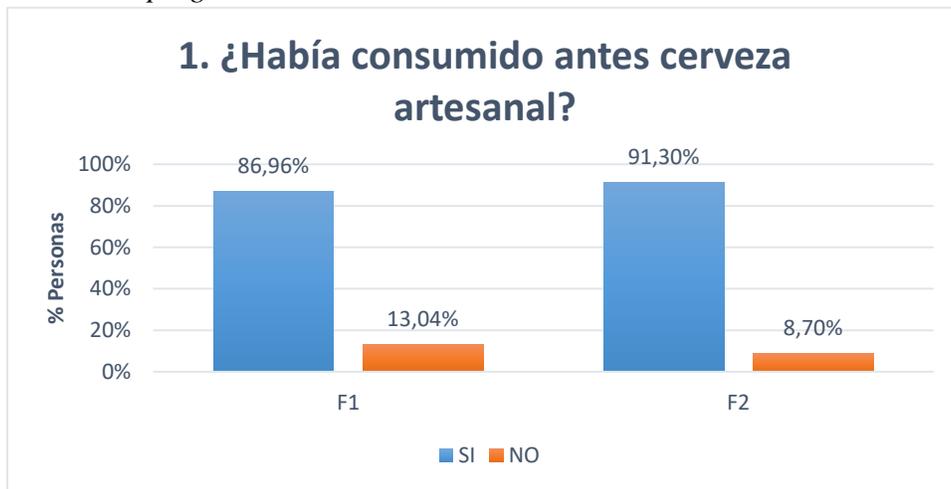
7.3.1. Consumidores comunes

La encuesta que se le realizó a este grupo de personas estaba enfocada en la aceptación o rechazo que le daban al producto teniendo en cuenta aspectos generales como amargor, calidad de la espuma y el aroma. Adicionalmente, se preguntó a cada encuestado si había consumido antes cerveza artesanal dado que esto podría influenciar las respuestas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los resultados obtenidos en cada respuesta para cada tipo de cerveza.

Figura 53.

Resultado pregunta 1



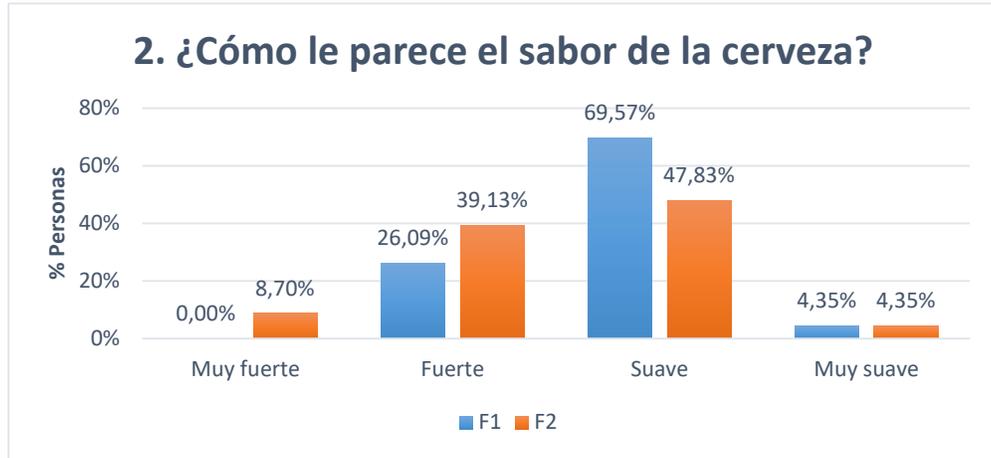
Nota. Se presenta los resultados obtenidos para la primera pregunta de la encuesta.

Como se puede evidenciar en la **Figura 53**, la mayoría de los consumidores ya habían probado antes algún tipo de cerveza artesanal, lo que indica que tienen cierto conocimiento sobre las características que puede tener el producto en función de su proceso productivo.

En cuanto a la **Figura 54**, se puede detallar que tanto la cerveza del primer fermentador como la del segundo tienen mayor apreciación dentro de la característica “suave”, sin embargo, se puede evidenciar que hay más votos en este aspecto para la cerveza del fermentador F1.

Figura 54.

Resultados pregunta 2

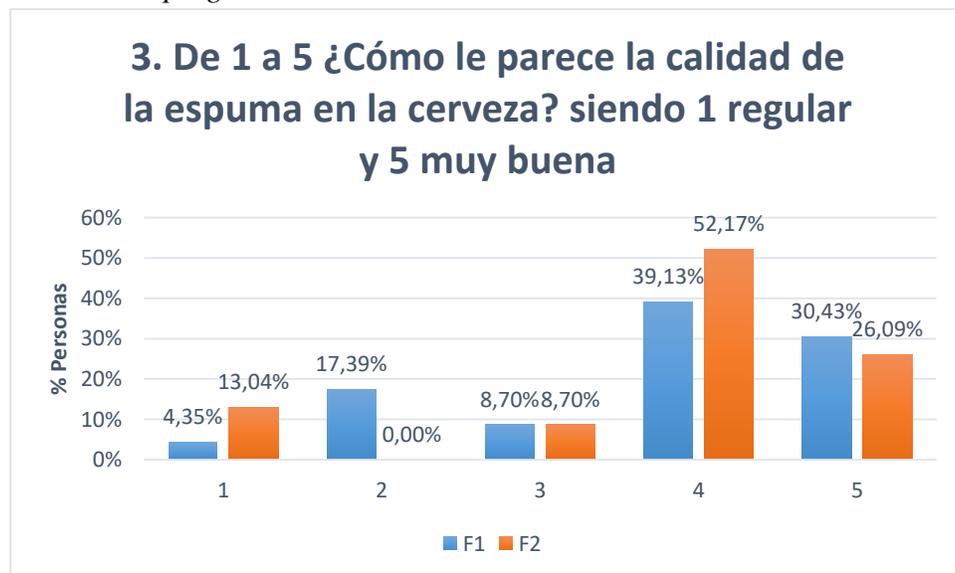


Nota. Se presenta los resultados obtenidos para la segunda pregunta de la encuesta.

Esto tiene relación con los datos explicados anteriormente en los que se manifiesta que el producto obtenido en el primer fermentador obtuvo menor porcentaje de alcohol, por lo tanto, sensorialmente al probar el producto se aprecia más suave que la cerveza del fermentador 2

Figura 55.

Resultados pregunta 3



Nota. Se presenta los resultados obtenidos para la tercera pregunta de la encuesta.

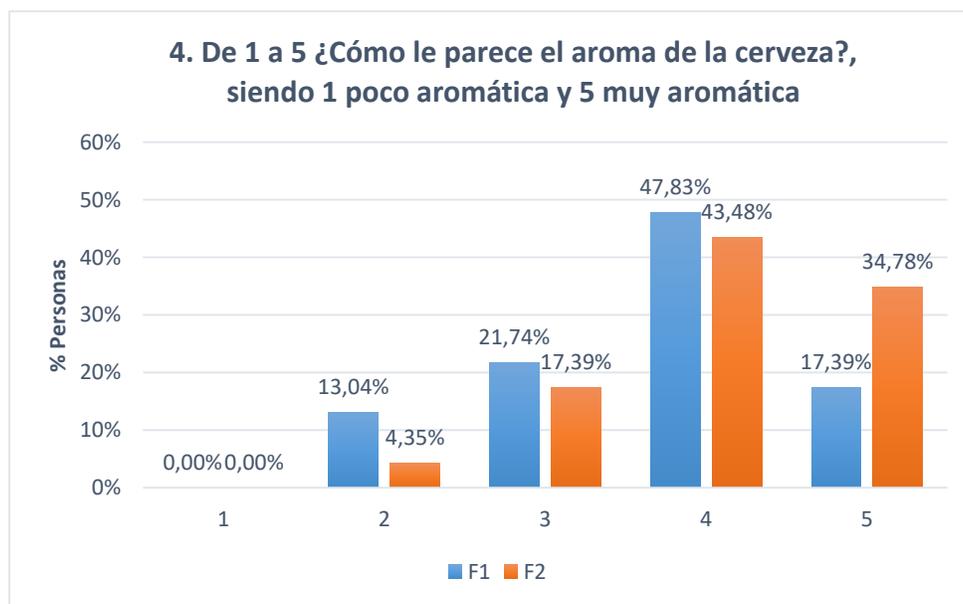
La calidad de la espuma resulta siendo mejor calificada para la cerveza del fermentador 2, con 12 votos para el nivel 4. De acuerdo con el manual BJCP, la característica de la espuma para este tipo de cerveza debe ser media con una buena retención de espuma [18].

La espuma depende en gran medida del tipo de maltas utilizadas dado que, los compuestos nitrogenados que contienen estos cereales, específicamente las proteínas y péptidos aportan al cuerpo, sensación en boca y formación de espuma en la cerveza [72]. A pesar de que la formulación fue la misma para ambos ensayos, se sabe que la temperatura de fermentación fue diferente, por lo que afectó la retención de espuma en ambas fermentaciones. Una vez finaliza la fase estacionaria, la levadura lleva a cabo un proceso de acondicionamiento en el cual, las proteínas de alto peso molecular se precipitan generando mejores características al producto [35].

Teniendo en cuenta la **Figura 48**, se puede evidenciar que, una vez finalizada la etapa de crecimiento en el caso F1, la biomasa experimenta un decrecimiento pronunciado en comparación con el proceso que lleva a cabo la levadura en el fermentador 2, viéndose afectado el acondicionamiento que sucede en esta fase, generando posiblemente que el producto obtenido del primer fermentador no tuviera buena retención de espuma

Figura 56.

Resultados pregunta 4

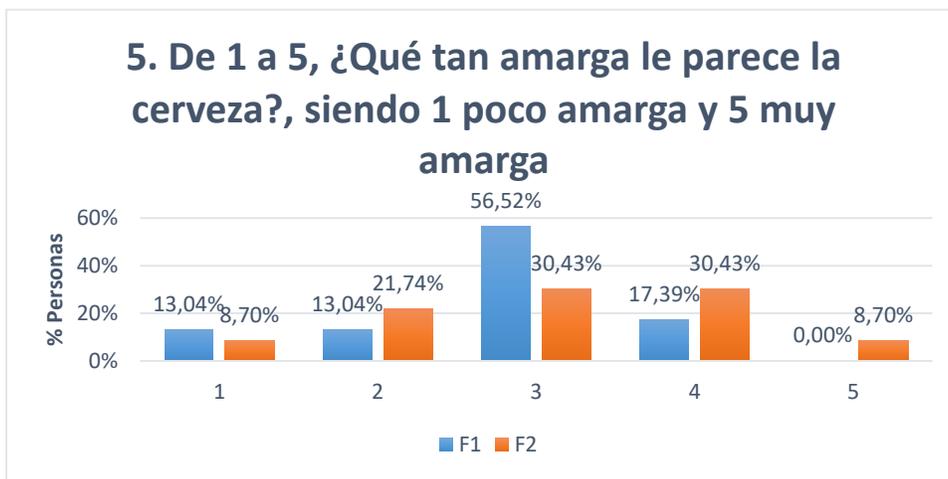


Nota. Se presentan los resultados obtenidos para la cuarta pregunta de la encuesta.

La **Figura 56**, indica que, aunque con porcentajes diferentes, los 2 tipos de cervezas fueron mayormente valoradas en el nivel 4, lo que equivale a tener una cerveza con aroma moderado-alto. Esta apreciación concuerda con las características otorgadas por el manual BJCP para el estilo de cerveza fabricado dado que establece que su aroma debe ser moderado [18]. Adicionalmente, estos resultados muestran que para el público común no hubo diferencia significativa en el aroma entre cada cerveza, lo que significa que el efecto de la temperatura para ellos, no tuvo influencia sobre este rasgo del producto.

Figura 57.

Resultados pregunta 5



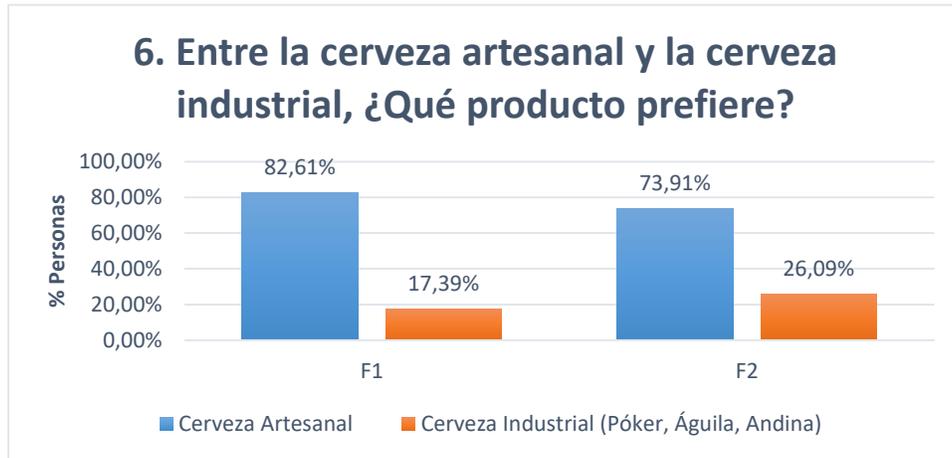
Nota. Se presenta los resultados obtenidos para la quinta pregunta de la encuesta.

La primera cerveza obtuvo mayor calificación en la puntuación 3, indicando que, el consumidor no percibe el producto ni muy amargo, ni muy ligero, teniendo un amargor medio. Sin embargo, el segundo producto (F2) tiene la misma valoración tanto para el nivel 3, como para el 4, coincidiendo con el estilo según la guía BJCP, la cual establece que el amargor debe ser de medio a bajo.

La última pregunta se realizó con el fin de determinar la preferencia del consumidor entre la amplia variedad de productos que existe en esta industria, siendo más preferida la cerveza artesanal. Muchos de los consumidores opinan que es un mejor producto, más novedoso y con mejores características.

Figura 58.

Resultados pregunta 6



Nota. Se presentan los resultados obtenidos para la sexta pregunta.

7.3.2. Maestros Cerveceros

La evaluación sensorial estuvo a cargo de 4 maestros cerveceros y jueces certificados por el BJCP. Para el juzgamiento del producto, se utilizó el formato de evaluación “Beer Scoresheet” (ANEXO 8 - ANEXO 15) el cual permite calificar la cerveza con base a un estilo determinado, *Blonde Ale* para el presente caso, teniendo en cuenta el aroma, la apariencia, el sabor, la sensación en boca y la impresión general. A cada una de estas categorías se le asigna una puntuación la cual es sumada al final para poder obtener la cantidad de puntos totales de la cerveza y respecto a la calificación obtenida se determina que tan cerca o lejos se estuvo de los parámetros característicos para el estilo.

A continuación, se presentan los resultados promediados obtenidos para cada muestra

Tabla 21.*Resultados evaluación sensorial*

Aspecto a evaluar	Puntaje Promedio	
	Cerveza F1	Cerveza F2
Aroma (0-12)	6.5	8
Apariencia (0-3)	2.25	2.5
Sabor (0-20)	13	15
Sensación en boca (0-5)	3	3.25
Impresión General (0-10)	6.25	7.25
Total (0-50)	31	36

Nota. Se presenta el promedio de los resultados para cada ítem evaluado para cada tipo de cerveza.

Al final del formato de evaluación, hay una tabla que permite clasificar a la cerveza evaluada en sobresaliente, excelente, muy buena, buena, regular y problemática según la calificación total obtenida.

De acuerdo a la **Tabla 21**, los 2 tipos de cervezas, a pesar de tener puntajes diferentes, entran en la clasificación de “Muy buena”, lo que significa que, a pesar de que una cerveza tuvo control térmico y la otra no, se logró un producto acorde al estilo planteado.

Sin embargo, realizando el análisis de una manera más específica, en la **Tabla 21** se puede observar que la cerveza obtenida del fermentador que no tuvo control de temperatura (F1) fue menor calificada en todos los aspectos en relación a la otra cerveza, enfatizando en la mejora que tiene el producto si el proceso se realiza de forma isotérmica.

Una cerveza que no lleva control de temperatura durante la fermentación, como se mencionó anteriormente, genera estrés en la levadura. Este comportamiento se ve reflejado no sólo en la cantidad de sustrato consumido y en la cantidad de etanol producido, sino también se puede evidenciar que sensorialmente trae defectos al producto, haciendo entregar un producto de menor calidad.

Tabla 22.*Guía de calificación según BJCP*

Calificación	Puntaje
Excepcional (Ejemplo internacional del estilo)	45 – 50
Excelente (Buen ejemplo del estilo, necesita mínimos ajustes)	38 – 44
Muy buena (Ejemplo del estilo con problemas poco importantes)	30 – 37
Buena (Fuera del estilo y con problemas poco importantes)	21 – 29
Regular (Sabores extraños o problemas importantes)	14 – 20
Problemática (Dominan los sabores y aromas extraños. Imbebible)	0 – 13

Nota. Se presenta la calificación de la cerveza de acuerdo al puntaje total obtenido. Tomado de: “Beer Scoresheet”. https://www.bjcp.org/docs/SCP_BeerScoreSheet.pdf (consultado may 20, 2021). [73]

Dentro de la calificación realizada para la cerveza del F1, se identificaron descriptores como ésteres, oxidado y alcohólico, además, todos los evaluadores coinciden en la percepción de un aroma dulce en el producto, lo que indica presencia de ésteres, los cuales si pueden estar presentes en el producto debido a la variación brusca de temperatura.

Por otro lado, para la cerveza F2 reportan un aroma un poco más leve, más suave a malta y lúpulo y, otros jueces, describen un aroma leve a pan y miel; el control de temperatura permitió un mayor enfoque en estos aromas, además de un mejor comportamiento de la levadura, evitando la generación de otros compuestos aromáticos no pertenecientes a este estilo de cerveza.

De acuerdo con el manual BJCP, el aroma para una cerveza tipo *Blonde Ale* debe ser “ligero a moderado aroma a malta dulce, posiblemente con una ligera nota a pan o caramelo... Puede tener un aroma a lúpulo de bajo a medio y puede reflejar casi cualquier variedad de lúpulo, aunque son comunes notas cítricas, florales, frutales y especiadas” [18]

En cuanto a la apariencia, la primera cerveza los jueces la evalúan de forma general como un producto de baja retención, color dorado y cuerpo medio, mientras que las opiniones para la segunda cerveza es que tiene buena retención de espuma blanca, color dorado pálido y cerveza clara.

El manual BJCP especifica que la apariencia de la *Blonde Ale* debe ser de color amarillo suave a dorado profundo. Clara a brillante. Espuma blanca baja a media con regular a buena retención [18].

En el sabor para la cerveza del F1 identifican la variación de la temperatura por el sabor a lúpulos oxidados, de amargor muy leve, con bajas notas a lúpulo y leve sabor dulce. Por otro lado, para la cerveza obtenida del segundo fermentador establecen que hay un sabor equilibrado entre malta lúpulo y levadura, no detectan presencia significativa de descriptores y con amargor bajo.

La guía expone que el estilo debe tener un sabor “suave dulzor maltoso inicial, pero opcionalmente con algún carácter ligero de sabor a malta... Sabor a lúpulo ligero a moderado, pero no es demasiado agresivo. Amargor medio – bajo a medio, pero el balance es normalmente hacia la malta o aún entre malta y lúpulo. La impresión de dulzor es frecuentemente una expresión del bajo amargor” [18]

La primera cerveza (F1), de acuerdo a los jueces, tiene baja carbonatación, astringencia media, final seco y cuerpo medio – bajo, mientras que la segunda muestra (F2) la califican como refrescante, de cuerpo medio – bajo, sin astringencia y alcohol moderado.

El estilo se caracteriza por tener un cuerpo medio – ligero a medio. Carbonatación media a alta. Delicado sin ser intenso [18].

Finalmente, en cuanto a impresión general, en la primera cerveza (F1) expresan que la cerveza está acorde con el estilo, refrescante, pero, desviada en la parte aromática. Para ello, sugieren hacer manejo de las temperaturas adecuadas. Para la segunda cerveza (F2), indican que es una cerveza fácil de tomar, equilibrada, ligera, de buena carbonatación y acorde al estilo planteado.

Según los comentarios y calificaciones emitidas por cada jurado, se puede observar que el producto obtenido del proceso isotérmico resulta más acorde a las especificaciones dictadas por la guía BJCP para el estilo desarrollado. Por otro lado, en la cerveza que no tuvo control de temperatura,

a pesar de tener características acordes al estilo, fueron percibidos descriptores que reducen la calidad del producto, reflejando en éste, las consecuencias de no realizar el proceso de forma isotérmica. Los defectos encontrados para este producto coinciden con los compuestos formados por la levadura cuando ésta se encuentra bajo condiciones de estrés, así como se explicó en la sección 4.2.

8. CONCLUSIONES

Durante los 7 días de fermentación, el proceso fermentativo con control de temperatura (F2) alcanzó un rendimiento producto/sustrato ($Y_{p/s}$) mayor, en el cual la levadura consumió 7,25 °plato de sustrato y produjo en etanol 4,13% ABV, alcanzando un $Y_{p/s}$ de $0,42 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$; en cuanto al proceso fermentativo a temperatura ambiente (F1) la levadura consumió 7,42 °plato de sustrato, pero este mayor consumo no se traduce en una mayor producción de etanol, ya que alcanzó un 4,06% ABV y también un menor $Y_{p/s}$ de $0,40 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$.

El comportamiento de la biomasa fue distinto para los dos casos de fermentación evaluados, generándose en el proceso F1 una concentración máxima de levadura de $2,3 \times 10^6$ UFC/ml a las 34,5 horas de fermentación, mientras el proceso F2 alcanzó una concentración máxima menor, de $1,7 \times 10^6$ UFC/ml, pero en un tiempo de 12 horas de fermentación. A pesar de esto, el cambio en la concentración de levadura durante toda la fermentación fue más estable en el proceso fermentativo F2 y el crecimiento fue más eficiente ya que la velocidad de crecimiento de biomasa (r_x) es de $0,142 \text{ g}_{\text{biomasa}}/\text{Lh}$, mayor a la del proceso fermentativo F1 que es de $0,0667 \text{ g}_{\text{biomasa}}/\text{Lh}$.

En cuanto a la cinética de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* empleada en ambas fermentaciones, tuvo un comportamiento más eficiente en el proceso fermentativo F2, donde alcanzó una velocidad específica máxima de crecimiento (μ_{max}) de $0,758 \text{ h}^{-1}$, con un tiempo de duplicación (t_D) de 0,914 horas y una concentración de sustrato limitante del crecimiento (K_s) de $147,44 \text{ g}_{\text{sustrato}}/\text{L}$; mientras el proceso F1 alcanzó una μ_{max} menor, de $0,749 \text{ h}^{-1}$, la levadura se duplicó más lentamente, con un t_D de 0,926 horas y con un K_s mayor de $151,32 \text{ g}_{\text{sustrato}}/\text{L}$, lo que indica que por las condiciones en la variación de la temperatura, la levadura tuvo una menor afinidad por el sustrato en F1 comparando con el proceso F2.

De acuerdo a otros parámetros cinéticos evaluados, la velocidad de formación de etanol (r_p) es mayor en el proceso fermentativo F2, con un valor de $0,244 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{Lh}$, mientras en el proceso F1 r_p es de $0,240 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{Lh}$; el proceso F1 solo fue más eficiente en el consumo de sustrato ya que su velocidad de consumo ($-r_s$) es de $0,605 \text{ g}_{\text{sustrato}}/\text{Lh}$, mientras en F2 $-r_s$ es de $0,590 \text{ g}_{\text{sustrato}}/\text{Lh}$, pero esta mayor eficiencia no generó una mayor cantidad de etanol, ni mejores características en el producto final. También se determinaron los rendimientos $Y_{x/p}$ y $Y_{x/s}$, en los que para ambos casos el proceso F2 tuvo mejores resultados, con un $Y_{x/p}$ de $0,554 \text{ g}_{\text{biomasa}}/\text{g}_{\text{etanol}}$ y un $Y_{x/s}$ de

0,398 g_{biomasa}/g_{sustrato}, mientras para el proceso F1 se alcanzó un Y_{x/p} de 0,122 g_{biomasa}/g_{etanol} y un Y_{x/s} de 0,0482 g_{biomasa}/g_{sustrato}.

Los productos finales de ambas fermentaciones cumplieron con casi todas las especificaciones de la norma NTC 3854 para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, excepto para la máxima concentración de levadura, ya que ambos productos están por encima de 20 UFC/ml, debido a que la norma existe solo para cerveza industrial y no para artesanal, donde se omite la etapa de pasteurización y filtración final, cabe aclarar que esto no es contraproducente y el producto es apto para consumo. La cerveza de F1 tiene un %ABV de 4,13% y la cerveza F2 de 4,72% ambas dentro del rango de la norma y además dentro del rango para una cerveza *Blonde Ale* según el manual BJCP.

En cuanto al análisis sensorial, los consumidores del común valoran la cerveza F1 como más “suave”, principalmente por tener una menor concentración de alcohol, mientras la cerveza F2 se caracterizó por tener una formación de espuma más agradable y concuerdan en que ambas tienen un aroma y amargor moderados, además ambos productos fueron aceptados satisfactoriamente.

De acuerdo al análisis de los maestros cerveceros (jueces BJCP), la cerveza F2 tiene un mayor puntaje global (36 puntos) y por tanto una mayor calidad de acuerdo al tipo de cerveza elaborada, la cerveza F1 obtuvo 31 puntos, aunque ambas entraron en la misma calificación BJCP “muy buena” siendo ejemplos del estilo con problemas poco importantes según este manual. Los maestros identificaron en la cerveza F1 descriptores no pertenecientes al estilo de cerveza como esterres (aroma dulce), oxidado y alcohólico y para el producto F2 identificaron una presencia más suave a malta y lúpulo, siendo más equilibrada, pero concluyen de forma general que ambos productos están acordes al estilo planteado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. V. Humia, K. S. Santos, A. M. Barbosa, M. Sawata, M. da C. Mendonça, y F. F. Padilha, “Beer molecules and its sensory and biological properties: A review”, *Molecules*, vol. 24, núm. 8, 2019, doi: 10.3390/molecules24081568.
- [2] K. Habschied, A. Živković, V. Krstanović, y K. Mastanjević, “Functional beer—a review on possibilities”, *Beverages*, vol. 6, núm. 3, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/beverages6030051.
- [3] J. Llanos, “Cerveza artesanal versus cerveza industrial: Un análisis de las preferencias de los jóvenes universitarios en Mar del Plata”, *Univ. Nac. Mar del Plata*, vol. 1, p. 16, 2020, [En línea]. Disponible en: <http://nulan.mdp.edu.ar/3350/1/llanos-2020.pdf>.
- [4] “Las 7 diferencias entre la cerveza artesana y la industrial | Cervesa artesana, cervesa del montseny”. <https://cervesamontseny.cat/es/las-7-diferencias-entre-la-cerveza-artesana-y-la-industrial/> (consultado feb. 18, 2021).
- [5] J. Arroyo-lloren, “Artesanal de maracuyá Juan Arroyo-Lloren”, pp. 1–161, 2019, [En línea]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4098/ING_630.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [6] J. J. Fl, B. Tutores, L. Francisco, y V. Arenas, “Trabajo fin de grado grado en ingeniería química planta de acondicionamiento de agua para fabricación de cerveza artesanal.”, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/proyectos/objetos/proyecto157.pdf>.
- [7] M. Verdú Gisbert, “Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza”, *Univ. Politècnica Val. Campus Alcoy*, p. 78, 2016, [En línea]. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73275/Diseño_y_puesta_en_marcha_de_una_planta_elaboradora_de_cerveza.pdf?sequence=3.
- [8] G. E. Arana Contreras, “Proceso productivo de la elaboración de cerveza lager a nivel industrial”, p. 96, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5836>.

- [9] S. Gerhards *et al.*, “Different dry hopping and fermentation methods: influence on beer nutritional quality”, *J. Sci. Food Agric.*, 2020, doi: 10.1002/jsfa.10912.
- [10] V. H. Benitez Baltazar y C. O. Morales Rivas, “Automatización del proceso de macerado de la malta para la producción de cerveza artesanal”, *Epistemus*, vol. 12, núm. 24, pp. 53–61, 2018, doi: 10.36790/epistemus.v12i24.68.
- [11] Los Cervecistas, “El proceso de fabricación de la cerveza - los cervecistas”, *los cervecistas*, 2018. <https://www.loscervecistas.es/el-proceso-de-fabricacion-de-la-cerveza/> (consultado feb. 09, 2021).
- [12] “La historia de la cerveza estilo lager”, 2018. <https://maltosaa.com.mx/cerveza-estilo-lager/> (consultado feb. 10, 2021).
- [13] “Cerveza lager | Características, origen, sabor, clasificación, marcas”, 2019. <https://checerveza.com/tipo-lager/> (consultado feb. 10, 2021).
- [14] C. da Costa Jardim, D. de Souza, I. Cristina Kasper Machado, L. Massochin Nunes Pinto, R. de Souza Ramos, y J. Garavaglia, “Sensory profile, consumer preference and chemical composition of craft beers from Brazil”, *Beverages*, vol. 4, núm. 4, p. 106, 2018, doi: 10.3390/beverages4040106.
- [15] P. Ortega, “¿Qué es la guía de estilos de cervezas de la BJCP? | Loopulo”, 2020. <https://loopulo.com/conocer/que-es-la-guia-de-estilos-bjcp/> (consultado feb. 19, 2021).
- [16] A. Pedrueza, “Qué es el IBU en una cerveza? Significado y cálculo del amargor - beers and trips - cervezas y viajes”, ene. 14, 2020. <https://www.beersandtrips.com/que-es-el-ibu-en-una-cerveza-significado-y-calculo-del-amargor/> (consultado feb. 19, 2021).
- [17] “¿Por qué ponerle atención al nivel de ABV en una cerveza? - cerveceros de México”, nov. 21, 2017. <https://cervecerosdemexico.com/2017/11/21/por-que-ponerle-atencion-al-nivel-de-abv-en-una-cerveza/> (consultado feb. 19, 2021).
- [18] BJCP, “Beer Judge Certification Program”, *Style Guidel.*, 2015, [En línea]. Disponible en: https://www.thebeertimes.com/wp-content/uploads/2017/08/2015_Guidelines_Beer_Español-final.pdf.

- [19] P. A. Cardenas Duarte y F. M. Gualdron Hernandez, “Propuesta de mejora en la producción de cerveza artesanal rubia a nivel semi - industrial a base de la unión de dos maltas para la empresa Milenaria”, Fundación Universidad de América, 2019.
- [20] N. A. Amaya Jiménez y L. M. Díaz Pascagaza, “Evaluación de perfiles fermentativos para la elaboración de cerveza artesanal por levaduras nativas”, vol. 8, núm. 5, p. 55, 2019.
- [21] P. Loera, “Simulación estocástica y control óptimo de procesos para el tratamiento de aguas residuales de excretas porcinas”. pp. 16–30, 2003, [En línea]. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1608/capitulo2.pdf>.
- [22] S. Arevalo, “Optimizacion de la produccion del agente de biocontrol candida sake (CPA-1)”, *Universitat de Lleida*. pp. 1–18, 1998, [En línea]. Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8389/TSMAC1de3.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR2GdN5BdJRJu6-WTwrE0nzQgS-NXJ6_zAWDLDWoaOVSlMR9Rf56s5TSBY.
- [23] J. I. Sánchez Torres, E., Monzón Bescós, A., & Villacampa Elfau, “Estudio de la cinética fermentativa de *saccharomyces cerevisiae*, en presencia de lindano, en un proceso de fermentación discontinuo (batch)”, *Zaguan.Unizar.Es*, p. 157, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>.
- [24] J. Monod, “A certain number”, *Annu. Rev. M*, vol. 3, núm. XI, pp. 371–394, 1949.
- [25] R. B. Boulton, V. L. Singleton, L. F. Bisson, y R. E. Kunkee, “Yeast and biochemistry of ethanol fermentation. principles and practices of winemaking, 102–192 | 10.1007/978-1-4757-6255-6_4”, en *principles and practices of winemaking*, Springer US, Ed. 1999, pp. 102–192.
- [26] K. M. Campoverde Nolivos, “Modelación cinética de la fermentación alcohólica a partir de bebidas gaseosas caducadas”, *Univ. Cent. del Ecuador*, vol. 4, pp. 9–15, 2017.
- [27] M. Phisalaphong, N. Srirattana, y W. Tanthapanichakoon, “Mathematical modeling to investigate temperature effect on kinetic parameters of ethanol fermentation”, *Biochem. Eng. J.*, vol. 28, núm. 1, pp. 36–43, 2006, doi: 10.1016/j.bej.2005.08.039.
- [28] P. fin de Carrera y P. Fin, “Cinética microbiana”, pp. 1–7, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20046/fichero/Anexo%252FANEXO+6.pdf><http://bi>

bing.us.es/proyectos/abreproy/20046/fichero/Anexo%252FANEXO+6.pdf.

- [29] D. M. Rivera-Pastrana, “Producción de penicilino acilasa en e. coli recombinante a partir de suero de leche bovino”, pp. 1–251, 2005, [En línea]. Disponible en: <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/999/1/TMIPICYTR5P72005.pdf>.
- [30] E. Mallen, “Capítulo 8”, *La muerte y la máscara en Pablo Picasso*, pp. 1–36, 2016, doi: 10.3726/978-1-4539-1172-3/10.
- [31] “Brewer’s friend | homebrew beer recipes, calculators & forum”. <https://www.brewersfriend.com/> (consultado abr. 06, 2021).
- [32] “¿Qué es la malta en la cerveza? - cervezas malabella”. <https://cervezasmalabella.com/ques-la-malta/> (consultado abr. 06, 2021).
- [33] “Bestmalz”, 2017. https://bestmalz.de/files/Malzbroschuere_EN_Version_201709.pdf (consultado abr. 06, 2021).
- [34] R. Delgado, “Cálculos básicos para determinar la cantidad de ingredientes para elaborar una cerveza”, *Africa’s potential Ecol. Intensif. Agric.*, vol. 53, núm. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [35] J. J. Palmer, *How to brew*. 2006.
- [36] “Lúpulo bravo - insumos de cerveza”. <https://distrines.com/lupulos/30/lupulo-bravo> (consultado abr. 07, 2021).
- [37] “Lúpulo cascade - insumos de cerveza”. <https://distrines.com/lupulos/28/lupulo-cascade> (consultado abr. 07, 2021).
- [38] “Blonde ale | Receta de cerveza blonde ale all grain en brewer’s friend”. <https://www.brewersfriend.com/homebrew/recipe/view/1122185/blonde-ale> (consultado abr. 18, 2021).
- [39] “Fermentis”. <https://www.cocinista.es/download/bancorecursos/documentos/fichas/SafAle-US-05-2.pdf> (consultado abr. 07, 2021).
- [40] “Jombregüin | Cervezomicón”. <https://cervezomicon.com/category/jombreguin/>

- (consultado abr. 19, 2021).
- [41] C. White y J. Zainasheff, *Yeast, the practical guide to beer fermentation*, vol. 53, núm. 9. Colorado, 2010.
- [42] Y. H. Hui, *Handbook of food products manufacturing*. California, 2007.
- [43] M. Sterczyńska, M. Stachnik, A. Poreda, J. Piepiórka-Stepuk, M. Zdaniewicz, y M. Jakubowski, “The improvement of flow conditions in a whirlpool with a modified bottom: An experimental study based on particle image velocimetry (PIV)”, *J. Food Eng.*, vol. 289, núm. May 2020, 2021, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110164.
- [44] W. Vogel, “Elaboracion casera de la cerveza”. p. 146, 2003.
- [45] G. R. Merelo Espinar y J. G. Zúñiga Tapia, “Universidad de Guayaquil”, 2013.
- [46] D. A. Salazar Garavito, “Evaluación del efecto de la reutilización de la levadura para el proceso de fermentación en la producción de cerveza artesanal del estilo blonde ale en la empresa cervecería OD Colombia”, *Orphanet J. Rare Dis.*, vol. 21, núm. 1, pp. 1–9, 2020.
- [47] G. Philliskirk, “Plato gravity scale / Artesanal beer”. <https://beerandbrewing.com/dictionary/NpUFIRRVLP/> (consultado may 03, 2021).
- [48] “Brix to plato conversion”. <https://www.homebrewersassociation.org/forum/index.php?topic=1258.0> (consultado may 05, 2021).
- [49] “Brix_plato_sg_conversion”. http://braukaiser.com/documents/Kaiser_Brix_Plato_SG_table.pdf (consultado may 03, 2021).
- [50] “Plato to sg conversion chart | Brewer’s friend”. <https://www.brewersfriend.com/plato-to-sg-conversion-chart/> (consultado may 03, 2021).
- [51] A. Isabel y M. Martín, “¿Cuánto alcohol consumimos cuando decimos que bebemos ‘lo normal’? Determinación de la tasa de alcoholemia”, pp. 37–41, 2015.
- [52] S. C. Garzón Castaño y C. Hernández Londoño, “Estudio comparativo para la producción de etanol entre *saccharomyces cerevisiae* silvestre, *saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763

- y candida utilis ATCC 9950”, 2009, [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71396015.pdf>.
- [53] G. Walker y G. Stewart, “Saccharomyces cerevisiae in the production of fermented beverages”, *Beverages*, vol. 2, núm. 4, p. 30, 2016, doi: 10.3390/beverages2040030.
- [54] J. A. Mejía-Barajas, R. Montoya-Pérez, C. Cortés-Rojo, y A. Saavedra-Molina, “Levaduras termotolerantes: aplicaciones industriales, estrés oxidativo y respuesta antioxidante”, *Inf. Tecnol.*, vol. 27, núm. 4, pp. 3–16, 2016, doi: 10.4067/S0718-07642016000400002.
- [55] A. González, “Microbiología clínica medios de cultivo”, *Salud Publica Mex.*, vol. 12, núm. 3, pp. 99–103, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://asignatura.us.es/mbclinica/docs/recursos/12/medios-de-cultivo.pdf> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21365129> http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0036-36342002000500011&script=sci_arttext&tIng=pt <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci>.
- [56] M. Monroy, “Placa petrifilm mr para recuento de hongos y levaduras”, 2013, [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/11333372/Placa_Petrfilm_MR_para_Recuento_de_Hongos_y_Levaduras.
- [57] “3M - placas petrifilm™ para recuento de hongos y levaduras”. <https://somasadvance.com/productos/3m-placas-petrfilm-para-recuento-de-hongos-y-levaduras/> (consultado may 18, 2021).
- [58] 3M™, “Guía de interpretación de recuento de mohos y levaduras.”
- [59] A. Díaz *et al.*, “Análisis microbiológico de los alimentos microorganismos indicadores”, *Anmat*, vol. 3, pp. 1–14, 2017, [En línea]. Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/renaloe/docs/analisis_microbiologico_de_los_alimentos_vol_iii.pdf.
- [60] Condalab, “Agar dextrosa y patata EP/USP/BAM”, pp. 1–2, 2019, [En línea]. Disponible en: www.condalab.com.

- [61] F. Ardestani, F. Rezvani, y G. Najafpour, “Fermentative lactic acid production by lactobacilli: moser and gompertz kinetic models”, *J. Food Biosci. Technol.*, vol. 7, núm. 2, pp. 67–74, 2017.
- [62] R. T. Sataloff, M. M. Johns, y K. M. Kost, *Contribución de la ingeniería de las reacciones químicas al desarrollo de nuevos procesos industriales*. 2019.
- [63] M. T. Castañeda, “Estequiometría y cinética del crecimiento microbiano”, *Univ. tecnológica Nac. la Plata*, pp. 27–28, 2019.
- [64] H. Jin, R. Liu, y Y. He, “Kinetics of batch fermentations for ethanol production with immobilized *saccharomyces cerevisiae* growing on sweet sorghum stalk juice”, *Procedia Environ. Sci.*, vol. 12, pp. 137–145, 2012, doi: 10.1016/j.proenv.2012.01.258.
- [65] N. Técnica, “NTC”, 1996.
- [66] E. Coli y / Coliformes, “Placas petrifilm™ para recuento de”.
- [67] 3M center, “Placas petrifilm™ para el recuento de aerobios ac”, p. 6, 2017, [En línea]. Disponible en: www.3M.com/.
- [68] W. E. Rodriguez Cruz, “Efecto de la sustitución de cebada (*hordeum vulgare*) por quinua (*chenopodium quinoa*) u del pH inicial de maceración en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una cerveza tipo ale”, pp. 1–84, 2015.
- [69] D. Cortés Montaña, “Análisis comparativo de cervezas artesanales extremeñas”, p. 61, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://dehesa.unex.es/handle/10662/6875>.
- [70] A. A. Albán Jiménez, R. A. Carrasco Calle, C. Castillo Amaya, C. A. Mena Núñez, y A. A. Tafur Rojas, “Diseño del proceso productivo de cerveza artesanal de miel para la empresa d’ calidad trabajo”, *Univ. Piura*, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4283>.
- [71] J. Rodriguez, W.; Gutierrez, “Efecto del tiempo y temperatura del malteado de quinua(*chenopodium quinoa*) en la calidad de una cerveza artesanal red alé complementado con malta base pilsen y malta caramelo.”, p. 211, 2018.
- [72] L. Ferreyra, “Elaboración de cerveza: historia y evolución, desarrollo de actividades de

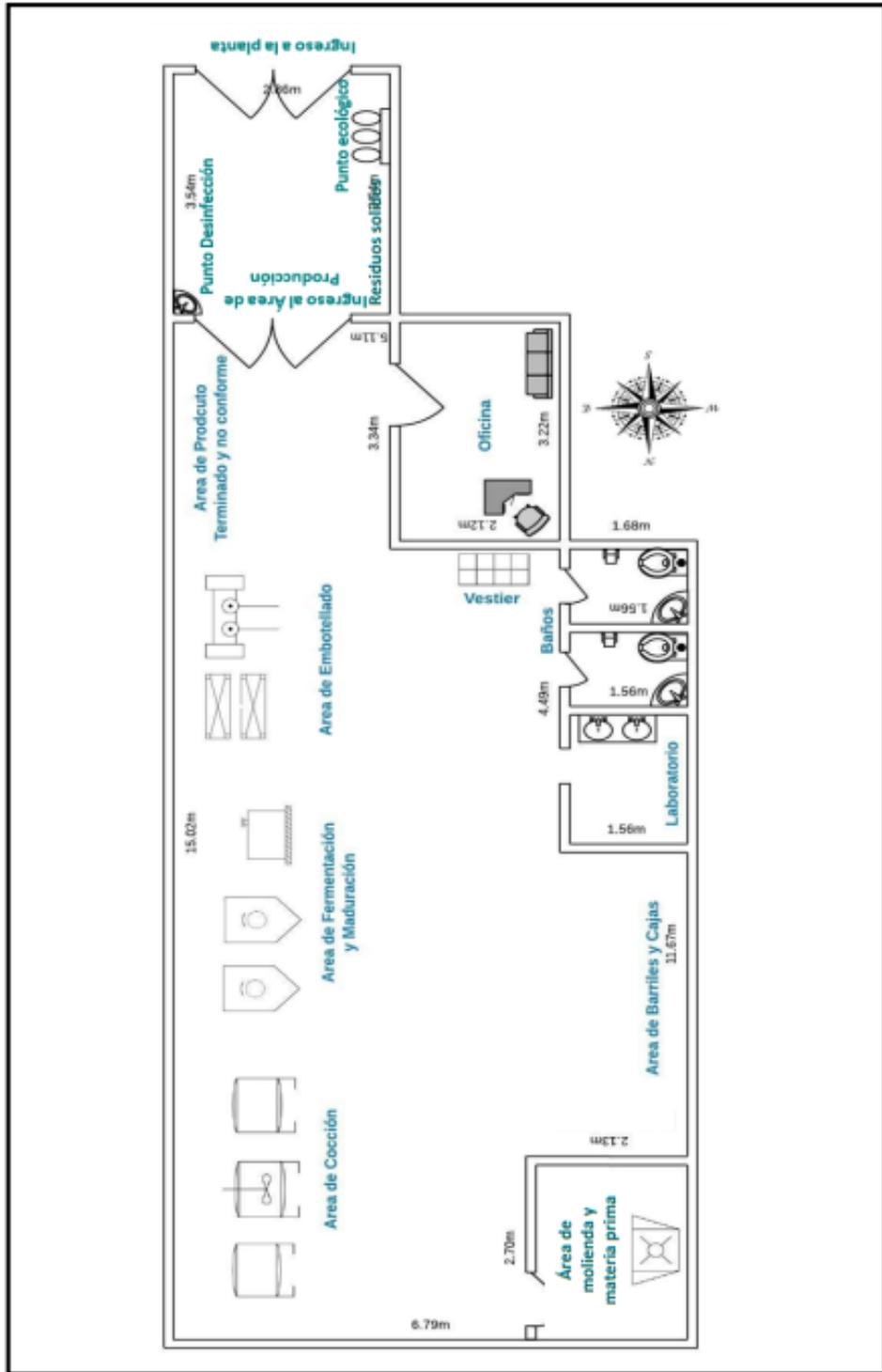
capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales”, 2014. <http://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreira-.pdf> (consultado may 20, 2021).

[73] “Beer scoresheet”. https://www.bjcp.org/docs/SCP_BeerScoreSheet.pdf (consultado may 20, 2021).

ANEXOS

ANEXO 1. PLANO CERVECERÍA TERRA CRUZ

	PLANO GENERAL
Versión: 01	Fecha: enero de 2021



ANEXO 2.
FICHA TÉCNICA DE MALTA BASE PILSEN



Bestmalz, Malz GmbH - Kurfürsten-Anlage 32 - 40103 Düsseldorf

Distribs Ltda
Cra 50A No 41B - 11 sur
frente estación transmision gen.sant,
111621 BOGOTA
KOLUMBIEN

MALT ANALYSIS

No.:	110753
Date:	30.11.2020
Order No.:	309713
Customer ID:	200321
Contact:	Pascal Schlegemilch
Phone:	-0
E-Mail:	pascal.schlegemilch@bestmalz.de
Page:	1

Reference	PO#144 floorload
Your Reference	28.10.2020
Com.	308438

Item	Description	Qty	Unit	Delivery date
1	3001 BEST Pilsen Malt 1000 x 25 kg bags; EBC 3,0-4,9 Non palletized Lot/SN : 3001-33520-11	25	TO	30.11.2020
	Quality		Analyse	
	Moisture Content (%)		4,10	
	Extract (Fine Grind) dry basis		81,60	
	Fine-Coarse Difference		0,60	
	Total Protein		10,30	
	Soluble Nitrogen (mg/100g)		690,00	
	Kolbach-Index (%)		41,90	
	Hartong 45* (%)		41,00	
	Wort Color (EBC)		3,50	
	Viscosity 8,6%		1,48	
	pH-Value		5,94	
	Friability (%)		93,00	
	Unmodified Kernels (%)		0,60	
	Grading >2,5 mm		96,20	
	Grading <2,2 mm		0,40	
	Crop		2019	

ANEXO 3.
FICHA TÉCNICA MALTA CARMEL PILS

MALT ANALYSIS

Distrines Ltda

N o .
Date
Page

110733
26.11.2020
3

Item	Qty	Unit	Delivery date
Description			
3	2,4	TO	26.11.2020
3133 BEST Caramel® Pils (Malt) 96 x 25 kg bags Palletized 110 x 110 cms Lot/SN : 3133-31620-72			
Quality	Analyse		
Moisture Content (%)	4,00		
Extract (Fine Grind) dry basis	79,70		
Total Protein	10,10		
Wort Color (EBC)	5,00		
pH-Value	5,71		
Crop	2019		

Escaneado con CamScanner

ANEXO 4.
FICHA TÉCNICA MALTA CAMEL MUNICH II

MALT ANALYSIS

Distrines Ltda

N o .
Date
Page

110733
26.11.2020
10

Item	Description	Qty	Unit	Delivery date
10	3144 BEST Caramel® Munich II (Malt) 48 x 25 kg bags; EBC 110-130 Palletized 110 x 110 cms Lot/SN : 3144-32220-51	1,2	TO	26.11.2020
	Quality		Analyse	
	Moisture Content (%)		2,40	
	Extract (Fine Grind) dry basis		79,20	
	Total Protein		10,30	
	Wort Color (EBC)		120,00	
	pH-Value		5,37	
	Crop		2019	

Escaneado con CamScanner

ANEXO 5.
FICHA TÉCNICA LÚPULO BRAVO



YAKIMA VALLEY HOPS, LLC
702 N. 1ST AVE. STE. D
YAKIMA, WA. 98902
206.649.4677

Date 09/01/2020

Certificate of analysis, Order Inv#16799

PRODUCT SHIPPED TO:

Wilson Velasquez
DISTRINES LTDA
Bogota, COLOMBIA

Item #1:

- Hop pellets: Type 90
 - Variety: AMARILLO
 - Batch number: AMAR01019
 - Crop Year: 2019
 - Alpha Acid: 8.0%
 - Alpha Method: EBC 7.5
 - Expiry date: October 2022
- Packaging: 44 Lbs. (20 kg) Nitrogen Vacuum Foil

Item #2:

- Hop pellets: Type 50
 - Variety: Bravo
 - Batch number: BRA1541019
 - Crop Year: 2019
 - Alpha Acid: 15.4%
 - Alpha Method: EBC 7.5
 - Expiry date: October 2022
- Packaging: 220 Lbs. (100 kg) Nitrogen Vacuum Foil

Item #3:

- Hop pellets: Type 90
 - Variety: Cascade
 - Batch number: CAS600019
 - Crop Year: 2009
 - Alpha Acid: 6.0%
 - Alpha Method: EBC 7.5
 - Expiry date: October 2022
- Packaging: 538 Lbs. (240 kg) Nitrogen Vacuum Foil

ANEXO 6.
FICHA TÉCNICA LÚPULO CASCADE



YAKIMA VALLEY HOPS, LLC
702 N. 1ST AVE. STE. D
YAKIMA, WA. 98902
208.649.4677

Certificate of Analysis, Order Inv # 17289

Date 01/25/2021

NET WEIGHT: 1914 lbs // 870 kgs

Product Shipped to:

DISTRINES LTDA
Wilson Velasquez
BOGOTA COLOMBIA

Item #1:

- Hop Pellets: Type 90
- Variety: US AMARILLO
- Year: 2020
- Alpha Acid: 9.3%
- Alpha Method: EBC 7.5
- Packaging: 88 lbs. (40 kg) Nitrogen Vacuum Foil
- Lot ID: 20-WA409-003
- Expiration date: 9-01-2025

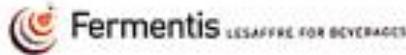
Item #2:

- Hop Pellets: Type 90
- Variety: US BRAVO
- Year: 2020
- Alpha Acid: 15.0%
- Alpha Method: EBC 7.5
- Packaging: 220 lbs. (100 kg) Nitrogen Vacuum Foil
- Lot ID: 20-WA409-016
- Expiration date: 9-01-2025

Item #3:

- Hop Pellets: Type 90
- Variety: US CASCADE
- Year: 2020
- Alpha Acid: 4.3%
- Alpha Method: EBC 7.5
- Packaging: 330 lbs. (150 kg) Nitrogen Vacuum Foil
- Lot ID: CAS-2020
- Expiration date: 9-01-2025

ANEXO 7.
FICHA TÉCNICA LEVADURA



CERTIFICATE OF ANALYSIS

Customer: DISTRINES LTDA
Order ref: 89956 / Invoice N°42452

Product(s)	Batch number	Production date	Expiring date
SAFALE S-04, 11.5G LEVADURA DE	60727	01062020	01062023
SFA 152x11,5G US-05 C.Barre	62077	01072020	01072023
SFA 152x11,5G K-97	47696	01022019	01022022
SafAle BE-134 152x11,5g	63538	01092020	01092023
SFA BE-256 152x11,5gr	49276	01042019	01042022
	52760	01092019	01092022
SFA S J 8 152x11,5G NB-06	52760	01112019	01112022
SFA 152x11,5g S-33	60737	01062020	01062023
SFA S J 8 152x11,5G T58	60752	01062020	01062023
SFA F-2 100x20g	60191	01062020	01062023
SFG 811,5G S-185	67199	01092020	01092023
SFG 3 J 8 11,5G W04/70	60733	01042020	01042023
Safale S-04 20x500g - algist	1900508	01102019	01102022
SFA US-05 500g	2000140	13032020	13032023
SFA s-33 500g Algist	2000030	22012020	22012023
SFA T58 20x500g	1900636	07122019	07122022
Safale HA-18 500gr	48981	01012019	01012022
SFA BE-134 500g	1800510	13112019	13112021
SFA BE-256 500g	2000099	10012020	10012023
SafLager W04/70 500g	2000089	18022020	18022023

DESCRIPTION

Instant dry brewer's yeast.

COMPOSITION

SafLager range	SafAle range
<i>S. pastorianus</i> / Yeast rehydrating agent	<i>S. cerevisiae</i> / Yeast rehydrating agent

ANALYTICAL CHARACTERISTICS

Physico - Chemical analysis

Category	SafLager range	SafAle range
Dry matter	94,0 - 94,5 %	94,0 - 94,5 %

Microbial characteristics:

Category	SafLager range	SafAle range
Viable Yeast	> 6.0 *10 ⁹ cfu/g	> 1.0 *10 ¹⁰ cfu/g
Total Bacteria	< 1 cfu /10 ⁶ yeast cell	< 5 cfu /10 ⁷ yeast cell
Lactic acid bacteria	< 1 cfu /6.0*10 ⁶ yeast cell	< 1 cfu /10 ⁷ yeast cell
Wild Yeast	< 1 cfu /6*10 ⁶ yeast cell	< 1 cfu /10 ⁷ yeast cell

Pathogenic micro-organisms:	In accordance with regulation	In accordance with regulation
Salmonella	Abs. in 25 g of dry yeast	Abs. in 25 g of dry yeast

The production has been made in accordance with the European Sanitary Standards

ANEXO 8.
EVALUACION SENSORIAL JUEZ WILMAR (F1)



BEER SCORESHEET

AHA/BJCP Sanctioned Competition Program <http://www.homebrewersassociation.org>



Judge Name (print) Wilmar Chaparral

Judge BJCP ID _____

Judge Email wilmarhead@gmail.com
(Use Avery 10961 & 10962)

Category # 18A **Subcategory (a-f)** _____ **Entry #** F1

Subcategory (spell out) _____

Special Ingredients: _____

Bottle Inspection: Appropriate size, cap, fill level, label removal, etc.

Comments: _____

BJCP Rank or Status:

Apprentice Recognized Certified

National Master Grand Master

Honorary Master Honorary GM Mead Judge

Provisional Judge Rank Pending Cider Judge

Non-BJCP Qualifications:

Professional Brewer Beer Sommelier GABF/WBC

Certified Cicerone Adv. Cicerone Master Cicerone

Sensory Training Other _____

Aroma (as appropriate for style) _____ 5 /12

Comment on esters, hops, yeasts, and other aromatics

Promue ester azulbrando Lakso Group
a sulfuros. Añejo.

Appearance (as appropriate for style) _____ 1 /3

Comment on color, clarity, and head (cream line, color, and texture)

Retencion baja color durante y evap. rapido

Flavor (as appropriate for style) _____ 10 /20

Comment on malt, hops, fermentation characteristics, balance, finish/aftertaste, and other flavor characteristics

Verificación de temperaturas lupulas
Oxidación balance Añejo.

Mouthfeel (as appropriate for style) _____ 2 /5

Comment on body, carbonation, warmth, creaminess, astringency, and other palate sensations

Carbonatación baja astringencia media

Overall Impression _____ 5 /10

Comment on overall drinking pleasure associated with style, give suggestions for improvement

Se sugiere manejar las temperaturas
adecuadas y un balance de mallas
que espere el lupulo, se recomienda
una temperatura adecuada.

Total _____ 23 /50

Outstanding (45 - 50): World-class example of style

Excellent (38 - 44): Exemplifies style well, requires minor fine-tuning.

Very Good (30 - 37): Generally within style parameters, some minor flaws.

Good (21 - 29): Shows the mark on style and/or minor flaws.

Fair (14 - 20): Off-flavors/sensory or major style differences. Unpleasant.

Problematic (00 - 13): Major off-flavors and serious deviations. Hard to drink.

Classic Example <input type="checkbox"/>	Stylistic Accuracy	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Not to Style
Flawless <input type="checkbox"/>	Technical Merit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Significant Flaws
Wonderful <input type="checkbox"/>	Intangibles	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Lifelike

BJCP Beer Scoresheet - Copyright © 2017 Beer Judge Certification Program - ver. 1/2012 Please send any comments to Comp_Docs@bca.org

**ANEXO 9.
EVALUACIÓN SENSORIAL JUEZ WILMAR (F2)**



BEER SCORESHEET

http://www.bjcp.org

AHA/BJCP Sanctioned Competition Program

http://www.homebrewersassociation.org

Judge Name (print) Wilmar Chiquini
 Judge BJCP ID _____
 Judge Email wilmarbeato@gmail.com
(Use AHA's label #3192)

Category # 18A Subcategory (a-f) _____ Entry # F1

Subcategory (spell out) _____
 Special Ingredients: _____

Bottle Inspection: Appropriate size, cap, fill level, label attached, etc.

- BJCP Rank or Status:**
- Apprentice
 - National
 - Honorary Master
 - Provisional Judge
 - Recognized
 - Master
 - Honorary GM
 - Rank Pending
 - Certified
 - Grand Master
 - Mead Judge
 - Cider Judge
- Non-BJCP Qualifications:**
- Professional Brewer
 - Certified Cicerone
 - Sensory Training
 - Beer Sommelier
 - Adv. Cicerone
 - Other
 - QABF/WBC
 - Master Cicerone

- Descriptor Definitions (Mark all that apply):**
- Acetaldehyde – Green apple-like aroma and flavor.
 - Alcoholic – The aroma, flavor, and warming effect of ethanol and higher alcohols. Sometimes described as hot.
 - Astringent – Puckering, tingering harshness and/or dryness in the finish/aftersave; harsh graininess; huskiness.
 - Diacetyl – Artificial butter, butterscotch, or toffee aroma and flavor. Sometimes perceived as a slickness on the tongue.
 - DMS (dimethyl sulfide) – At low levels a sweet, cooked or canned corn-like aroma and flavor.
 - Ester – Aroma and/or flavor of any ester (fruits, fruit flavorings, or soaps).
 - Grassy – Aroma/flavor of fresh-cut grass or green leaves.
 - Light-Struck – Similar to the aroma of a flask.
 - Metallic – Tinny, roiny, copper, iron, or blood-like flavor.
 - Mesty – Stale, misty, or moldy aromas/flavors.
 - Oxidized – Any one or combination of stale, waxy/vinous, cardboard, papery, or cherry-like aromas and flavors.
 - Phenolic – Spicy (clove, pepper), smoky, plastic, plastic adhesive strip, and/or medicinal (chlorophenolic).
 - Solvent – Aromas and flavors of higher alcohols (fusel alcohols). Similar to acetone or lacquer thinner aromas.
 - Sour/Acidic – Tartness in aroma and flavor. Can be sharp and clean (lactic acid), or vinegar-like (acetic acid).
 - Sulfur – The aromas of rotten eggs or burning matches.
 - Vegetal – Cooked, canned, or rotten vegetable aroma and flavor (cabbage, onion, celery, asparagus, etc.)
 - Yeasty – A bready, sulfury or yeast-like aroma or flavor.

Aroma (as appropriate for style) _____ /12
Comment on notes, hops, esters, and other aromatics

Aroma Adecuado buen aroma.
Pilse

Appearance (as appropriate for style) _____ /13
Comment on color, clarity, and head (retention, color, and texture)

Color Rubro retencion media Alta

Flavor (as appropriate for style) _____ /20
Comment on malt, hops, fermentation characteristics, balance, soft/astringent, and other flavor characteristics

Sabor balanceado con lupulo y
malta

Mouthfeel (as appropriate for style) _____ /15
Comment on body, carbonation, warmth, astringency, and other palate activities

Amargor moderado alcohol balanceado

Overall Impression _____ /10
Comment on overall drinking pleasure associated with entry; give suggestions for improvement

recomendar las temperaturas y
las horas apropiadas

Total 30 /58

Outstanding	(45 - 50)	Worthless example of style
Excellent	(38 - 44)	Exemplifies style well; requires minor fine-tuning
Very Good	(30 - 37)	Generally within style parameters, some minor flaws
Good	(21 - 29)	Meets the mark on style and/or minor flaws
Fair	(14 - 20)	Off-flavors/aromas or major style deficiencies. Unpleasant
Problematic	(0 - 13)	Major off-flavors and aromas dominate. Hard to drink.

Classic Example	<input type="checkbox"/>	Stylistic Accuracy	<input type="checkbox"/>	Not to Style				
Flawless	<input type="checkbox"/>	Technical Merit	<input type="checkbox"/>	Significant Flaws				
Wonderful	<input type="checkbox"/>	Intangibles	<input type="checkbox"/>	Likable				

**ANEXO 10.
EVALUACIÓN SENSORIAL JUEZ JORGE (F1)**



BEER SCORESHEET

http://www.bjcp.org

AHA/BJCP Sanctioned Competition Program

http://www.homebrewersassociation.org

Judge Name (print) Jorge Jarama Category # 1B Subcategory (A-F) A Entry # f1
 Judge BJCP ID: _____ Subcategory (spec out) Blonde Ale
 Judge Email and.jarama@hbm.com Special Ingredients: _____

- BJCP Rank or Status:**
- Apprentice
 - National
 - Honorary Master
 - Provisional Judge
 - Recognized
 - Master
 - Honorary GM
 - Rank Pending
 - Certified
 - Grand Master
 - Mead Judge
 - Cider Judge
- Non-BJCP Qualifications:**
- Professional Brewer
 - Certified Cicerone
 - Sommelier Training
 - Beer Sommelier
 - Adv. Cicerone
 - Other
 - GABF/WBC
 - Master Cicerone

- Descriptor Definitions (Mark all that apply):**
- Acetaldehyde – Green apple-like aroma and flavor.
 - Alcoholic – The aroma, flavor, and warming effect of ethanol and higher alcohols. Sometimes described as hot.
 - Astringent – puckering, lingering harshness and/or dryness in the finish/aftertaste; harsh graininess; harshness.
 - Diacetyl – Artificial butter, butterscotch, or toffee aroma and flavor. Sometimes perceived as a slickness on the tongue.
 - DMS (dimethyl sulfide) – At low levels a sweet, cooked or roasted corn-like aroma and flavor.
 - Estery – Aroma and/or flavor of any ester (fruits, fruit flavorings, or roses).
 - Grassy – Aroma/Flavor of fresh-cut grass or green leaves.
 - Light-Struck – Similar to the aroma of a skunk.
 - Metallic – Tinty, roiny, copper, iron, or blood-like flavor.
 - Murky – Stale, murky, or soapy aroma/flavor.
 - Oxidized – Any one or combination of stale, waxy/vinous, cardboard, papery, or sherry-like aroma and flavor.
 - Phenolic – Spicy (clove, pepper), smoky, plastic, plastic adhesive strip, and/or medicinal (chlorophenolic).
 - Solvent – Aromas and flavors of higher alcohols (fusel alcohols). Similar to acetone or lacquer thinner aromas.
 - Sour/Acidic – Tartness in aroma and flavor. Can be sharp and clean (lactic acid), or vinegar-like (acetic acid).
 - Sulfur – The aroma of rotten eggs or burning matches.
 - Vegetal – Cooked, canned, or rotten vegetable aroma and flavor (cabbage, onion, celery, asparagus, etc.)
 - Yeasty – A bready, tellury or yeast-like aroma or flavor.

Bottle Inspection: Appropriate size, cap, fill level, label removal, etc.
 Comments: _____

Aroma (as appropriate for style) _____ 4/12
Comments on malt, hops, yeast, and other ingredients
aroma es maltas base, bajo aroma. leve aroma a pan y miel.

Appearance (as appropriate for style) _____ 2/3
Comments on head, clarity, and head retention, color, and clarity
ambar clara, seleccion baja de espuma.

Flavor (as appropriate for style) _____ 15/20
Comments on malt, hops, fermentation characteristics, balance, grain flavors, and other flavor characteristics
Sabor maltas miel, pan, galleta. con sabor bajo a lúpulo y amargos muy leve.

Mouthfeel (as appropriate for style) _____ 3/5
Comments on body, carbonation, mouthfeel, astringency, and other palate sensations
Cuerpo medio bajo, carbonatación, media boca y final seco.

Overall Impression _____ 8/10
Comments on overall drinking pleasure associated with entry, give suggestions for improvement
Cerveza acorde a el estilo, templada, media, con un leve sabor a medicina. poco refrescante.

Total _____ 37/40

Scoring Guide

Outstanding	(45 - 50):	World-class example of style
Excellent	(38 - 44):	Exemplifies style well, requires minor fine-tuning
Very Good	(30 - 37):	Generally within style parameters, some minor flaws
Good	(21 - 29):	Makes the mark on style, minor flaws
Fair	(14 - 20):	Off Representations of Major Style or Technical Deficiency
Problematic	(00 - 13):	Major off-flavors and/or gross deviations. Hard to drink

Classic Example	<input type="checkbox"/>	Not to Style				
Flawless	<input type="checkbox"/>	Significant Flaws				
Woodruff	<input type="checkbox"/>	Lapses				

AHA/BJCP Beer Excellence. Copyright © 2017 Beer Judge Certification Program, Inc. / 7/2017 Please read and return comments to Comp. Director@BJCP.org

**ANEXO 11.
EVALUACIÓN SEONSORIAL JUEZ ROBERT (F2)**



BEER SCORESHEET

http://www.bjcp.org AHABJCP Sanctioned Competition Program http://www.brewersassociation.org

Judge Name (print) Robert Cárdenas
 Judge BJCP ID 102234
 Judge Email dcashco.robert@gmail.com
The Form Valid 3/2008

Category # 1B Subcategory (a-f) A Entry # F2
 Subcategory (spell out) Blond ale
 Special Ingredients: _____

- BJCP Rank or Status:**
- Apprentice Recognized Certified
 - National Master Grand Master
 - Honorary Master Honorary GM Mead Judge
 - Provisional Judge Rank Pending Cider Judge
- Non-BJCP Qualifications:**
- Professional Brewer Beer Sommelier GABF/WBC
 - Certified Cicerone Adv. Cicerone Master Cicerone
 - Sensory Training Other _____

Bottle Inspection: Appropriate size, cap, fill level, label removal, etc.
 Comment: _____

- Descriptor Definitions (Mark all that apply):**
- Acetaldehyde – Green apple-like aroma and flavor.
 - Alcoholic – The aroma, flavor, and warming effect of ethanol and higher alcohols. Sometimes described in hex.
 - Astringent – Puckering, tingering harshness and/or dryness in the finish/aftertaste; harsh graininess; huskiness.
 - Diacetyl – Artificial butter, butterscotch, or rubber aroma and flavor. Sometimes perceived as a stickiness on the tongue.
 - DMS (dimethyl sulfide) – At low levels a sweet, cooked or corned corn-like aroma and flavor.
 - Estery – Aromas and/or flavor of any ester (fruits, fruit flavorings, or roses).
 - Grassy – Aroma/Flavor of fresh-cut grass or green leaves.
 - Light-Struck – Similar to the aroma of a skunk.
 - Metallic – Tasty, soapy, copper, iron, or blood-like flavor.
 - Mesty – Soapy, soapy, or moldy aromas/flavors.
 - Oxidized – Any one or combination of stale, waxy/viscous, cardboard, papery, or sherry-like aromas and flavors.
 - Phenolic – Spicy (cloves, pepper), smoky, plastic, plastic adhesive strip, and/or medicinal (chlorophenolics).
 - Solvent – Aromas and flavors of higher alcohols (fast alcohols). Similar to acetone or lacquer thinner aromas.
 - Sweet/Acidic – Tiredness in aroma and flavor. Can be sharp and clean (lactic acid), or vinegar-like (acetic acid).
 - Sulfur – The aroma of rotten eggs or burning matches.
 - Vegetal – Cooked, canned, or rotten vegetable aromas and flavor (cabbage, onion, celery, asparagus, etc.)
 - Yeasty – A bready, sulfury or yeast-like aroma or flavor.

Aroma (as appropriate for style) 9/12
Comment on color, clarity, and head/retention, color, and texture
colorido a malta, y un leve, pero percibido del lupulo en el aroma, pero faltar algo de aroma a selenitas.

Appearance (as appropriate for style) 3/3
Comment on color, clarity, and head/retention, color, and texture
Demasiado pálida, corona baja, y buena retención de espuma.

Flavor (as appropriate for style) 15/20
Comment on malt, hops, fermentation characteristics, balance, body/texture, and other flavor characteristics
Sabor leve a pan, y amargas muy bajo

Mouthfeel (as appropriate for style) 3/5
Comment on body, carbonation, weight, astringency, and other palate sensations
Cuerpo medio bajo, baja sensación alcohólica.

Overall Impression 9/10
Comment on overall drinking pleasure associated with entry, give separate line for impression
Cuerpo acorde a el estilo, fácil tomable, chdo. y refrescante, buena carbonatación

Outstanding	(45 - 50)	World-class example of style
Excellent	(38 - 44)	Exemplifies style well, captures those describing
Very Good	(30 - 37)	Consistently within style parameters, some minor flaws
Good	(21 - 29)	Stays in the realm of style and/or minor flaws
Fair	(14 - 20)	Off the mark/strays on major style deficiencies, slight award
Problematic	(00 - 13)	Major off-flavors and aroma distortions. Hard to drink

		Total	<u>37/50</u>
Classic Example	<input type="checkbox"/>	Stylistic Accuracy	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Flawless	<input type="checkbox"/>	Technical Merit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Wonderful	<input type="checkbox"/>	Significant Flaws	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		Intangibles	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		Lifeline	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

BJCP Beer Scoresheet Copyright © 2017 Beer Judge Certification Program, Inc. (7/06/12) Please send all comments to Comp_Director@BJCP.org

ANEXO 12. EVALUACIÓN SENSORIAL JUEZ DIEGO (F1)



BEER SCORESHEET

http://www.bjcp.org

AMA/BJCP Sanctioned Competition Program

http://www.brewersassociation.org

Judge Name (print) Diego A. Salazar Category # 18 Subcategory (a-g) A Entry # 7V1
 Judge BJCP ID _____ Subcategory (if not) Blonde Ale
 Judge Email salazar@upb.edu.co Special Ingredients: _____
The above label # 5508

- BJCP Rank or Status:**
- Apprentice Recognized Certified
 National Master Grand Master
 Honorary Master Honorary GM Mead Judge
 Provisional Judge Rank Pending Cider Judge
- Non-BJCP Qualifications:**
- Professional Brewer Beer Sommelier GABF/WBC
 Certified Cicerone Adv. Cicerone Master Cicerone
 Sensory Training Other _____

- Descriptor Definitions (Mark all that apply):**
- Acetaldehyde** – Green apple-like aroma and flavor.
 Alcoholic – The aroma, flavor, and warming effect of ethanol and higher alcohols. Sometimes described as hot.
 Astringent – puckering, tingling harshness and/or dryness in the mouth/tongue; harsh graininess, harshness.
 Diacetyl – Artificial butter, butterscotch, or soffee aroma and flavor. Sometimes perceived as a stickiness on the tongue.
 DMS (dimethyl sulfide) – At low levels a sweet, cooked or canned corn-like aroma and flavor.
 Ester – Aroma and/or flavor of any ester (fruits, fruit flavorings, or rums).
 Grassy – Aroma/flavor of fresh-cut grass or green leaves.
 Light-Struck – Similar to the aroma of a skunk.
 Metallic – Tinny, coin, copper, iron, or blood-like flavor.
 Misty – Stale, musty, or stinky aromas/flavors.
 Outland – Any one or combination of stale, waxy/vinous, cardboard, papery, or sherry-like aromas and flavors.
 Phenolic – Spicy (clove, pepper), starchy, plastic, plastic adhesive strip, and/or medicinal (chlorophenolic).
 Solvent – Aromas and flavors of higher alcohols (fusel alcohols). Similar to acetone or lacquer thinner aromas.
 Sour/Acidic – Tartness in aroma and flavor. Can be sharp and clean (lactic acid), or vinegar-like (acetic acid).
 Sulfur – The aroma of rotten eggs or burning matches.
 Vegetal – Cooked, canned, or rotten vegetable aroma and flavor (cabbage, onion, celery, asparagus, etc.)
 Yeasty – A bready, sulfury or yeast-like aroma or flavor.

Bottle Inspection: Appropriate size, cap, fill level, label removal, etc.
 Comments: _____

Aroma (as appropriate for style) 6 /13
Comments on malt, hops, esters, and other general
Aroma a dulzura malta, poca levadura en malta y resaca de post. Baja presencia de levadura. Poca resaca en malta.

Appearance (as appropriate for style) 3 /3
Comments on color, clarity, and head (retention, color, and texture)
Color dorado pálido, poca espuma de cabeza. Baja claridad. Poca retención.

Flavor (as appropriate for style) 15 /28
Comments on malt, hops, fermentation characteristics, balance, body/flavoriness, and other flavor characteristics
Sabor maltado dulce, poca levadura en malta y resaca de post. Baja presencia de levadura y resaca, resaca leve de levadura.

Mouthfeel (as appropriate for style) 4 /5
Comments on body, carbonation, wetness, graininess, astringency, and other palate sensations
Cuerpo medio ligero, carbonación media-baja y poca seca.

Overall Impression 6 /10
Comments on overall drinking pleasure associated with entry; give suggestions for improvement
Cuerpo con muy poca fermentación y resaca de post. poca levadura.

Total 31 /58

SCORING GUIDE	Outstanding (45 - 50):	Worth a less example of style
	Excellent (38 - 44):	Exemplifies style well; ignores minor flaws
	Very Good (30 - 37):	Generally within style parameters, some minor flaws
	Good (21 - 29):	Makes the mark on style and/or minor flaws
	Fair (14 - 20):	Off flavors/aromas or major style deficiencies. Unpleasant
	Problematic (00 - 13):	Major off flavors and aroma descriptors. Hard to drink

Classic Example	<input type="checkbox"/>	Stylistic Accuracy	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Not to Style
		Technical Merit	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Significant Flaws
Flawless	<input type="checkbox"/>	Intriguing	
Wonderful	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lifeline

BJCP Beer Scoresheet Copyright © 2017 Beer Judge Certification Program - rev. 1/2012 Please send any comments to Comp_Exec@bca.org

**ANEXO 13.
EVALUACIÓN SENSORIAL JUEZ DIEGO (F2)**



BEER SCORESHEET

<http://www.bjcp.org>

AHA/BJCP Sanctioned Competition Program

<http://www.bjcp.org/competition/competitions.cfm>

Judge Name (print) Diego A. Salazar
 Judge BJCP ID _____
 Judge Email diego.salazar@comcast.net
(In Pen, 10/12/2012)

Category # 19 Subcategory (a-f) A Entry # FVZ

Subcategory (print name) Blaze Ale
 Special Ingredients: _____

- BJCP Rank or Status:**
- Apprentice Recognized Certified
 National Master Grand Master
 Honorary Master Honorary GM Merit Judge
 Professional Judge Rank Pending Cider Judge
- Non-BJCP Qualifications:**
- Professional Brewer Beer Sommelier GABF/WB
 Certified Cicerone Adv. Cicerone Master Cicerone
 Sensory Training Other _____

Bottle Inspection: Appropriate size, cap, fill level, label removal, etc.
Comments: _____

- Descriptor Definitions (Mark all that apply):**
- Astringent** - Grain apple-like aroma and flavor
 Alcoholic - The aroma, flavor, and warming effect of ethanol and higher alcohols. Sometimes described as hot
 Astringent - Puckering, tingling, numbness and/or dryness in the mouth aftertaste, harsh graininess, huskiness
 Banana - Artificial banana, banana-wood, or rubber aroma and flavor. Sometimes perceived as a stinkiness on the tongue
 BMS (banned methyl sulfide) - At low levels a sweet, cooked or roasted corn-like aroma and flavor
 Estery - Aroma and/or flavor of any ester (fruits, floral, honey-like, or sweet)
 Grassy - Aroma/flavor of fresh-cut grass or grass leaves
 Light Struck - Similar to the aroma of a dank
 Metallic - Irons, coins, copper, tin, or blood-like flavor
 Musty - Stale, musty, or moldy aromas/flavors
 Oxidized - Any one or combination of stale, with various cardboard, papery, or sherry-like aromas and flavors
 Phenolic - Spicy, rubber, peppery, smoky, plastic, plastic-solvent, strip, and/or medicinal (chlorophenols)
 Solvent - Aromas and flavors of higher alcohols (ethyl alcohol). Similar to acetone or higher than acetone
 Sour/Acidic - Tartness in aroma and flavor. Can be sharp and clean (like tooth) or fungal-like (sour) with
 Sulfur - The aroma of rotten eggs or burning matches
 Vegetal - Cooked, canned, or other vegetable aroma and flavor (onion, onion, celery, asparagus, etc.)
 Yeasty - A bread-like quality or yeast-like aroma or flavor

Aroma (as appropriate for style) 8 / 12
Comments on fruit, hops, esters, and other aromatics
Aroma similar to similar one notes a bit
Aroma a little bit hoppy, not too much
pleasantly spicy finish

Appearance (as appropriate for style) 3 / 3
Comments on color, clarity, and head retention, color, and volume
the beer is clear, golden, and has a good head
the head is white and creamy

Flavor (as appropriate for style) 18 / 20
Comments on fruit, hops, malt/fermentation characteristics, balance, drinkability, and other flavor characteristics
flavor is similar to the style, not too much
the beer is quite hoppy, not too much
pleasantly spicy finish

Mouthfeel (as appropriate for style) 5 / 5
Comments on body, carbonation, mouth, astringency, and other mouthfeel characteristics
the beer is quite hoppy, not too much
the beer is quite hoppy, not too much

Overall Impression 5 / 10
Comments on overall drinking character, good and/or bad, and suggestions for improvement
overall very good, similar to style
pleasantly spicy finish

Total 39 / 40

SCORING GUIDE	Outstanding	(45 - 50)	World-class example of style
	Excellent	(40 - 44)	Exemplifies style well, requires more for being
	Very Good	(30 - 39)	Essentially within style parameters, some minor flaws
	Good	(25 - 29)	Meets the mark on most or some flaws
	Fair	(14 - 24)	1-3 flaws outside of listed style definitions. Unpleasant
	Problematic	(00 - 13)	Major off-flavors and/or aroma, that is drink

Classic Example <input type="checkbox"/>	Stylistic Accuracy		Not to Style <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Flawless <input type="checkbox"/>	Technical Merit		Significant Flaws <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Wonderful <input type="checkbox"/>	Intangibles		Effless <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

AHA © Beer Sommelier Copyright © 2012 Beer Judge Certification Program, Inc. (7062) Please send any comments to Comp_Director@BJCP.org

ANEXO 14.
EVALUACIÓN SENSORIAL JUEZ SANDRA (F1)



**HOJA DE PUNTUACIÓN DE
CERVEZA**

http://www.bjcp.org

Grupo para la preparación del BJCP

Nombre Sandra Rangel
 Usuario en foro ACCE _____
 Email sandrarangel@hotmail.com
 Utilice el grupo de correo BJCP

CERVEZA CATADA _____
 N° Categoría 18 A Subcategoría _____ N° Entrada F1
 Subcategoría (opción) Blonde Ale
 Ingredientes especiales _____
 Inspección botella: Tamaño adecuado, tapa, nivel correcto, sin etiquetas, etc.
 Conservación _____

- Rango BJCP:**
- Aprobado Revisado Certificado
 No avalado Inactivo Otro Master _____
 Usuario Inactivo Otro Inactivo Jefe de Máster _____
 Inactivo provisional Presidente de Rango _____
- Rango no BJCP:**
- Corresponsable Profesional Secretario de cerveza Jefe de BJCP
 Corresponsable Casero Máster Casero _____
 Fermentador casero Otro _____

- Descriptorios (marcar todas las que notes):**
- Astringible – Astringe y sabor percibido a manzana verde
 Alcohólico – El aroma, sabor y efecto cálida del alcohol y alcohol en fase. Descripción a veces como caliente
 Astringente – Deja una sensación de sequedad en el estómago, cuando se mezcla, granulosa, rupa, dura
 Blandito – Aroma y sabor a manzana artificial o rancia, dulce, azucarado, y tóxico. A veces se percibe como potencia en boca
 DMS (resaca de alcohol) – En niveles bajos aroma y sabor a resaca de lata, así, sometimes rancia
 Estero – Aroma y sabor a cualquier cosa (fruta o flores)
 Herbáceo – Astringente a fuerte resaca azucarado a hojas verdes
 Golpe de luz – Presencia de olor de una materia
 Metálico – Sabor a lata, rancia, cobre, hierro o como a agua
 Metano – Aroma y sabor a rancia, azucarado, rancia
 Oxidado – Cualquier combinación de sabores y aromas a rancia, hierba, papel o como a lata
 Plásticos – Especies (clava, pimiento), limón, plástico, papaya, o cualquier otro plástico
 Sólido – Aroma y sabor a alcohol en fase. Presencia a la astringente como disueltos y bien
 Agrícola – Agrio en aroma y sabor. Puede ser agrio y limpio (alcohol dulce) o parecido al vinagre (alcohol azucarado)
 Sulfitado – Aroma a huevos podridos o corchales quemados
 Vegetal – Aroma y sabor a verduras de hierbas, estragón o podridas (ajo, cebolla, espárragos, ajo, etc.)
 Levadura – Sabor a cereza o pan, azúcar o levadura

Aroma (de acuerdo con estilo) _____ 6/12
 Casarse aroma de la malta, ligeros, frutas y otros aromas

Aroma a pan, malta, notas dulces. Con leve notas alúpulo cítrico y fuerte inclinación hacia los esteros.

Apariencia (de acuerdo con estilo) _____ 3/3
 Casarse aroma del color, claridad y espuma (retención, color y textura)

Color durante clara, limpia. Color de espuma blanquecina con buena retención

Sabor (de acuerdo con estilo) _____ 12/30
 Casarse aroma de la malta, ligeros, características de la fermentación, equilibrio, astringencia y otros característicos del sabor

Inclinación hacia el sabor de malta, con leve sabor dulce, con notas bajas alúpulo.

Sensaciones en boca (de acuerdo con estilo) _____ 3/3
 Casarse aroma del cuerpo, carbonatado, sensación alcoholica, cremosidad, astringencia y otras sensaciones en boca

Cuerpo bajo-medio. Sin astringencia. Baja carbonatación y final algo dulce.

Impresión General _____ 6/10
 Casarse aroma de la calidad general de la cerveza, de referencias para mejorarla.

Cerveza ligera, representativa, equilibrada para su estilo, aunque un poco desviada en la parte aromática. Se recomienda controlar temperatura de fermentación

Total 30/38

Sobresaliente (41 - 50)	Ejemplo excepcional del estilo
Excelente (38 - 40)	Buen ejemplo del estilo, necesita algunos ajustes
Muy Buena (36 - 37)	Ejemplo del estilo con pocos problemas por ignorancia
Buena (21 - 35)	Fuera de estilo y con problemas por ignorancia
Regular (14 - 20)	Sérvase estilo o problemas importantes
Desagradable (8 - 13)	Demuestre los errores y guíe al juez

Ejemplo Clásico	Exactitud Estadística			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sin problemas	Mérito Técnico			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Merecedora	Problemas graves			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Inatendibles			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Sin vida			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hoja de puntuación de cerveza BJCP

Copyright © 2012 Beer Judge Certification Program Inc. (BJCP)

**ANEXO 15.
EVALUACIÓN SENSORIAL JUEZ SANDRA (F2)**



http://www.bjcp.org

HOJA DE PUNTUACIÓN DE CERVEZA

Grupo para la preparación del BJCP

Nombre Sandra Rangel
 Usuario en foro ACCE _____
 Email sandra.rangel@hotmail.com
 Utilizar etiqueta Avery # 3168

- Rango BJCP:**
- Aprendiz
 Novato
 Inactivo honorario
 Jefe profesional
- Reconocido
 Maestro
 CM Honorario
 Presidente de Rango
- Certificado
 Gran Maestro
 Jefe de laboratorio
- Rango no BJCP:**
- Corresponsal Profesional
 Certificado Corresponsal
 Jurado honorario
- Asociado de cerveza
 Master Brewer
 Otro

Descriptores (marca todas las que notes):

- Astringencia – Aroma y sabor parecido a manzana verde
- Alcohólica – El aroma, sabor y efecto estético del etanol y alcoholos secundarios. Descrito a veces como callosa
- Aviragado – Deja una sensación de sequedad en el retrogusto, mucosidad, sensación de resaca, náusea, diarrea
- Deseado – Aroma y sabor a manzanilla artificial o rancia, "quemado", o rancio. A veces se percibe como patencia en boca
- DMS (sulfuro de dimetilo) – En niveles bajos aroma y sabor a verduras de hoja, café, notación rancia
- Ervora – Aroma y sabor a cualquier hierba (fresas o flores)
- Herboso – Aromas herbales o hierba recién cortada o hojas verdes
- Golpe de luz – Percepción al olor de una cerveza
- Metálico – Sabor a lata, manzanilla, cobre, hierro o como a metal
- Mohoso – Aromas y sabores a moho, hongo, moho
- Oxidado – Cualquier combinación de sabores y aromas a rancio, viejo, cartón, papel o como a Jaxa
- Fenditas – Saperos (cerveza, pináculos), limón, plástico, pegajoso, o medicinal (sabor frías)
- Deseada – Aromas y sabores a alcoholos secundarios. Pasa a la nariz a otros descriptores y sabores
- Agriolado – Agrio en nariz y sabor. Puede ser áspero y limpio (solo líquido) o parecido al vinagre (más ácido)
- Rallos – Aromas a frutos podridos o cerezas quemadas
- Vagabundo – Aroma y sabor a verduras de hortalizas, cebollas o papas (papas, cebollas, espárragos, ajo, etc.)
- Levadura – Sabor o aroma a pan, azúcar o levadura

CERVEZA CATADA:

Nº Categoría 15 Subcategoría A Nº Entrada F2
 Subcategoría (escrita) Blonde Ale
 Ingredientes especiales _____
 Inspección botella: Tamaño adecuado, tapa, nivel correcto, sin etiquetas, etc.
 Comentarios _____

Aroma (de acuerdo con estilo) 8/12
 Comenta acerca de la malta, lúpulos, ésteres y otros aromas
Aroma leve a malta dulces, con mínima presencia de lúpulo y de ésteres.

Apariencia (de acuerdo con estilo) 3/8
 Comenta acerca del color, claridad y espuma (retención, color y textura)
Clara, limpia, color dorado pálido. Con buena retención de espuma.

Sabor (de acuerdo con estilo) 15/20
 Comenta acerca de la malta, lúpulos, características de la fermentación, espesores, retrogusto y otros características del sabor
Sabor equilibrado entre malta, lúpulo y levadura. Fermentación limpia, sin presencia significativa de off flavors

Sensaciones en boca (de acuerdo con estilo) 4/8
 Comenta acerca del cuerpo, carbonatación, sensación alcohólica, cremosidad, astringencia y otras sensaciones en boca.
Resaca. Cuerpo medio-bajo. baja carbonatación. Sin astringencia

Impresión General 8/10
 Comenta acerca de la calidad general de la cerveza, de sugerencias para mejorarla.
Cerveza social de tomar, refrescante, ligera, equilibrado y acorde al estilo

Total 38,0/48

Sub-estrellas (1 - 3):	Ejemplo intermedio del estilo
Estrella (4 - 6):	Buen ejemplo del estilo, necesita mínimas ajustes
Muy Buena (7 - 9):	Ejemplo del estilo con pocos problemas pero importantes
Buena (10 - 12):	Fuera de estilo y con problemas pero importantes
Regular (13 - 15):	Sabores extraños o problemas importantes
Desaprobada (16 - 18):	Domina los sabores y aromas extraños. Inbebible.

Ejemplo Clásico	Exactitud Estilística				
	<input type="checkbox"/>				
	Métrica Técnica				
	<input type="checkbox"/>				
Sin problemas	<input type="checkbox"/>				
Merzosa	<input type="checkbox"/>				

Hoja de puntuación de cerveza BJCP

Copyright © 2011 Beer Judge Certification Program Inc. 3/2011

ANEXO 16. RECOMENDACIONES

Es recomendable hacer un comparativo de análisis de costos energéticos en la etapa de fermentación; en cuanto a la parte técnica el proceso fermentativo F2 tiene mayores rendimientos y mejores resultados que el proceso F1, pero así mismo mantener la fermentación isotérmica trae consigo mayor gasto energético y por consiguiente mayores costos, por lo tanto, es un buen análisis para la compañía.

Se recomienda a la empresa realizar el estudio para los otros productos que fabrican, debido a que este proyecto no abarca todos los productos, ya que las materias primas y condiciones son diferentes, por lo tanto, al evaluar otro tipo de cerveza las condiciones y resultados serán distintos a los obtenidos.

Debido a la contingencia presentada por el virus del COVID – 19 no fue posible realizar réplicas de los ensayos, por ende, se recomienda ejecutar una réplica del proyecto presentado con el fin de darle mayor robustez y confiabilidad a los datos presentados.

En cuanto al perfil de concentración de biomasa durante la fermentación se recomienda hacer una toma de datos más recurrente para así tener mayor precisión a la hora de graficarlo y, adicionalmente, en el momento de hacer conteo para las metodologías de siembra en placa o en caja de Petri, disponer de un equipo o tecnología de conteo que permita obtener una mayor precisión en los datos y resultados.

Para estudios posteriores se recomienda hacer una toma de muestras frecuente, para tener datos suficientes de variables como formación de etanol, consumo de sustrato y concentración de biomasa, para poder plantear un modelo cinético y así analizar de forma más detallada el comportamiento de ésta en el proceso fermentativo para comparar su comportamiento con los modelos cinéticos existentes.

Dado el problema sanitario vivido por el virus del COVID – 19, no fue posible realizar el análisis sensorial a los consumidores habituales dentro del bar Terra Cruz por disposiciones de la alcaldía. Por ende, se recomienda hacer encuestas a los consumidores dentro del establecimiento dado que tienen un mayor conocimiento sobre la cerveza artesanal.