

Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y
Biotecnológicas**

Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica



**Análisis fisicoquímico y organoléptico de lotes de cerveza artesanal
fabricados a diversas concentraciones de lúpulo (*Humulus lupulus*)
reutilizado**

Tesis presentada por la Bachiller:

Moron Chuco, Soledad

ORCID: 0009-0006-3212-1837

para optar por el Título Profesional de Ingeniera Biotecnóloga

Asesor:

Mg. Alvarado Quiroz, Keny Davi

ORCID: 0000-0001-8882-9232

Arequipa-Perú

2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA BIOTECNOLOGICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Marzo del 2025

Dictamen: 012127-C-EPIB-2025

Visto el borrador del expediente 012127, presentado por:

2017601662 - MORON CHUCO SOLEDAD

Titulado:

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y ORGANOLÉPTICO DE LOTES DE CERVEZA ARTESANAL
FABRICADOS A DIVERSAS CONCENTRACIONES DE LÚPULO (HUMULUS LUPULUS)
REUTILIZADO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO BIOTECNOLOGO

**29728642 - VALDIVIA CARPIO WILLY ANIBAL
DICTAMINADOR**



**47604629 - TEJADA MEZA KEVIN
DICTAMINADOR**



**72172854 - FLORES CALLA SUSAN SOFIA
DICTAMINADOR**



Análisis fisicoquímico y organoléptico de lotes de cerveza artesanal fabricados a diversas concentraciones de lúpulo (*Humulus lupulus*) reutilizado

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

3

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

4

repositorio.unbosque.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

5

Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS

Trabajo del estudiante

<1 %

6

Amaral, Márcia Sofia Santos. "A música como estratégia de intervenção pedagógica", Escola Superior de Educacao de Paula Frassinetti (Portugal), 2023

Publicación

<1 %

7

ciencia.lasalle.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

8

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

9

pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

Fuente de Internet

<1 %

10

1library.co

Fuente de Internet

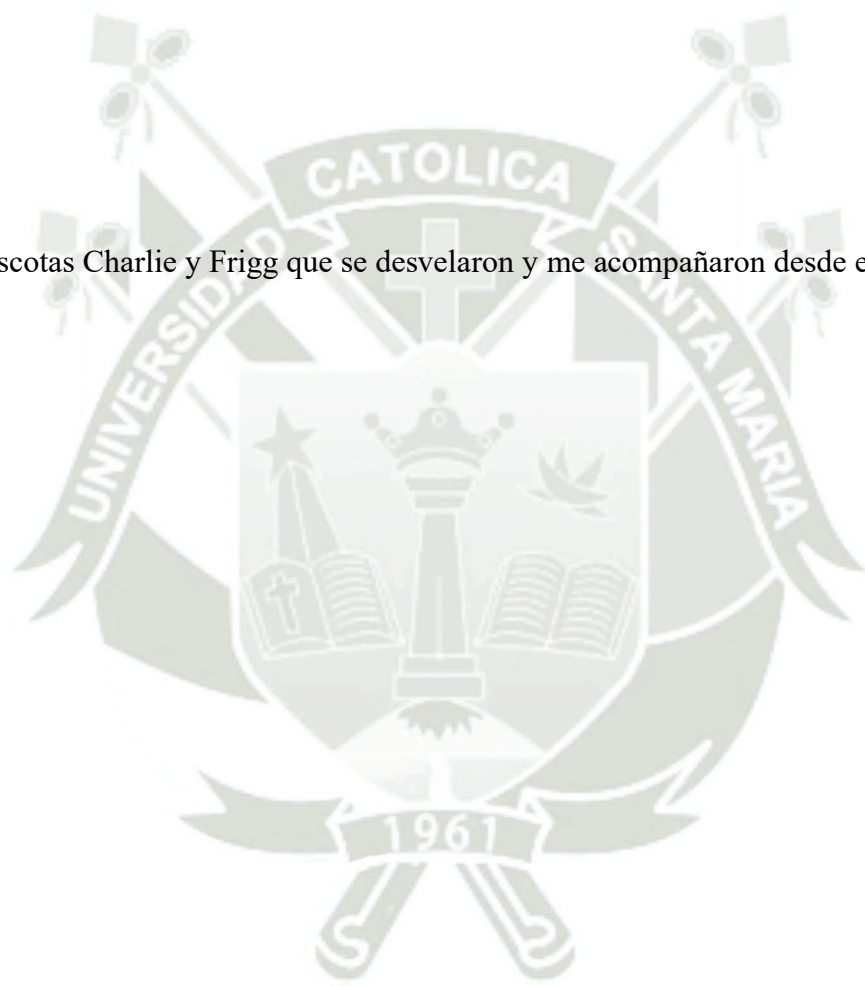
<1 %

Dedicatoria

A Dios, mi familia, mis amigas; por estar conmigo en cada paso y ayudarme a superar los malos momentos, para hacer realidad esta meta.

Porque hay cosas que no se pueden controlar, pero si estas rodeada de personas que quieres y que te quieren, todo se afronta.

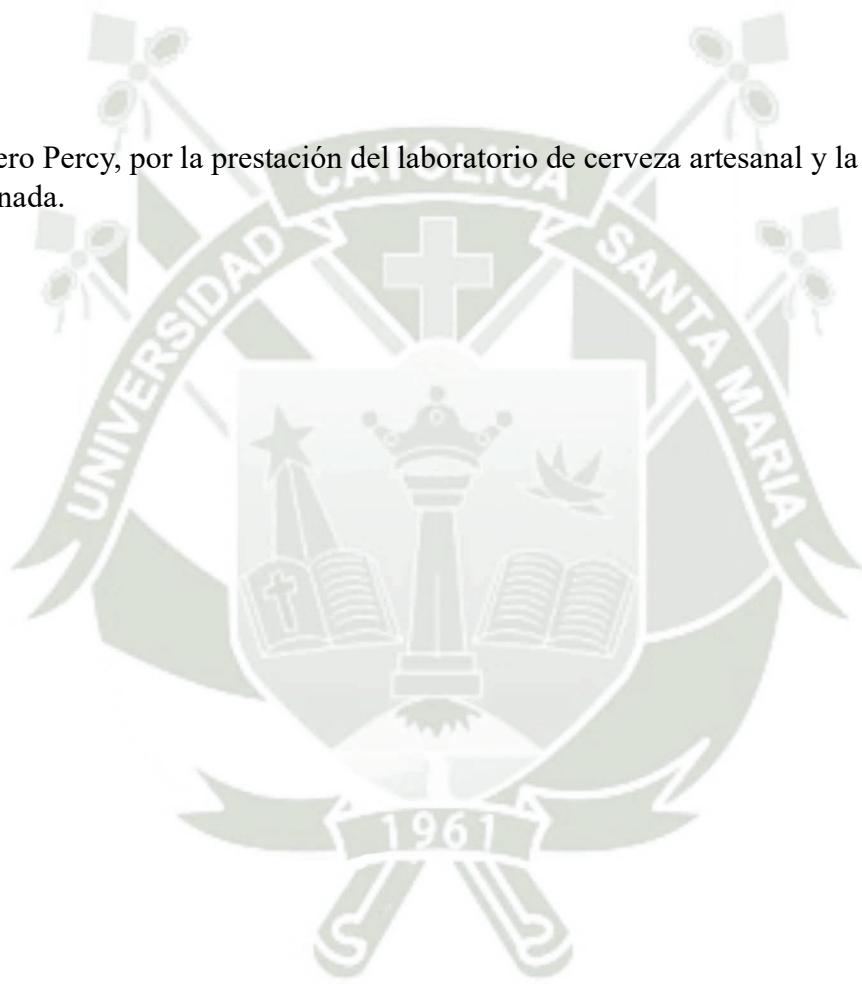
A mis mascotas Charlie y Frigg que se desvelaron y me acompañaron desde el día 1.



Agradecimientos

A mi asesor, Mg. Keny Alvarado por todo el apoyo para que esta investigación sea la mejor posible.

Al Ingeniero Percy, por la prestación del laboratorio de cerveza artesanal y la enseñanza proporcionada.



RESUMEN

La cerveza es una de las bebidas más populares alrededor del mundo, pues su sabor y fin refrescante lo lleva a ser único y demandado. Esto incluyendo a las ahora populares cervezas artesanales. Si bien la producción de esta bebida se lleva a cabo con el uso de diferentes insumos, se puede afirmar que el lúpulo es crucial, aportando amargor, olor y sabor único. No obstante, su demanda ha crecido de manera significativa, debido al requerimiento de mayor cantidad para nuevas recetas. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo elaborar cerveza artesanal con el uso de lúpulo reciclado, y así terminar con un producto de igual calidad a uno sin reciclado. En la investigación se realizó una cerveza artesanal del estilo Red Ale haciendo uso de lúpulo East Kent Golding. Este sirvió como tanda para la recolección del lúpulo que después se volvió a usar en otras dos tandas a diferentes concentraciones (50% y 25%). Se realizaron análisis fisicoquímicos y organolépticos, donde se determinó si el reciclado de lúpulo afectaba de manera negativa la calidad. Por medio del análisis ANOVA fue posible observar diferencia significativa entre los resultados; sin embargo, por medio de Tukey se determinó lo siguiente: el % de humedad del lúpulo recuperado 0% no se vio afectado por el tiempo de hervor (1 hora y 20 minutos). Además, dentro de las tandas 50% y 0% no se vio un efecto significativo entre ellos en los resultados de pH e IBU. A diferencia de lo observado en % de alcohol y % proteico, pues las tandas 0% y 25% se determinaron estadísticamente iguales. Sin embargo, el análisis organoléptico de las 3 tandas mostro que características como olor y sabor no presentaban alteraciones estadísticamente significativas. A diferencia de características como textura y amargor percibido. Además, se determinó alta preferencia sensorial a las cervezas con lúpulo reciclado. Finalmente, se llegó a elaborar una cerveza Red Ale artesanal con el uso de lúpulo reciclado a diferentes concentraciones, las cuales, aunque con características fisicoquímicas alteradas, no afectaron la aceptación sensorial.

Palabras clave: análisis fisicoquímico, análisis organoléptico, cerveza artesanal, lúpulo reciclado

ABSTRACT

Beer is one of the most popular beverages worldwide, because its taste and refreshing goal, make it unique and sought-after. This includes the now popular craft beers. Although production is carried out using different inputs, hops are certainly crucial, providing bitterness, smell, and unique taste. However, demand has grown significantly due to the increased use of it for new recipes. The present research work aimed to produce craft beer with the use of recycled hops and thus end up with a product of equal quality to one without recycling. In the investigation, a craft beer Red Ale type was produced using hops East Kent Golding. This served as a batch for the harvest of hops that were then used again in two other batches at different concentrations (50% and 25%). Physicochemical and organoleptic analyses were carried out to determine whether the recycling of hops harmed quality. By means of the ANOVA analysis, it was possible to observe significant difference between the results; however, by means of Tukey, the following was determined: the % moisture of the recovered hops 0% was not affected by the boiling time (1 hour and 20 minutes). In addition, within the 50% and 0% batches no significant effect was seen between them, in pH and IBU results. Unlike the observed in % of alcohol and %protein, as the batches 0% and 25% were statistically equal. However, the organoleptic analysis of the 3 batches showed that characteristics such as smell and taste did not present statistically significant alterations, unlike characteristics such as texture and perceived bitterness, in addition, high sensory preference was determined for beer with recycled hops. Finally, a craft Red Ale beer was produced using recycled hops at different concentrations, which although with pronounced physicochemical characteristics, did not affect sensory acceptance.

Keywords: craft beer, organoleptic analysis, physicochemical analysis, recycled hops

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
HIPOTESIS	2
Hipótesis específicas	2
OBJETIVOS.....	3
Objetivo General	3
Objetivo específico.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
Problema	4
Problemas específicos.....	4
Enunciado del problema	4
Descripción del problema	5
Justificación	6
○ Económica	6
○ Social	6
○ Ambiental.....	6
Antecedentes	7
CAPÍTULO I.....	10
1. MARCO TEÓRICO.....	11
1.1. Cerveza	11
1.2. Historia de la cerveza	11
1.3. Insumos para la elaboración de cerveza.....	13
1.3.1. Cebada.....	13
1.3.1.1. Proceso de malteado	14
1.3.1.2. Calidad de cebada y malta.....	14
1.3.1.3. Distintos tipos de malta cervecera.....	14
1.3.2. Levadura.....	15
1.3.2.1. Fase de crecimiento de la levadura.....	16
1.3.2.2. Levaduras para la elaboración de cerveza	17
1.3.2.3. Calidad y Manejo de la levadura.....	18

1.3.3.	Agua.....	19
1.3.3.1.	Efecto de la alcalinidad	19
1.3.4.	Lúpulo	20
1.3.4.1.	Efecto “Lightstruck”	21
1.4.	Proceso de elaboración	22
1.4.1.	Malteado.....	22
1.4.2.	Macerado.....	22
1.4.3.	Hervido de mosto	23
1.4.4.	Fermentación del mosto.....	23
1.4.5.	Maduración.....	24
1.5.	Variables e Indicadores	25
1.5.1.	Variable independiente y dependientes	25
CAPÍTULO 2.....		26
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1.	Materiales y Equipos	27
2.1.1.	Equipos.....	27
2.1.2.	Instrumentos	27
2.1.3.	Insumos cerveceros	28
2.1.4.	Reactivos	28
2.2.	Metodología.....	28
2.2.1.	Procedimiento de elaboración de cerveza artesanal estilo Red Ale.....	28
2.2.1.1.	Recolectado de agua y ajuste de pH.....	29
2.2.1.2.	Molido de Malta.....	29
2.2.1.3.	Hervor de agua cervecera.....	29
2.2.1.4.	Macerado	29
2.2.1.5.	Reciclado o lavado.....	29
2.2.1.6.	Cocción del mosto.....	30
2.2.1.7.	Enfriamiento	30
2.2.1.8.	Fermentación	30
2.2.1.9.	Envasado.....	31
2.2.1.10.	Almacenamiento	31
2.2.2.	Recolección y procesamiento de lúpulo a reutilizar.....	32
2.2.3.	Distribución de lúpulo en tandas de cerveza artesanal estilo Red Ale.....	33
2.2.4.	Método de análisis a variables cuantitativas fisicoquímicas	34
2.2.4.1.	Determinación de pH	35
2.2.4.2.	Determinación de alcohol	35

2.2.4.3.	Determinación de proteínas.....	35
2.2.4.4.	Determinación de porcentaje de humedad.....	35
2.2.4.5.	Determinación de amargor	36
2.2.5.	Método de análisis a variables cualitativas sensoriales	36
2.2.5.1.	Descripción del análisis sensorial-organoléptico.....	36
2.3.	Campo de investigación	36
CAPITULO 3.....		38
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1.	Uso de lúpulo aromático (East Kent Golding) para amargor de cerveza (Kettle Hopping)	39
3.2.	Resultados análisis variables fisicoquímicas cuantitativas	40
3.2.1.	Contenido de Humedad (%)	40
3.2.2.	pH.....	43
3.2.3.	Contenido de alcohol (%ABV).....	46
3.2.4.	Amargor (IBU)	48
3.2.5.	Contenido proteico (%)	51
3.3.	Resultados análisis variables organolépticas cualitativas	54
3.3.1.	Apreciación de olor	55
3.3.2.	Apreciación de textura.....	57
3.3.3.	Apreciación de sabor	59
3.3.4.	Apreciación de amargor.....	61
CONCLUSIONES.....		63
RECOMENDACIONES.....		64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		65
ANEXOS.....		69

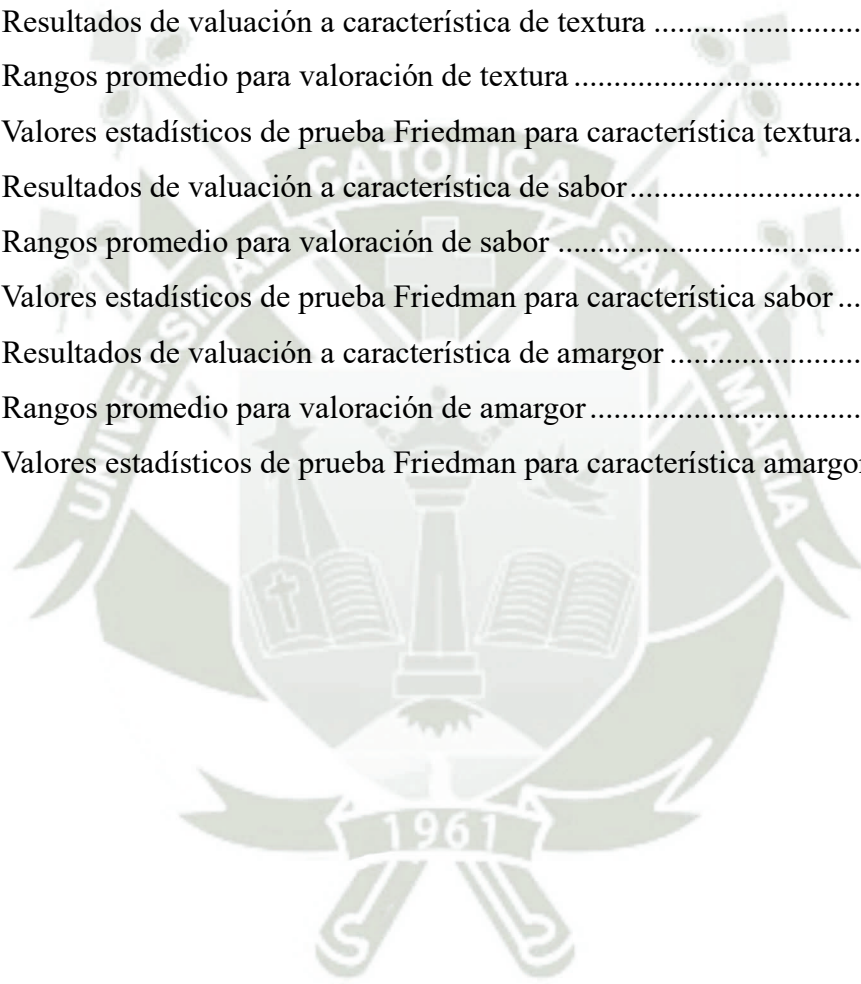
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva de crecimiento típica <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en medio YPD a 30° por 12 horas con medición de datos cada dos minutos (28)	17
Figura 2: Diagrama de bloques de la elaboración de cerveza estilo Red Ale.....	32
Figura 3: Diagrama de bloques del proceso de recolección y procesamiento del lúpulo..	33
Figura 4: (a) Diagrama de bloques de la elaboración de cerveza estilo Red Ale con 50% de lúpulo reciclado; (b) Diagrama de bloques de la elaboración de cerveza estilo Red Ale con 25% lúpulo reciclado	34
Figura 5: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para % de humedad contenido en el lúpulo.....	42
Figura 6: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para pH de las tandas 0%, 50% y 25%.....	45
Figura 7: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para % de alcohol de las tandas 0%, 50% y 25%.....	47
Figura 8: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para IBU de las tandas 0%, 50% y 25%.....	50
Figura 9: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para % de proteína de las tandas 0%, 50% y 25%	53
Figura 10: Gráfico de barras olor percibido por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado	56
Figura 11: Gráfico de barras textura percibida por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado	58
Figura 12: Gráfico de barras Sabor percibido por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado	60
Figura 13: Gráfico de barras amargor percibido por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de consistencia de variables independientes y dependientes	25
Tabla 2: Distribución inicial de lúpulo en proceso de hervor considerando 85 gr de total usado y distribuido en 1 hora de hervor y 20 minutos de hervor respectivamente.	33
Tabla 3: Distribución de lúpulo reutilizado y nuevo en tandas de 50% y 25% considerando el agregado de 65 gr para 1 hora y 20 gr para 20 minutos de hervor.	33
Tabla 4: Variables dependientes cuantitativas de cerveza estilo Red Ale	35
Tabla 5: Variables dependientes cualitativas de cerveza estilo Red Ale	36
Tabla 6: Análisis de laboratorio para % de humedad por gravimetría, de lúpulo nuevo, recuperado de tanda 0% y 25%	40
Tabla 7: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de % de humedad.	40
Tabla 8: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de pH	41
Tabla 9: Análisis de laboratorio para pH de cerveza a concentraciones de lúpulo 0%, 50% y 25%.....	43
Tabla 10: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de pH	44
Tabla 11: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de pH	44
Tabla 12: Resultados de % alcohol cervezas 0%, 50% y 25%.....	46
Tabla 13: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de %ABV	46
Tabla 14: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de %ABV	46
Tabla 15: Resultados de amargor medido en IBU de cerveza a concentraciones de lúpulo 0%, 50% y 25%	48
Tabla 16: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de IBU	48
Tabla 17: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de IBU	49
Tabla 18: Resultados de contenido proteico (%) de cerveza a concentraciones de lúpulo 0%, 50% y 25%	51

Tabla 19: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de % de proteínas	52
Tabla 20: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de % de proteínas	52
Tabla 21: Resultados de valuación a característica de olor	55
Tabla 22: Rangos promedio para valoración de olor.....	55
Tabla 23: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica olor	55
Tabla 24: Resultados de valuación a característica de textura	57
Tabla 25: Rangos promedio para valoración de textura	57
Tabla 26: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica textura.....	57
Tabla 27: Resultados de valuación a característica de sabor.....	59
Tabla 28: Rangos promedio para valoración de sabor	59
Tabla 29: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica sabor	59
Tabla 30: Resultados de valuación a característica de amargor	61
Tabla 31: Rangos promedio para valoración de amargor	61
Tabla 32: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica amargor	61



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Costes de insumos para cerveza Red Ale en planta de 50 L.....	69
Anexo 2: Análisis de densidades antes y después de la fermentación, cervezas 0%, 50% y 25%.....	69
Anexo 3: Cuadro original de valuación de características organolépticas	70
Anexo 4: Hoja de introducción, previa a evaluación sensorial	72
Anexo 5: Hoja de evaluación sensorial	73
Anexo 6: Resultados de laboratorio determinación de proteínas de cerveza 0% lúpulo reciclado	74
Anexo 7: Resultados de laboratorio determinación de IBU de 0% lúpulo reciclado.....	75
Anexo 8: Resultados de laboratorio determinación de proteínas e IBU de cerveza 50% lúpulo reciclado	76
Anexo 9: Resultados de laboratorio determinación de proteínas e IBU de cerveza 25% lúpulo reciclado	77
Anexo 10: Resultados de laboratorio determinación de humedad de lúpulo nuevo, lúpulo recuperado 0% y 25%, correspondiente a sus horas de hervido	78

INTRODUCCIÓN

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas fermentadas más conocidas desde los tiempos antiguos. Hoy en día se considera la quinta bebida más consumida a nivel global, pues en el 2018 su consumo dentro de 170 países y regiones principales fue de 1.8879 billones de hl aproximadamente. Esto significa que la producción de cerveza la hace una de las industrias con gran importancia económica.

De manera moderna la elaboración de esta bebida es dividida en varios procesos sucesivos: malteado, molienda, maceración, clarificación, agregado de lúpulo, ebullición del mosto, enfriamiento del mosto, fermentación con levaduras, eliminado de levaduras, maceración y envasado (1).

Sin embargo, al ser una de las industrias más grandes crea de manera similar grandes cantidades de residuos los cuales generan una problemática económica en gestión; además, de causar impacto negativo en el ecosistema. La preocupación pública por la contaminación ha aumentado con el paso de los años, lo que ha llevado a muchas industrias a la búsqueda de métodos para disminuir en grandes cantidades los desechos. Pues se busca aplicaciones para convertir los desechos tradicionales en coproductos. Es así como los subproductos generados por la industria cervecera pueden llegar a utilizarse como materiales explotados debido a las grandes propiedades (1). Y aunque se están realizando estudios enfocados en la reutilización de algunos subproductos, esto aun no es una realidad completa.

El lúpulo es una de las materias primas cruciales utilizadas para la elaboración de esta bebida; sin embargo, según estudios este es uno de los más grandes desechos orgánicos que presenta la industria. Además, representa uno de los productos que genera gran inversión para su adquisición, así como para su proceso de cultivo, pues para escala industrial es necesario el uso de considerables cantidades.

Por lo que este trabajo busca enfocarse en brindar una solución tanto económica, social y ambiental para la gran industria, mediante el reúso de este gran bio producto que muchas cerveceras suelen descartar al primer uso. Este objetivo será logrado por medio de la presentación de justificaciones científicas y experimentales para llevar a la comunidad cervecera a un nivel de sostenibilidad.

HIPOTESIS

En vista que el lúpulo es un insumo crucial en el proceso de fabricación de cerveza y se volvió muy demandado a nivel mundial exigiendo precios más altos. Es posible crear un plan sostenible que permite la elaboración de una cerveza artesanal usando diferentes concentraciones de lúpulo reciclado que no presenten características fisicoquímicas y organolépticas afectadas negativamente.

Hipótesis específicas

- Se espera que un lote de cerveza fabricado con lúpulo nuevo sirva como muestra modelo para evaluar cambios fisicoquímicos y organolépticos.
- Se puede determinar cómo las diferentes concentraciones (25% y 50%) influyen en los parámetros fisicoquímicos y organolépticos en los lotes de cerveza.
- Se espera que las cervezas fabricadas con lúpulo reciclado cumplan con los estándares normativos fisicoquímicos.
- Se espera que a mayor concentración de lúpulo reutilizado se observen diferencias en los resultados organolépticos (sabor, amargor, olor y textura).
- El incorporar lúpulo reciclado en diferentes concentraciones a los lotes mostrará la existencia de diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos.
- El emplear lúpulo reutilizado genera diferencias significativas en la percepción sensorial.

OBJETIVOS

Objetivo General

Fabricar lotes de cerveza artesanal con el uso de lúpulo fresco y reutilizado en diferentes concentraciones.

Objetivo específico

- Desarrollar un lote de cerveza artesanal con lúpulo fresco (0%), que servirá como cerveza modelo de comparación y donde se recolectará lúpulo para reusar.
- Producir dos lotes de cerveza usando lúpulo reutilizado a concentraciones de 25% y 50%.
- Determinar el impacto del reúso de lúpulo en propiedades fisicoquímicas y compararlas con la tanda modelo (0%), normas comerciales y estudios similares.
- Analizar variables organolépticas por medio de un proceso de cata para evaluar las diferencias entre los tres lotes (0%, 25% y 50%) y la preferencia sensorial.
- Interpretar los resultados obtenidos por medio de un análisis estadístico ANOVA y Tukey, para entender como las variaciones en la concentración de lúpulo afectan el producto final.
- Realizar un análisis estadístico con ecuación de Friedman a los resultados de la cata y evaluar las diferencias significativas entre los lotes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Problema

En qué medida influye el uso de lúpulo reutilizado a diferentes concentraciones a nivel fisicoquímico y organoléptico diversos lotes de cerveza artesanal

Problemas específicos

- ¿Cuál es la composición fisicoquímica y organoléptica de cerveza fabricada con lúpulo fresco, en comparación a lotes con lúpulo reutilizado?
- ¿Cómo se ve afectado los lotes de cerveza a nivel fisicoquímicos cuando se usan diferentes concentraciones de lúpulo reciclado (25% y 50%)?
- ¿Cómo se ven comparados las características fisicoquímicas de cerveza con lúpulo reutilizado frente a normativas y estudios similares?
- ¿Qué diversidad a nivel organoléptico presentan lotes de cerveza con lúpulo reutilizado en comparación al lote de lúpulo fresco?
- ¿Se presentan diferencias significativas dentro de los parámetros fisicoquímicos de la cerveza dependiendo de la concentración de lúpulo reutilizado empleado?
- ¿Se presenta diferencia significativa a nivel de percepción sensorial de las cervezas, según la concentración de lúpulo reciclado?

Enunciado del problema

Dentro de las industrias, la implementación de un proceso optimizado es necesario y algo que debe ser llevado a cabo lo más pronto posible. Dándole un enfoque cercano a las industrias productoras de cerveza alrededor del mundo, estas son consideradas unas de las más grandes. Debido a las abundantes producciones mensuales y anuales, la cantidad de desechos producidos por estas empresas son considerables y preocupantes. Dentro de estos desechos se encuentra el lúpulo, insumo importante y clave dentro de la fabricación de esta bebida. Es cierto que anteriormente este desecho era manejado de manera correcta puesto que era entregado al sector agrícola, debido a leyes implementadas por muchos países esto cambio. Por lo que se vuelve de importancia la investigación sobre los efectos del reúso de lúpulo para futuras producciones y que se haga la pregunta:

¿Cuál sería el impacto de diferentes concentraciones de lúpulo reciclado en la calidad sensorial y propiedades fisicoquímicas de la cerveza, tomando en cuenta criterios de eficacia y sostenibilidad para la producción de cerveza?

Descripción del problema

Cada año, a nivel global se generan considerables volúmenes de desechos agroindustriales derivados tanto de productos agrícolas como de la industria alimentaria. La disposición de estos residuos en el entorno ambiental plantea desafíos, debido a que poseen un gran valor nutricional y una alta concentración de componentes orgánicos. Esto los lleva a implicar una demanda considerable de oxígeno bioquímicos para su descomposición. Resulta crucial destacar que la industria cervecera se suma a estas actividades, ya que en sus procesos de fabricación se involucra el uso y fermentación de materia vegetal; principalmente malta y lúpulo. Procedimientos que conllevan a la generación de diversos bioproductos (2). En definitiva, los desechos generados por las cervecerías son de gran tamaño y estos suelen contener cantidades significativas de humedad. Si bien se consideraba su destino final dentro de la agricultura, especialmente para alimento animal; esto se convirtió en un desafío más. Debido a las limitaciones en los movimientos de ganado por motivo de enfermedades y requisitos legislativos, especialmente en la Unión Europea; esta opción disminuyó. En el mundo se producen al menos 1.94 billones de hectolitros de cerveza, de los cuales solo en Reino Unido de 5 000 millones de litros se producen 30 000 toneladas de lúpulo. Incluso para las cervecerías pequeñas es importante tener un manejo para minimizar estos residuos (3).

La elaboración de 1 hectolitro (hl) de cerveza llega a producir entre 0.2 y 0.4 kg de residuos de lúpulo. Las cervecerías más pequeñas hoy en día utilizan alrededor de 10 veces más en comparación a las grandes empresas (aproximadamente 100 g de conos/pellets por 1 hl de cerveza); resultando en mayores cantidades de residuo. En la mayoría de los casos, el lúpulo se descarta después de un solo uso. Considerando el año 2022, pequeños cerveceros produjeron más de 24.3 millones de barriles solo en E.E.U.U, donde se usaron tasas de lúpulo de 1kg/hl o hasta de 2 kg/hl (5lb/barril), generando un considerable desperdicio. Además, contemplando el aspecto financiero, para estas enormes cantidades de lúpulo los precios alcanzan los 20 euros/kg. Haciéndolo uno de los ingredientes más costosos en la fabricación, representando el 50% del presupuesto (4).

Muchos factores como normas ambientales, escases de fuentes no renovables y problemas relacionados con el mal rehuso de materiales crudos, es lo que lleva a desarrollar nuevos procesos que conlleven a la generación de menos residuos, o el reuso de estos para agregarle valor (2).

Justificación

○ Económica

Actualmente la industria del lúpulo creció en reconocimiento, debido a la popularidad ganada de la cerveza producida tanto de manera industrial como artesanal. Esta situación por ende resultó en un gran número de nuevos cerveceros; además, de una oferta de productos más variada. Reflejado como hoy muchos buscan utilizar el lúpulo para diversificar sus productos, la demanda de este insumo creció exponencialmente, más por el lado de las cervezas populares como las IPA y New England. Estilos que requieren de por sí una gran cantidad de este insumo a diferencia de otros. Según reportes anuales, la empresa comercial de lúpulo de Núremberg destaca la influencia de las cervezas especializadas en los requisitos del lúpulo. Según el informe del 2017 y 2018, las cervezas de manera artesanal representaban aproximadamente el 2.5% del volumen total de producción mundial de cerveza. El informe; además, indica que incluso en el sector no artesanal la demanda de lúpulo ha experimentado un aumento del 18% en la última década (5). Por ejemplo, se reporta que en el estado de Ohio para la producción de solo cerveza artesanal se estima un gasto de 10 millones de dólares en lúpulo exportado (6).

○ Social

Por medio de las investigaciones sobre concentraciones variables de lúpulo le es posible a la industria cervecera diversificar su oferta; además, de convertirse en un componente educativo y cultural. Gracias a la adopción de estos métodos respetuosos con el medio ambiente es posible atraer consumidores conscientes y respaldar la creación de empleo en un sector de crecimiento. Inspirando también prácticas similares en otras áreas de la industria alimentaria. Por lo que, por medio de esta investigación se contribuye a una diversidad cultural y responsabilidad social en la producción de alimentos y bebidas.

○ Ambiental

La reutilización de lúpulo puede llegar a reducir la demanda de este recurso, lo que lleva a la conservación de producto natural, áreas de cultivo y a la mitigación de la presión sobre los ecosistemas circundantes. Además, de la reducción de residuos agrícolas lo cual se traduce no solo en principios de sostenibilidad agregados a las prácticas industriales, sino que también disminuye la carga ambiental asociada con la eliminación de desechos orgánicos. De otra manera llega a reducir la huella de carbono asociada con el gran transporte de considerables cantidades de este. Adicionalmente, al reducir la demanda y la necesidad de grandes producciones se reduce el consumo de agua y energía en la agricultura

y el procesamiento del lúpulo. Es así como esta investigación no solo aporta un enfoque sostenible, si no uno respetuoso con el medio ambiente en toda la cadena de suministro de cerveza.

Antecedentes

Hace un par de años las técnicas sostenibles en cerveza fueron un interrogatorio para unos investigadores, que por medio del método del dry-hopping llevaron a cabo el proceso de reúso de lúpulo. El estudio llevo a cabo el proceso de lupulado de cerveza con lúpulo anteriormente usado en dry-hopping, donde se demostró que las cervezas elaboradas presentaban menor valor en la escala de IBU y menor concentración de volátiles derivados del lúpulo. Sin embargo, mantuvieron el mismo nivel de actividad antioxidante y concentración de componentes fenólicos. Además de conseguir mayor puntuación de sabor en los análisis sensoriales. Sin embargo, aún no se tiene mucha investigación en este aspecto cuando se habla de una receta tradicional de cerveza que no pasa por el proceso de dry-hopping. A pesar de eso, este estudio marca la viabilidad de reutilizar el lúpulo en la producción de cerveza para el mantenimiento de la calidad del producto (7).

Pero eso no fue todo, la investigación mencionada es de las más recientes con las que pude toparme, sin embargo, en Alemania en 2019 ya se estaba trabajando con el reúso de lúpulo como técnica sostenible. Dentro de esta investigación también se trabajó con el proceso del dry-hopping, pues para ese tiempo las cervezas con intensos aromas y sabor a lúpulo empezaron a ganar gran popularidad dentro de la comunidad cervecera. No obstante, esto conllevaba al uso de mayor cantidad de lúpulo en el proceso de producción, lo que conllevaba a pérdidas significativas en gastos para conseguir este insumo. Por lo que se llevó a cabo el estudio de pruebas de cervezas dry hopeadas con lúpulo reciclado a diferentes dosis. Los resultados mostraron que estas cervezas presentaban valores menores de unidades de amargor (IBU) y menos concentración en volátiles derivados de lúpulo; más contenían la misma actividad antioxidante, metabolitos derivados de levadura, concentración de compuestos fenólicos, además de adquirir calificaciones altas en el análisis sensorial (8).

Como podemos notar, ambos de estos estudios se encuentran centrados en la reutilización del lúpulo con un enfoque particular al proceso del dry-hopping. De manera conjunta se puede mencionar que las investigaciones demostraron que, aunque las cervezas presentaban menores valores de IBU y volátiles derivados de lúpulo, estas aun mantenían características importantes igual a las de una cerveza producida con lúpulo nuevo (actividad antioxidante,

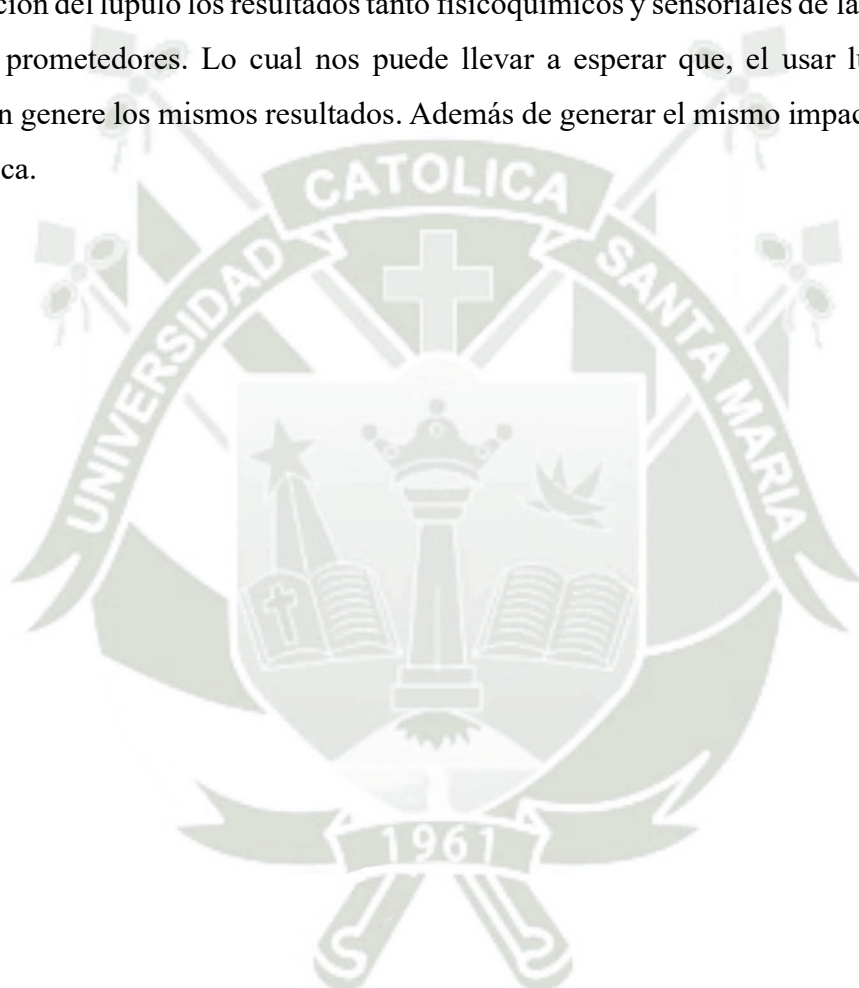
metabolitos derivados de levadura, concentración de compuestos fenólicos). Además de recibir calificaciones más altas en paneles de cata sensorial. Lo cual nos sugiere que el método de “segunda vida” del lúpulo, aunque aún no es muy estudiada, puede llegar a causar un impacto dentro de una de las industrias más grandes del mundo. Afectando de manera positiva no solo a la economía si no al medio ambiente.

Ahora bien, estos estudios nos demostraron la significación del reúso del lúpulo, es importante recalcar una de las metodologías que son usadas para la determinación del buen rendimiento final de esta cerveza. Dentro de las industrias grandes, los procesos de espectrofotometría para la determinación del IBU por medio del uso de iso octanos es muy popular; sin embargo, este es un reactivo muy caro y no muy accesible para empresas pequeñas o cervecerías artesanales. Por lo que, en el 2019 en Brasil, se desarrolló una metodología no solo simple sino económica para evaluar la escala IBU. La cual se basa en un montaje que consta de una fuente de luz UV, un material fluorescente y una cámara digital para obtener imágenes que serán procesadas por un programa, y por medio de ecuaciones matemáticas lograr conseguir la absorbancia de la muestra en cuestión para obtener los valores de amargor. Los resultados obtenidos soltaron márgenes de error por debajo de 3 IBU's, lo cual lo hace una alternativa muy buena y de alta consideración (9).

Dentro de la industria cervecera, los temas de sostenibilidad y eficiencia son de gran importancia. Por lo que, muchas investigaciones han explorado el uso reducido de lúpulo sustituyéndolo con alternativas ecológicas. No solo buscando la reducción de costo y dependencia de recursos escasos, si no que exploran sabores y aromas nuevos transformando la producción y el consumo. Primeramente, se tiene una tesis presentada en la ciudad de Bogotá (2017), donde se buscó la sustitución parcial de lúpulo por cidrón para la generación de cerveza artesanal con tratamientos de 100% lúpulo 0% cidrón, 70% lúpulo-30% cidrón y 50% lúpulo-50% cidron. A los cuales se les realizo los respectivos tratamientos fisicoquímicos de grado alcohólico, color, acidez, pH y densidad. Y fue gracias a los resultados, como se demostró que la cerveza cumplía con los parámetros de calidad además de buenas características sensoriales (10). Otra investigación menciona la evaluación parcial del lúpulo por semillas de cáñamo para la generación de una cerveza Brown Ale. Donde se llevaron tratamientos de 100%, 75%, 50% y 25% lúpulo con su contraparte respectiva de cáñamo. A los siguientes tratamientos se les realizaron análisis de acidez, pH, densidad y grado alcohólico; donde, por medio de los resultados se demostró que el tratamiento con 25% de lúpulo era el mejor (11). Así mismo, la sustitución de lúpulo continua. En México

(2023) se realizó un estudio con cascarilla de cacao para la elaboración de una cerveza malanga tipo ale, donde se realizaron tratamientos de 100%, 75%, 50% y 25% de lúpulo con su contraparte en cascarilla de cacao. Cervezas que también se les realizaron sus tratamientos fisicoquímicos y de cata, donde se determinó que el tratamiento de 25% de lúpulo fue el mejor (12).

Es por medio de estas investigaciones que se puede ver lo prometedor del reuso; aun con la sustitución del lúpulo los resultados tanto fisicoquímicos y sensoriales de las cervezas finales fueron prometedores. Lo cual nos puede llevar a esperar que, el usar lúpulo reutilizado también genere los mismos resultados. Además de generar el mismo impacto en la sociedad científica.





CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1.Cerveza

Uno de los brebajes más populares del mundo. Es definida como aquella bebida alcohólica que se produce de manera masiva, por medio de adición de lúpulo a una fermentación controlada de diferentes cereales como la cebada, trigo, arroz, entre otros. Cereales que son ricos en azúcares, compuestos nitrogenados y sulfurados (13). De su composición total, al menos el 90% de esta es agua, mientras que el 10% restante son azúcares, minerales, vitaminas, aminoácidos, alcoholes y polifenoles (14).

Esta bebida está considerada a tener beneficios en la salud siempre y cuando su consumo sea moderado. Entre las cuales encontramos propiedades anticancerígenas, reducción de enfermedades cardiovasculares, aumento en la densidad de los huesos, prevención de anemia, propiedades contra el envejecimiento, entre otros (13).

1.2.Historia de la cerveza

La cerveza se presenta en la historia del mundo desde tiempos tempranos, pues al parecer fue esta la primera bebida fermentada conocida por el ser humano. A la vez es muy creído que este apareció a la par del pan de cebada. Es mencionado que desde hace más de 6000 años los sumerios consumían y elaboraban esta bebida (15); sin embargo, antes de entrar a detalle, es importante definir los inicios del proceso de elaboración de cerveza. Aunque es más que sabido que los humanos hacían uso de antioxidantes y fermentaciones desde los tiempos Paleo licos, para ese entonces era importante cumplir requisitos en cuanto a sociedad; los cuales no se presentan hasta los años 5000 b.C. Se explica que existen tres requisitos dentro de los cuales está la habilidad de obtener granos de calidad, poseer una fuente de energía controlable (en esos tiempos eran las fogatas) y contar con recipientes adecuados para la elaboración de cerveza (16).

Según historiadores, la evidencia de los inicios de la cerveza y del pan son provenientes de la Mesopotamia. Debido a los grandes descubrimientos arqueológicos y de arte histórico provenientes de Egipto. Un sinfín de información recolectada por arqueólogos nos da a entender que en los tiempos del antiguo Medio Oriente ya se tenían técnicas para la elaboración de cerveza. Sin embargo, historiadores recientemente consideran bastante de estos descubrimientos una forma que tenían los egipcios de expresar el arte Por lo que se genera la gran duda en cuanto al conocimiento de las tecnologías antiguas sobre la elaboración. Es bien comprendido que los egipcios generaban esta bebida desde la era

Predinástica (5500 – 3100 b.C), debido al encuentro de sedimentos de cerveza hallados en un cementerio Predinástico en el alto Egipto y en Naqada. Y es debido a escritos sobre la dinastía temprana, que la elaboración de cerveza era un proceso bien establecido dentro de la cultura (17).

Sin embargo, la cerveza no solo se estaba produciendo en Egipto. Cerca de 1000 metros del noreste de Mesopotamia en un área de la Iraq moderna, los antiguos reinos de Sumerios (Assyria, Babilonia y Akkad) llevaban a cabo esta práctica. Es más, no fue hasta el siglo XX que muchos historiadores se dieron cuenta que los egipcios no fueron los primeros en generar cerveza, si no los Sumerios. Debe señalarse que un sinnúmero de civilizaciones antiguas recibieron conocimientos acerca de este proceso por medio de los egipcios o mesopotámicos. De hecho, los griegos fueron formados por los egipcios en el arte de elaboración de cerveza. Ahora, si bien este hecho fue documentado; muchos historiadores consideran esto algo imposible. Debido a que los griegos consideraban la producción de cerveza algo fuera de lo común y una práctica de la cual no estaban acostumbrados. A pesar de que esto ser cierto dentro de lo que era el estatus privilegiado y de clase alta. Por su puesto que este fenómeno no solo se puede encontrar con griegos, sino que hay mucho campo vacío en cuanto a la historia de como la práctica de la cerveza salió del Medio Oeste y llegó a Europa (17).

Cabe considerar, la importancia de nombrar como es que el arte de la cerveza llega a partes de Europa, iniciando por las islas británicas. Es considerado tomar de hipótesis, que esta tiene un enlace directo con la cultura cervecera que se llevaba a cabo en Egipto y cerca del antiguo oeste. Sin embargo, se sabía por medio de Julio Cesar, que la cerveza era ya considerada una bebida indígena fermentada para los británicos (17). Por consiguiente, gran evidencia proveniente del neolítico y la edad de bronce dan a conocer como la cerveza ya era parte de la cultura antigua en Europa. Pues en Escocia se hallaron cerámicas que datan del año 3000 a.C, que fueron usadas como contenedores de cerveza, además de encontrar una variedad de ingredientes relacionados con la producción de esta (18).

De igual importancia se encuentran los Celtas y los alemanes. Se conoce que los Celtas se encontraban en Europa central desde los años 700 a.C, y ya contaban con experiencia en cuanto a elaborar cerveza. Esta tradición celtica sobrevivió en Irlanda y volvió al continente por los irlandeses después de 500 años. Contrario a eso, no se conoce mucho de los orígenes de la cerveza dentro de las tribus alemanas; sin embargo, se conocía que consumían esta

bebida de manera considerable, más la elaboraban de manera diferente a los conocidos en esos tiempos. Es así como, para el tercer y cuarto siglo estas tribus tomaron contacto con los romanos y prefirieron optar por la tecnología romana que su propia iniciando una nueva era para la cerveza (16).

1.3.Insumos para la elaboración de cerveza

1.3.1. Cebada

La cebada es uno de los cereales más usados para el proceso de malteado en la elaboración de cerveza. Además de ser uno de los cereales más importantes del mundo, debido a su gran facilidad de cultivo y su gran aporte nutricional en la dieta del día a día. La cebada pertenece a la familia *Poaceae* de la cual se encuentran tres subvariedades, *Hordeum irregulare*, siendo una de las menos cultivadas (19). Cebada de seis hileras, la cual presenta el mayor poder enzimático y un contenido más alto en proteínas. Presenta un sabor cercano al cereal y gracias a este tipo de cebada es posible generar cervezas más turbias por la cáscara de esta, que presenta la mayor parte de taninos, polifenoles y proteínas de la malta. Sin embargo, debido a su alto nivel enzimático pueden provocar problemas en la cerveza. Finalmente tenemos a la cebada de dos hileras. Debido a que presenta menos granos por cabeza llega a crecer más que la de seis y es por esto que se le describe un sabor reposado, lo que hace la molienda más sencilla. Esta presenta mayor cantidad de almidón y menos actividad enzimática, más tiene un costo alto y presenta menor poder diastático (20).

Así pues, como fue mencionado anteriormente, la cebada es la cereal estrella cuando de cerveza se trata. Aun así, es posible realizar esta bebida haciendo uso de otros cereales, pero presentan algunas desventajas a diferencia de la cebada. Por ejemplo; el maíz, pues este al llevarlo al proceso del malteado genera que la grasa contenida se enrancie; por otro lado, tenemos al trigo, que, aunque es malteada para el proceso de elaboración de pan, puede llegar a desarrollar microorganismos dentro de la germinación en la superficie del grano, lo cual puede ser un inconveniente en el proceso de elaboración. Entonces, ¿Por qué la cebada es uno de los cereales más usados en este proceso?, esto es debido a que tiene un contenido rico en almidón y polisacáridos necesarios para el origen del extracto fermentable. Además, contiene proteínas que proporcionan a las levaduras la suficiente cantidad de aminoácidos para su crecimiento, y por último posee sustancias nitrogenadas, las cuales presentan un papel importante en la formación de espuma del producto final (21).

1.3.1.1. Proceso de malteado

Para comprender de manera general el proceso, es importante entender por qué se lleva a cabo el malteado. Los compuestos de gran tamaño y alta complejidad estructural, como lo son el almidón, proteínas y ácidos nucleicos; que se encuentran dentro de la cebada deben ser descompuestos ya sea de manera parcial o total. Y convertirlos a compuestos más sencillos como los son los azúcares, aminoácidos y nucleótidos. Esto se logra por medio de la acción de enzimas hidrolíticas que son generadas en el proceso de malteado. El proceso de producción de malta de manera global comienza con la limpieza de los granos, seguido de su inmersión en agua y luego continua con la germinación y el secado. Procedimiento que se definirá más adelante (22).

1.3.1.2. Calidad de cebada y malta

Para realizar una evaluación en cuanto a la calidad de la cebada que va a ser usada en el proceso de malteado, es importante tener en cuenta que a comparación de otros cereales esta es diferente y única. Esto debido a que el proceso principal de la cebada malteada va a implicar dos procesos biológicos, que son la germinación de la cebada y la fermentación de la levadura. No obstante, las cerveceras subrayan la importancia de la calidad de la cebada y la malta, debido a que el producto final de este es alimenticio. Por lo tanto, es necesario cumplir con criterios estrictos antes de considerar que la cebada y la malta son adecuadas para el malteado y la elaboración de cerveza. Es así como se dan análisis típicos para la determinación de la idoneidad de una muestra de cebada para el proceso del malteado, los cuales son, (i) Pureza varietal, donde cada tipo de malta es sometido a procesos distintos, lo cual implica la necesidad de separar las variedades para asegurar una malta de calidad. (ii) Germinación, pues una buena germinación da como resultado una buena calidad de malta. (iii) Aspecto del grano, donde se dan indicaciones de infestación microbiana. (iv) Pelado del grano, pues las cáscaras que no se encuentran bien adheridas disminuyen la consistencia de la germinación y generan dificultad en la manipulación. (v) Proteínas, ya que un exceso de esta en la cebada ($\geq 13\%$ dm) resulta en una modificación lenta y baja producción de extracto de malta, y una baja cantidad ($\leq 9.5\%$ dm) puede afectar los niveles de enzimas. (vi) Tamaño del grano, pues mientras se encuentren más llenos, hay mayor potencial de extracto de malta, haciendo el procesamiento más sencillo (23).

1.3.1.3. Distintos tipos de malta cervecera

Las maltas cerveceras suelen separarse en cuatro grupos básicos de los cuales están, (i) Maltas base grupo 1, donde se encuentra las Pale Ale, trigo claro y Viena. Son aquellas

maltas horneadas a temperaturas bajas pero largo tiempo. Presentan gran poder enzimático y son de la familia de las cervezas Pilsen o Lager. (ii) Maltas base grupo 2, aquellas Aromatic y Múnich. A diferencia del grupo 1 estas son horneadas a temperaturas superiores más no llegan a caramelizarse. Aun así, siguen presentando un buen poder enzimático, aunque su presencia en la cerveza es más notoria y marca el perfil. (iii) Maltas caramelo o crystal. Inicialmente estas se calientan en un horno donde no se deja escapar la humedad, por lo que se comenta que son cocinadas al “vapor”, lo que llega a romper completamente la estructura de sus almidones, que al no ser azúcares fermentables aportan dulzor a la cerveza. Una vez cocinada al vapor se hornea para secarla. A esta pertenecen grandes variedades como la carafa, Special B, carapils, entre otros. Y, por último, pero no menos importante, (iv) Maltas tostadas y torrefactadas. Son aquellas producidas en dos fases, primero secado/horneado y luego tostado a mayores temperaturas. Estas presentan subcategorías que son las biscuit, ámbar, Brown, chocolate, café y black. Dentro de las cuales las primeras aportan ricos sabores a galleta y tono dorado a la cerveza. (24). En conjunto, a medida que se sube de tostado, el color oscurece y los sabores cambian haciéndose más amargos.

1.3.2. Levadura

Las levaduras son uno de los microorganismos más usados por el hombre. Hoy en día su aplicación dentro de la industria alimentaria para la producción de bebidas alcohólicas, además de la industria farmacéutica es extraordinaria. Las levaduras son organismos heterotróficos eucariontes pertenecientes al reino Fungi; sin embargo, estas no generan grupos filogenéticos o taxonómicos. Su tamaño puede variar entre los 3 a 15 μm dependiendo tanto de su género o sus condiciones de cultivo. Y su apariencia se asemeja a un elipsoide rotatorio, aunque este puede tener variaciones que va desde una forma redonda a una forma filamentosa elongada. Su composición química va a depender de muchos factores como la cepa, género, condición de cultivo, su nutrición, entre otros; sin embargo, el componente principal dentro del protoplasma es el agua (65-80%). Además de componentes nitrogenados (45-60%), carbohidratos (15-37%), lípidos (2-12%) y compuestos minerales (6-12%) dentro de su peso seco (25).

Las paredes celulares de estos organismos son robustos, fuertes y flexibles, además de poseer una composición distinta a la de las plantas y bacterias. El espesor de estas paredes puede variar entre 100 a 400 nm y la mayoría de estas pueden consistir en un complejo polímero heterogéneo, compuesto por más del 90% de glucano, proteínas, manano y quitina. Adicionalmente dentro de las paredes de este microorganismo se observó la presencia de

diferentes enzimas como invertasa, fosfatasa, proteasas, entre otras. Igualmente se aprecia que la apariencia de las colonias de levadura puede variar en función de la cepa y el género. Esto se debe en parte a la composición del medio de nutrientes, las condiciones de incubación (temperatura, humedad, entre otros factores), la morfología, tamaño celular, cambios genéticos y la formación de esporas. Con frecuencia, se describen las colonias de levaduras como lisas, rugosas o mucilaginosas. A pesar de estas variaciones, las colonias tienden a mostrar una menor resistencia al entorno externo y una complejidad menor en comparación con los biofilm que se forman en condiciones naturales. Sin embargo, las agrupaciones de levaduras se utilizan como muestras para crear modelos de investigación sobre las interacciones y señales que se producen entre diferentes microorganismos dentro de comunidades multicelulares (25).

1.3.2.1. Fase de crecimiento de la levadura

Para comenzar es fundamental destacar que las levaduras tienen dos métodos distintos de reproducción. El primero es la gemación asexual, que es el método más común de reproducción vegetativa en las levaduras. El segundo es el apareamiento de células haploides de diferentes tipos, que pueden propagarse de manera vegetativa o en situaciones de escasez de nutrientes, induciendo a la formación de esporas (26).

Comprender el metabolismo es esencial para una comprensión más profunda de los diferentes aspectos del crecimiento de las levaduras. Al hablar de metabolismo, nos referimos a la asimilación bioquímica de nutrientes por parte de las células que se realiza a través de rutas anabólicas, así como a la disimilación de nutrientes a través de rutas catabólicas. Las levaduras, al igual que otros organismos, llevan a cabo procesos mediante reacciones enzimáticas y regulación de las rutas subyacentes. Las rutas anabólicas implican procesos reductores que resultan en la formación de nuevo material celular. Mientras que las rutas catabólicas son procesos oxidativos que retiran electrones de sustratos o intermediarios, utilizados para generar energía. La utilización de NADP o NAD como cofactores es esencial para llevar a cabo estos procesos (27).

Cuando se trata del cultivo de levaduras para la fermentación de la cerveza, estas células siguen un patrón de crecimiento que se puede predecir y dividir en cuatro etapas (*Figura 1*); (i) Fase de estancamiento, (ii) fase logarítmica, (iii) fase de desaceleración y (iv) fase estacionaria. Profundizando más en cada una, la primera fase no ocurre el crecimiento, puesto que las levaduras recién se están desarrollando y adaptando al medio. Dentro de la

segunda etapa las células crecen y se dividen rápidamente impulsadas por los nutrientes en el medio, en relación con el número de las células; y los desechos se diluyen lo suficiente para pasar a ser insignificantes. Es aquí donde la tasa de crecimiento sigue una cinética de primer orden. Conforme aumenta el número de células, el crecimiento comienza a disminuir (fase de desaceleración) debido a la influencia de diferentes factores, como la disponibilidad de sustrato y la acumulación de desechos. Finalmente, las células de levadura alcanzan la etapa estacionaria, donde no hay crecimiento debido a una alta concentración de desechos o al agotamiento total del sustrato (28).

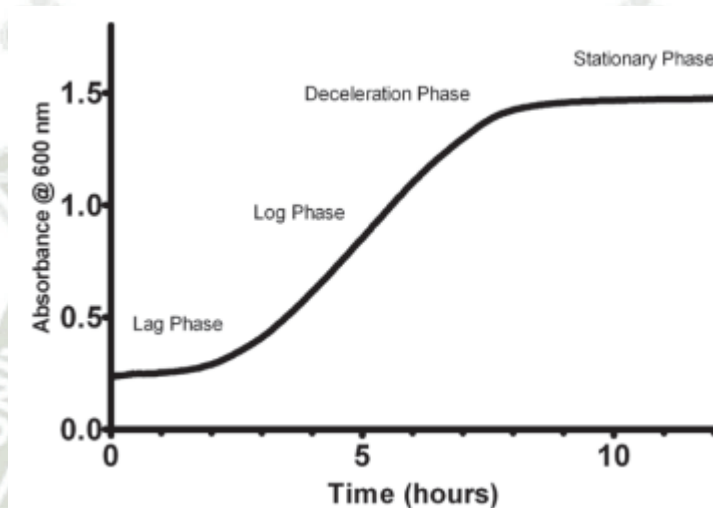


Figura 1: Curva de crecimiento típica *Saccharomyces cerevisiae* en medio YPD a 30° por 12 horas con medición de datos cada dos minutos (28)

1.3.2.2. Levaduras para la elaboración de cerveza

Como fue mencionado anteriormente, las levaduras son hongos unicelulares que se reproducen por medio del proceso de gemación y estas presentan muchas clasificaciones. Sin embargo, todas las levaduras empleadas en la elaboración de cerveza son miembros del género *Saccharomyces* (16).

Es así como, para llevar a cabo la fermentación de bebidas sea a gran o pequeña escala, entre lo que es la producción de cerveza, vino o bebidas destiladas. El uso de cepas puras seleccionadas de *Saccharomyces* spp., es común. Dentro de este género se encuentran especies cruciales para la industria alimentaria, como *Saccharomyces cerevisiae* (vinificación y cerveza tipo ale), *Saccharomyces bayanus* (vinificación y sidra) y *Saccharomyces pastorianus* (cerveza lager). En el sector cervecero este género de levadura es comúnmente dividido en dos grupos generales, aquellas levaduras que producen cerveza ale y aquellas que producen cerveza lager; o en otras palabras levaduras de fermentación alta y fermentación baja. En caso de la *S. cerevisiae* esta es considerada una levadura de

fermentación alta, debido a que estas se reúnen en la parte superior del mosto en fermentación. Es decir que la diferenciación de estas se realizó siguiendo su propiedad de floculación (29).

En el mundo cervecero alrededor del 90% del mercado es representado por las cervezas tipo lager, mientras que las cervezas ale representan un 5% de este, y el otro 5% son aquellas elaboradas por fermentación espontánea (levaduras y bacterias autóctonas). Las cepas de *S. cerevisiae* como fue mencionado, son usadas para las cervezas tipo ale debido a que su fermentación se lleva a temperaturas entre 15 a 25°C. Por otro lado, las cervezas tipo lager se producen con levaduras *S. pastorianus* pues su temperatura de fermentación oscila entre 8 a 12°C. Es decir que, el éxito de una producción se basa en la cepa de levadura usada, además de su vigor y vitalidad. Esto pues no solo agrega eficiencia en el proceso de fermentado, sino también en el aroma y sabor de la bebida final (29).

1.3.2.3. Calidad y Manejo de la levadura

Tomando énfasis a lo anteriormente mencionado, tener en cuenta los parámetros de control de un proceso ayudan a obtener un resultado óptimo. Por lo que, mencionar los factores para llevar la levadura a un desarrollo correcto es importante. Se encuentran seis factores cruciales para este proceso, (i) Presión osmótica, fundamental para evitar entornos con concentraciones de solutos excesivamente altos o bajos así prevenir la ruptura o contracción de la membrana celular; pues el estrés osmótico puede afectar la velocidad de fermentación, así como la supervivencia celular. (ii) Temperatura, pues a elevada medida pueden generar reducción en la materia viva, lo que conduce a un endurecimiento de membrana, y en caso de bajas temperaturas se puede generar una inactividad celular, lo que conlleva al detenido de su crecimiento. (iii) Dsecación, siendo una de las principales causas de inactividad e inhibición del crecimiento. (iv) Luz, pues para cualquier organismo que no posee clorofila o algún pigmento que le permita aprovechar la energía de la radiación, puede resultar dañina. (v) pH, cuando se habla de rango óptimo de desarrollo para microorganismos se habla de rangos entre 4 y 5. Sin embargo, las levaduras poseen la capacidad de tolerar entornos más ácidos que otros microorganismos. Y por último (vi) Alcohol, debido que el etanol puede generar un impacto en la célula que resulta en inhibición de crecimiento y reducción de viabilidad, lo que para las levaduras resulta en una inhibición de la fermentación a partir del 8%. Por lo cual se menciona que no es favorable finalizar la fermentación a un elevado grado alcohólico (30).

1.3.3. Agua

El agua representa del 85-90% del volumen de cualquier tipo de cerveza, por lo que el contenido mineral de esta para la producción tiene un gran efecto en cuanto al sabor y apariencia del producto. Dependiendo del tipo de cerveza cierto tipo de agua es correcta, esto puede ser en cuanto a minerales específicos. Si bien de manera geológica es posible encontrar diferentes fuentes de agua, como lo son pozos o manantiales que pueden adecuadamente servir para el proceso cervecero; no obstante, para muchos la alternativa de tratamiento mineral antes de su uso es mejor. Y esto es debido a que muchas de las aguas potables frescas tienen las propiedades de ser muy carbonatadas, duras, contaminadas, hervidas, sedimentadas, entre otras. Cuando se habla de agua para el proceso de cerveza esta debe ser clara, brillante, sin contaminación y presentar un sabor agradable al paladar, con una composición uniforme (no corrosiva, inolora, no dejar sedimento) (31).

Se conoce que el agua recoge minerales al entrar en contacto con rocas o el suelo, los cuales pasan a ser iones debido a la pérdida o ganancia de moléculas. En diferentes partes del ecosistema es posible encontrar variedad de agua. Se puede obtener agua dura (altas cantidades de iones calcio y magnesio) y agua suave o blanda (mínimas cantidades de sales). Según el comentario de muchos cerveceros, el uso de ambos tipos de agua es posible para lograr una cerveza de calidad; sin embargo, es importante tomar en cuenta como ciertas sales minerales suelen adaptarse mejor a ciertos estilos y colores deseados para el producto final. Por ejemplo, la cerveza Pilsener es generalmente elaborada con agua suave de Pilsen. Es, así pues, como dependiendo de lo deseado es posible aumentar o reducir la dureza del agua. Para lograr aumentar el contenido de Ca^{+2} y Mg^{+2} se agrega cloruro de calcio, sulfato de calcio, carbonato de calcio, sulfato de magnesio o hidróxido de calcio. Caso contrario que es reducir la dureza del agua, donde es requerido procesos más elaborados. Sin embargo, no todas funcionan para todo tipo de dureza, entre las opciones se encuentra, hervido, dilución en agua destilada, osmosis inversa o agregar cal para encurtir (32).

1.3.3.1. Efecto de la alcalinidad

Como bien se mencionó, el agua forma gran parte de la cerveza. Uno de los iones más relevantes a tomar en cuenta es el calcio, esto debido a que durante el proceso de maceración este reacciona con el fosfato de la malta lo cual puede significar en cambios de pH. No obstante, para que las enzimas puedan trabajar de manera adecuada, el pH del medio debe encontrarse óptimo (5.2-5.4), y para evitar que el rango se salga de lo permitido Kolbach generó una ecuación la cual determina si el pH aumentara o bajara. A la cual se le denomina

alcalinidad residual (RA). Cuando el resultado de la ecuación da cero representa que no se dará cambio en el pH, un resultado positivo dará un aumento y uno negativo una disminución en este. El contenido de calcio para el proceso de maceración puede ser influenciado ya sea con sulfato de calcio o cloruro de calcio (33).

Por otro lado, tenemos a los iones de magnesio, que no presentan una influencia grande en el pH para el agua cervecera, debido a que los fosfatos de magnesio son más solubles. Sin embargo, en cuanto al sabor final es recomendable no usar altos niveles de sales de magnesio. De igual manera, ocurre para las sales de sodio, debido a su gran solubilidad no presentan cambios grandes el pH. Ahora, si hablamos de aniones, el cloruro debe ser mencionado, debido que este presenta un papel en la corrosividad del agua, aunque bien es sabido que eso no ocurre cuando el agua ya se encuentra mezclada con el mosto. A pesar de esto, es importante mencionar que aquellas cervezas que contienen predominantes cantidades de aniones de cloruro suelen tener un sabor más suave. Finalmente, pero no menos importante, se encuentran los sulfatos. Estos no son considerados malos, incluso se comenta que elevadas cantidades pueden facilitar la formación de sulfitos; los cuales actúan como eliminador de oxígeno, disminuyendo así el potencial de envejecimiento. Además, se asocia una gran cantidad de sulfatos con un pronunciado sabor amargo en la cerveza (33).

1.3.4. Lúpulo

El lúpulo por su nombre científico "*Humulus lupulus*" es conocida como una planta perteneciente a la familia de *Cannabaceae*. Esta presenta un origen en el suroeste de Rusia, más con las constantes migraciones durante la historia, el cultivo de lúpulo y su uso en el proceso de cerveza se fueron extendiendo al continente europeo y se obtienen sus primeros registros en el siglo VII (34).

Esta planta como fue mencionado es uno de los ingredientes esenciales al momento de elaborar cerveza, de la cual es mayormente usada su inflorescencia femenina. Pues es gracias a esta que la cerveza adquiere sabor y aroma, proporcionando además una amargura agradable. Aparte de ser responsable de agregar características sensoriales, el lúpulo hace parte como agente antibacteriano y esporicida tanto al mosto como a la cerveza final; debido a los compuestos principales de esta (humolona, lupolona y polifenoles). El efecto amargo de esta bebida se adquiere cuando el mosto y el lúpulo hierven juntos, lo cual lleva a la isomerización de los α -ácidos (humolona) de la resina, en iso- α -ácidos (35). Dependiendo mucho del pH de la cerveza o mosto, las isohumulonas pueden llegar a ser 28 a 250 veces

más solubles de que los α -ácidos. Sin embargo, se encuentran muchos factores que influyen en la isomerización (pH, fuerza de mosto, frescura de lúpulo, composición de mosto, tasa de adición), aunque el tiempo de contacto que se tiene con el mosto caliente y la temperatura son los principales. La estrategia más comúnmente utilizada para incorporar lúpulos se da en el proceso de ebullición de mosto, conocida como “kettle hopping”. Etapa donde estos son incorporados al comienzo de la ebullición. La eficacia esperada para lúpulos en cono y pellets varía entre 24-40% para una adición de 60 minutos. Es así, como, generalmente las cervezas que únicamente fueron sometidas a kettle hopping tienden a tener un aroma a lúpulo sutil. Debido a que muchos de los compuestos volátiles característicos se pierden a causa de la volatilización, oxidación o eliminación mecánica durante la ebullición (36).

Durante los últimos 5 a 10 años muchos cerveceros se atrevieron a experimentar con estilos de cerveza que presenten aromas de lúpulo considerablemente más intensos de los que ya se encontraban. Por lo que, para lograrlo se exploraron diversas técnicas de adición con el enfoque particular de mejorar los aspectos aromáticos. Primeramente, tenemos al lúpulo incorporado al final de la ebullición del mosto, lo que se conoce como “kettle hopping tardío” o más adelante como Whirlpool o hop back. Donde se experimenta una reducción en el amargor (5-20%), esto debido a que se encuentra menos tiempo de contacto con el mosto caliente. Sin embargo, esta conserva en mayor medida los compuestos volátiles responsables del aroma. Otra táctica popular empleada para realzar el aroma del lúpulo, mientras se reduce el amargor derivado de las isohumulonas es conocida como “dry hopping”. Esta técnica consiste en la adición de lúpulo durante o después de la fermentación. Es conocido ya que, de manera histórica, los cerveceros acudían a esta técnica para mejorar la estabilidad microbiana y el sabor de la cerveza. Sin embargo, hoy en día los cerveceros artesanales suelen usar el dry hopping casi el doble (36).

1.3.4.1. Efecto “Lightstruck”

La estabilidad de la cerveza se asocia crucialmente con los iso-alfa-ácidos y los compuestos fenólicos. Estos iso-alfa-ácidos en parte contribuyen a generar sabores desagradables vinculados al envejecimiento, como rancidez y sabor a cartón. Un fenómeno conocido desde hace tiempo es la degradación de la cerveza cuando esta se expone a la luz. Proceso que ocasiona como resultado un sabor similar al de una mofeta, por cual es crucial el almacenamiento de esta en envases opacos (latas, botellas verdes o marrones) para evitar la transmisión de la luz a través del vidrio. El cromóforo sensible a la luz en las isohumulonas es el grupo acilo; compuesto por la función de alcohol terciario en C (4) y el grupo carbonilo

en la cadena lateral en C (4). Es así como la vulnerabilidad de los iso-alfa-ácidos conduce a la formación del conocido “sabor a luz” o “lightstruck” (37).

1.4.Proceso de elaboración

1.4.1. Malteado

Este es conocido como el primer paso para llevar a cabo una producción de cerveza. La malta contiene gran variedad de carbohidratos, compuestos por celulosa insoluble y hemicelulosa soluble; dextrinas, almidón y azúcares. Sin embargo, es el almidón el que representa la mayor parte del peso de la malta (50-60%). Para poder lograr ese almidón y convertirlo en azúcares la cebada debe pasar por este proceso denominado malteado. Este pues, consiste en hacer remojar la cebada en agua para germinar. Debido a esto es que se activa el desarrollo de enzimas diastáticas dentro de la semilla, además de iniciar el proceso de liberación de almidones al endospermo; en otras palabras, convierte su almidón almacenado en azúcares. Es así como la malta clara y pálida llega a representar hasta el 100 % de la mezcla de granos de un cervecero (dependiendo del estilo). El fin de esta malta clara es aportar las enzimas diastáticas y algunos azúcares fermentables. No obstante, existen diferentes tipos de malta, las cuales se les conoce como especiales, las mismas se elaboran calentando la malta clara en un horno hasta que se doren (el tiempo depende del tipo). Algunas ocurren por medio de reacciones Maillard, lo que lleva a un acentuado de sabor malteado y tostado. Otras; sin embargo, se logran remojando la malta en agua tibia, lo que activa las maltas para comenzar con la producción de azúcar, más no pueden seguir creciendo. Aun así, cuando estas se secan y tuestan son una gran fuente de sabor de malta caramelizada, toffe y tostada. Pero, es importante resaltar que, el tostado de la malta reduce su poder diastático (38).

1.4.2. Macerado

Para iniciar con el proceso de maceración, se hace una mezcla del grano molido de malta con agua a una temperatura predefinida; lo cual lleva a la formación del mosto. Este mosto es después calentado a temperaturas optimas y se deja reposar. En general se conocen dos técnicas de macerado. La primera consiste en calentar todo el mosto según una trayectoria predefinida conocida como maceración por infusión; o la segunda que consiste en aumentar la temperatura del mosto, retirando, hirviendo y devolviendo partes de este, conocido como maceración por decocción. Es importante tener en cuenta la temperatura debido a que una descomposición considerable del almidón a temperaturas puede causar gelatinización, lo cual expone los sitios de unión de las enzimas. En otras palabras, a medida que la

temperatura aumenta, la actividad enzimática acelera; sin embargo, también lo hace la tasa de desnaturalización enzimática. De manera técnica, la conversión de almidones en azúcares fermentables en el proceso de macerado depende de las enzimas (alfa-amilasa y beta-amilasa). La degradación de almidón comienza con la acción de las alfa-amilasas a una temperatura optima de 72-75°C y un pH de 5.6 – 5.8, el cual tiene un rango más amplio que las beta-amilasas; con una temperatura optima a 60-65 °C y un pH de 5.4 – 5.5. Así pues, al final del proceso de maceración es crucial separar la solución acuosa del mosto, Para esto se lleva a cabo la filtración, proceso que se logra con tinas de lauteración/filtrado o en filtros de maceración. En la lauteración la separación completa se logra mediante el lavado de granos con agua; mientras que, en los filtros de maceración, se recupera el extracto adsorbido en los granos mediante el uso de telas filtrantes (39).

1.4.3. Hervido de mosto

Después de haber llevado a cabo la separación de los sólidos residuales del mosto; este se hierve con lúpulo. Todo este proceso lleva entre 90 a 120 minutos, dentro de los cuales se llevan a cabo los procesos de inactivación de enzimas, esterilización, precipitación de proteínas, evaporación de agua y volátiles no deseados, isomerización del alfa ácidos del lúpulo y la formación de compuestos de sabor por medio de la reacción de Maillard. Por otro lado, durante este proceso algunos cerveceros suelen agregar, canela, clavo de olor o cáscara de naranja. O en algunos casos, adjuntos de azúcar, como sacarosa y caña de azúcar; los cuales lo usan como extensores de mosto, es decir que aumentan el extracto. Finalmente, una vez terminado el tiempo, el mosto se airea y está listo para la inoculación con levadura (39).

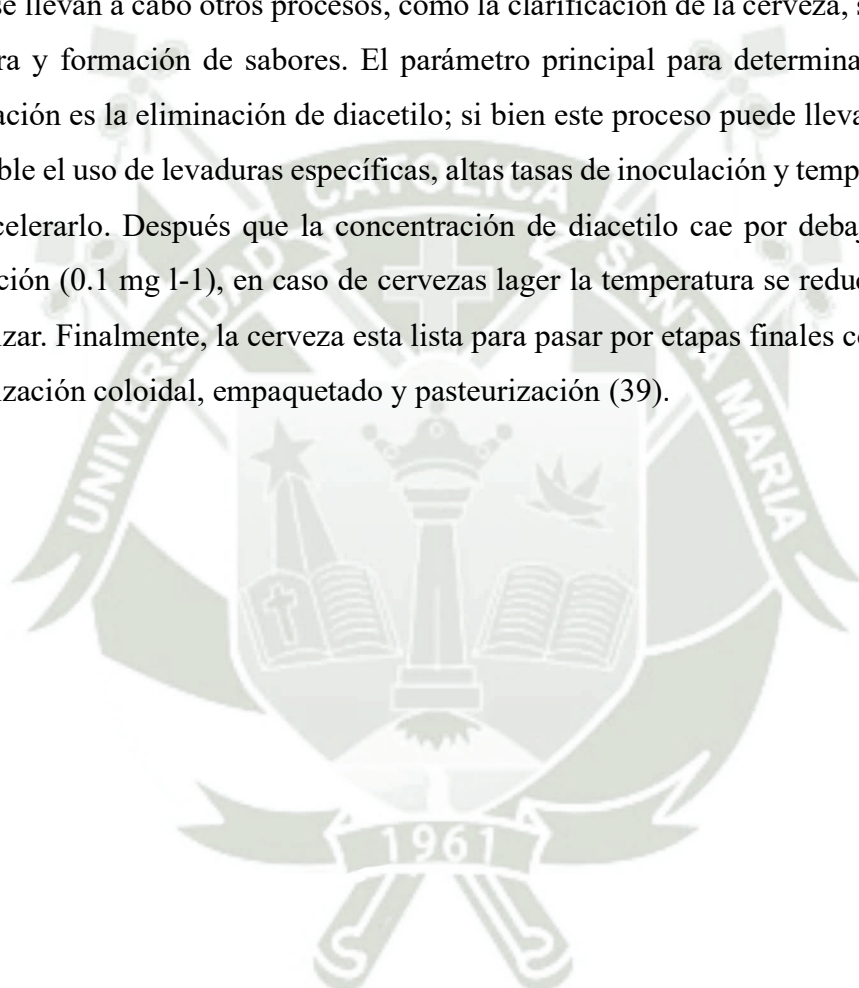
1.4.4. Fermentación del mosto

Una vez terminado el aireado y enfriado del mosto, este debe ser inoculado lo más rápido posible para evitar contaminación. La tasa de siembra común es aproximadamente de $15 \text{ a } 20 \times 10^6$ células por ml. Las cerveceras pequeñas suelen hacer uso de fermentadores abiertos, mientras que las cerveceras grandes hacen uso de cilindros cónicos cerrados de acero inoxidable. Los cuales ofrecen mejor productividad y buenos estándares de higiene, además de proporcionar ventajas operativas mediante el control de temperatura y presión. La cantidad de mosto fermentado determina la atenuación del mosto, el cual indica el curso de la fermentación. Los mostos regulares suelen contener hasta un 80% de extracto fermentable; sin embargo, para obtener una formación suficiente de CO₂ disuelto durante la fermentación es importante que aproximadamente el 10% de este extracto no esté

fermentado. Una fermentación primaria se logra en unos 5 a 7 días; sin embargo, la duración dependerá de la medida de extracto original del mosto, la temperatura de fermentación (7-15°C para lager) y la fisiología de la levadura (39).

1.4.5. Maduración

Durante este proceso el extracto residual es agotado para formar CO₂; y así mismo eliminar algunas sustancias volátiles no deseadas como aldehídos y compuestos de azufre. De igual modo se llevan a cabo otros procesos, como la clarificación de la cerveza, sedimentación de levadura y formación de sabores. El parámetro principal para determinar el estado de la maduración es la eliminación de diacetilo; si bien este proceso puede llevar varias semanas es posible el uso de levaduras específicas, altas tasas de inoculación y temperaturas elevadas para acelerarlo. Después que la concentración de diacetilo cae por debajo del umbral de percepción (0.1 mg l⁻¹), en caso de cervezas lager la temperatura se reduce, para aclarar y estabilizar. Finalmente, la cerveza esta lista para pasar por etapas finales como la filtración, estabilización coloidal, empaquetado y pasteurización (39).



1.5. Variables e Indicadores

Las variables de estudio en la evaluación de cerveza artesanal generada con diferentes concentraciones de lúpulo fueron las cantidades de este, la proporción lúpulo nuevo y lúpulo reutilizado. En la *Tabla 1* se aprecia las variables analizadas, indicadores y método de determinación.

1.5.1. Variable independiente y dependientes

Tabla 1: Matriz de consistencia de variables independientes y dependientes

VARIABLE	TIPO	INDICADOR	MÉTODO DE MEDICIÓN
Concentración de lúpulo reutilizado	Independiente	0%, 25% y 50%	Calculado según peso
% de humedad de lúpulo recuperado y nuevo	Dependiente	$\leq 12\%$ lúpulo fresco (Reglamento Delegado 2024/602)	Método gravimétrico (deshidratación y pesado)
% proteína	Dependiente	Concentración de proteína en %	Método Kjeldahl
pH	Dependiente	3.5 – 5.0 (Norma Técnica INEN 2 262:2003)	Medidor pH digital
IBU	Dependiente	25 – 45 IBU (Valor estándar de cerveza Red Ale)	Espectrofotometría con iso-octanos
% alcohol (ABV)	Dependiente	5-8%	Medición de densidad antes y después de la fermentación
Olor	Dependiente	Análisis sensorial rango 1-5	Cata con evaluaciones descriptivas
Textura	Dependiente	Análisis sensorial rango 1-5	Cata con evaluaciones descriptivas
Sabor	Dependiente	Análisis sensorial rango 1-5	Cata con evaluaciones descriptivas
Amargor	Dependiente	Análisis sensorial rango 1-5	Cata con evaluaciones descriptivas



CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales y Equipos

2.1.1. Equipos

- Molino de acero inoxidable
- Cocina
- Embotelladora manual
- Freezer horizontal
- Horno pequeño

2.1.2. Instrumentos

- Balanza
- Vasos de precipitado 50 ml
- Varilla
- pH metro digital
- papel filtro
- tela filtrante
- Probeta 500 ml
- Densímetro
- Termómetro
- Funda maceradora
- Olla de acero inoxidable (60 L)
- Baldes de fermentación (30 L)
- Serpentin
- Colador cónico
- Embudo
- Airlock
- Colador de cuchara
- Tira de espuma de polietileno aluminizada
- Bombas de agua
- Tubos de agua
- Botellas de 350 ml
- Chapas corona
- Bolsas aluminizadas
- Cepillo de plástico

- Rociador

2.1.3. Insumos cerveceros

- Malta Pale Ale
- Caramel Aromatic
- Caramel Pils
- Caramel Amber
- Black Malt
- Lúpulo East Kent Golding
- Levadura S-04
- Protafloc
- Miel
- Azúcar rubia
- Avena tostada
- Agua de mesa
- Gelatina sin sabor

2.1.4. Reactivos

- Alcohol 70%
- Agua destilada
- Ácido cítrico
- Bicarbonato de sodio
- Dextrosa

2.2. Metodología

La elaboración de las tres tandas de cerveza se llevó a cabo en un periodo de 5 meses. Las cuales siguieron una receta y procedimiento base. El diagrama de bloques del proceso se expone en la *Figura 2*. En el *Anexo 1* se aprecian los insumos utilizados y los precios vistos de cada uno.

2.2.1. Procedimiento de elaboración de cerveza artesanal estilo Red Ale

El primer paso fue la producción de una tanda (0%) de la cual se obtuvo el lúpulo que se usó para la elaboración de los siguientes lotes (50%, 25%). Esta producción se llevó a cabo en una planta de 50 L aproximadamente; sin embargo, se obtuvo un volumen final de 37 L aproximadamente, debido a que los procesos de hervor redujeron al menos en un 26% el volumen inicial de cerveza intencionada para el proceso.

2.2.1.1.Recolectado de agua y ajuste de pH

Se recolectó agua en 2 ollas de 50 litros (28 L en cada una) un día antes de la producción, lo cual permitió eliminar el cloro presente. Con ayuda de un pH metro digital se ajustó el pH entre 5 y 5.5 con ácido cítrico. Haciendo uso de bicarbonato de sodio si este bajaba mucho.

2.2.1.2.Molido de Malta

Debido a que los insumos fueron solicitados a un proveedor cervecero para una receta específica, las cantidades de malta a usar se encontraban ya tratadas y pesadas para su uso. En este caso, solo fue necesario el proceso de molienda para poder exponer el almidón. Se hizo uso de un molino, al cual se le adaptó un taladro para eficiencia y rapidez en el proceso. La receta hizo uso de 5 tipos diferentes de malta, los cuales se molieron individualmente.

2.2.1.3.Hervor de agua cervecera

Mientras se realizó el proceso de molienda, la olla destinada a lavado se dejó calentando, hasta que esta alcanzó una temperatura de 80°C.

2.2.1.4.Macerado

En la segunda olla contenida de 28 L de agua previamente calentada, se colocó una malla de maceración, la cual facilitó el proceso posterior de lavado y separación de malta con el agua. Las cuatro primeras maltas molidas se colocaron poco a poco en la olla, procurando hacer un batido constante con un colador de cuchara. Debido a que todo el proceso se realizó a una temperatura de 70 °C, se hizo uso de una tira de espuma de polietileno aluminizada que cubrió todos los alrededores de la olla, para lograr mantener la temperatura constante.

Entre tanto, en un recipiente se recolectó por medio de la llave de la misma olla un poco del agua donde se encontraba el macerado para ir monitoreando el proceso. Se dejó reposar la malta en el agua para continuar con la maceración por unos 20 minutos. Pasado el tiempo se agregó la última malta (Caramel Amber) y 500 gr de avena tostada. Se volvió a revolver todo y se dejó macerar 50 minutos extra. Seguido a esto, se procedió a ensamblar el proceso de “recirculado”, para obtener más efectividad en el proceso.

2.2.1.5.Reciclado o lavado

El proceso de lavado se realizó con el agua depositada en la primera olla; este pasó por medio de un sistema de tuberías a la segunda olla. Sin embargo, como anteriormente se había llevado a cabo el proceso de recirculado; el mosto que se encontraba en esta segunda olla fue empujada por un sistema de bomba y tubos a la tercera olla, antes de iniciar el proceso de lavado. Esto con el fin de poder mover mayor cantidad de azúcares de la maceración a la

olla de hervido. Se tomó en cuenta que la tercera olla se llenó a unos 5 a 6 centímetros menos del ras, pues esta al momento de hervir empezó a rebalsar.

2.2.1.6.Cocción del mosto

El proceso de cocción del mosto fue de los más largos. La cocinilla se encontraba a fuego alto. Mientras se esperaba que este entre en punto hervor de 95°C, se pesaron 65 gr de lúpulo. Intencionados en hervir por 60 minutos, los cuales se agregaron (a un colador cónico) de manera gradual luego que el mosto paso 15 minutos en hervor. En el minuto 30 se agregó 1 kg de azúcar rubia, y en el minuto 20 se incorporó 250 gr de miel de abeja. Unos 5 minutos después, se adicionó 5 gr de Protafloc anteriormente activados, y se dejó 15 minutos más. Finalmente, el lúpulo inicialmente colocado se retiró y almacenó. Por otro lado, se pesaron los últimos 20 gr de lúpulo que se adicionaron a otro colador, más este se dejó solo por 20 minutos antes de retirarlo y almacenarlo igualmente.

2.2.1.7.Enfriamiento

Una vez apagada la estufa, se esperó que la temperatura del mosto baje con ayuda de la temperatura del entorno. Desde el momento que se empezó el enfriado del mosto, se arrancó a llenar una olla con agua fría y a preparar el sistema de funcionamiento del serpentín. Una vez que el mosto llego a 50°C, se introdujo el serpentín y se conectó el sistema de tubos a la olla previamente llenada con agua fría, para acelerar el enfriado. A unos 30 minutos con el sistema el mosto optó una temperatura de 20° C, ideal para empezar el traslado del mosto a los baldes

2.2.1.8.Fermentación

Se preparó un sistema de tubos impulsados por una bomba, para ayudar con el proceso de traslado a los baldes de fermentación. Se preparó anticipadamente, además, en un recipiente 11.5 g de levadura con mosto, para activarlo. Inicialmente se colocaron los tres baldes uno al costado del otro, y se conectó el sistema de tubos a la olla contenida de mosto. Al otro extremo (al final del tubo) se añadió una tela de maceración pequeña, que sirvió para atrapar cualquier impureza. El recipiente contenido con levadura fue repartido en otros 3 recipientes diferentes de manera equitativa, para después ser agregados cada uno a los baldes. Se homogenizó y se procedió al cerrado de cada balde. Se prepararon 3 airlock llenados con alcohol al 70% y se colocaron en las tapas. Los baldes se dejaron fermentar a temperatura ambiente (22°C) por 7 días. Más al quinto día se agregó 20 gr de gelatina diluida por litro de mosto.

Pasada la semana se realizó un trasvase a 2 baldes nuevos, con el mismo sistema de tubos anteriormente mencionado. En cambio, esta fermentación se llevó a temperatura de 12°C por otros 7 días.

2.2.1.9. Envasado

Para el proceso de envasado, se inició se esterilizando las botellas con alcohol al 70% un día antes. El día del trasvase, empezó transfiriendo la cerveza contenida en los baldes de fermentación a un balde adaptado para el llenado de botellas; usando el mismo sistema de tubos y malla de maceración para evitar las impurezas. Mientras se realizaba el traslado, se pesó 280 gr de dextrosa, para ser diluido en agua y posteriormente ser agregados al balde con el resto de la cerveza.

A cada una de las botellas de les roció alcohol por fuera y se llevaron a enchapar, para después ser distribuidas en cajas. y almacenadas.

2.2.1.10. Almacenamiento

Por último, las botellas se dejaron por 15 días a temperatura ambiente en un lugar sin sol, para posteriormente almacenarlas en una refrigeradora a 4°C.

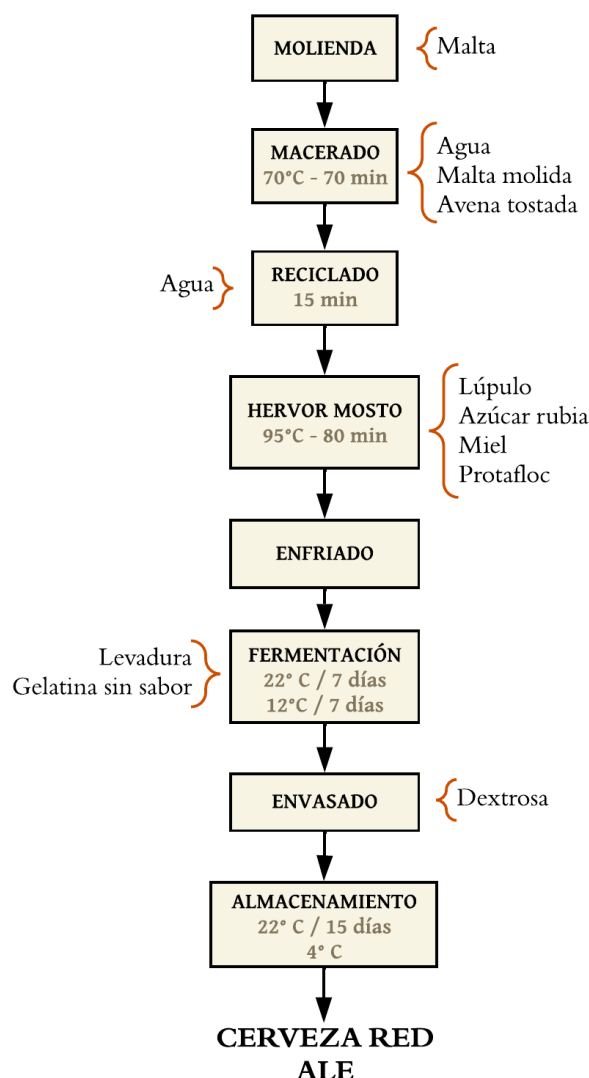


Figura 2: Diagrama de bloques de la elaboración de cerveza estilo Red Ale

2.2.2. Recolección y procesamiento de lúpulo a reutilizar

Para la recolección del lúpulo dentro de la tela filtrante. Este se recuperó de la olla y vertió en un embudo colocado con papel filtro. Se procedió al lavado 3 veces con 1 L de agua destilada fría. Una vez enjuagado, el lúpulo fue colocado en una bolsa aluminizada para congelado y almacenado a -18°C . Este procedimiento se siguió de acuerdo con lo realizado en la investigación “Second life of hops” (7).

Debido a que el lúpulo recuperado presentaba un contenido de humedad alto, se llevó a cabo un proceso de secado, para asegurar conseguir el peso real de este para las tandas 50% y 25%. Por lo que, se colocó este en una bandeja de horno de manera uniforme y se secó a 60°C entre 1 a 3 horas, moviéndolo cada 15 minutos. Posteriormente, se volvió a colocar en

bolsas aluminizadas y se almacenó a -18°C . El proceso de secado se llevó a cabo usando la guía “Oven drying hops” (40).

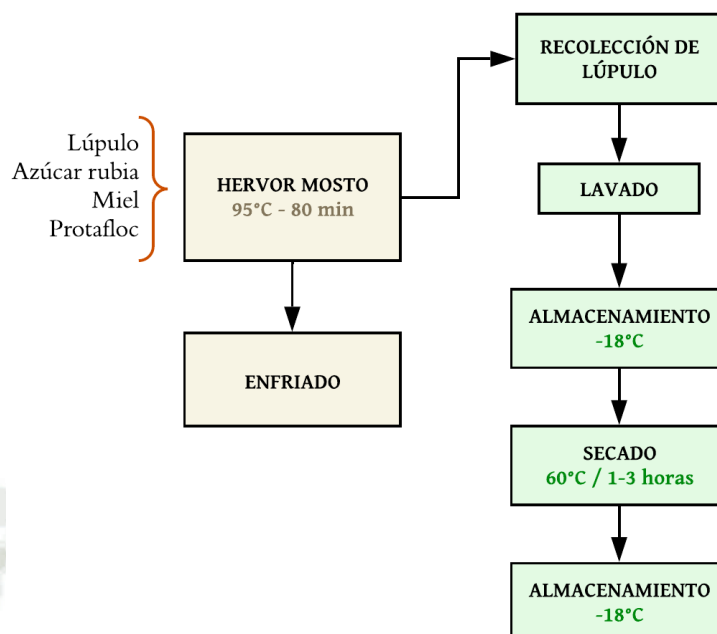


Figura 3: Diagrama de bloques del proceso de recolección y procesado del lúpulo

2.2.3. Distribución de lúpulo en tandas de cerveza artesanal estilo Red Ale

Todas las tandas de cerveza fueron elaboradas con la misma receta para Red Ale. Siguieron el mismo procedimiento descrito en el punto 2.2.1, mostrados en el diagrama de la *Figura 4*. En la *Tabla 2* se aprecia las distribuciones de lúpulo para la primera tanda. Lo alterado en las siguientes dos tandas fue la concentración de lúpulo reciclado y nuevo agregado, que se muestra en la *Tabla 3*.

Tabla 2: Distribución inicial de lúpulo en proceso de hervor considerando 85 gr de total usado y distribuido en 1 hora de hervor y 20 minutos de hervor respectivamente.

Concentración	Lúpulo total	Lúpulo (1 hora hervor)	Lúpulo (20 minutos hervor)
0%	85 gr	65 gr	20 gr

Tabla 3: Distribución de lúpulo reutilizado y nuevo en tandas de 50% y 25% considerando el agregado de 65 gr para 1 hora y 20 gr para 20 minutos de hervor.

Concentración	Lúpulo total	Lúpulo (1 hora) 65 gr		Lúpulo (20 min) 20 gr	
50%	85 gr	Nuevo 32.5 gr	Reutilizado 32.5 gr	Nuevo 10 gr	Reutilizado 10 gr

25 %		Nuevo 48.8 gr	Reutilizado 16.2 gr	Nuevo 15 gr	Reutilizado 5 gr
------	--	------------------	------------------------	----------------	---------------------

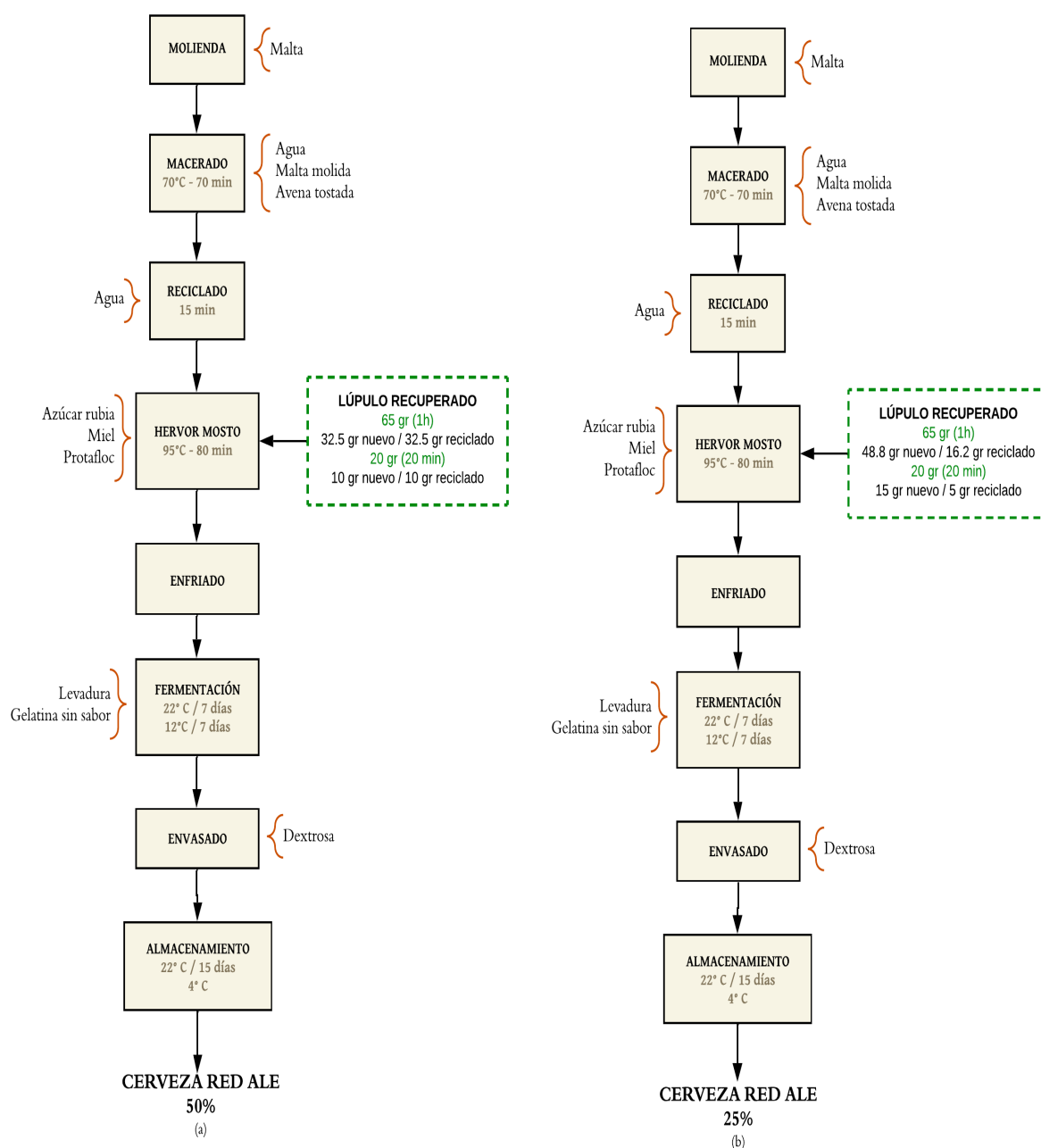


Figura 4: (a) Diagrama de bloques de la elaboración de cerveza estilo Red Ale con 50% de lúpulo reciclado; (b) Diagrama de bloques de la elaboración de cerveza estilo Red Ale con 25% lúpulo reciclado

2.2.4. Método de análisis a variables cuantitativas fisicoquímicas

En la *Tabla 4* se puede apreciar los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras obtenidas y el momento en el que se llevaron al cabo.

Tabla 4: Variables dependientes cuantitativas de cerveza estilo Red Ale

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	MOMENTO
pH	Potenciometría	Cerveza embotellada	Al final del experimento
% ABV	Densimétrico	Mosto antes y después de la fermentación	Durante el experimento
% Proteína	Kjeldahl	Cerveza embotellada	Al final del experimento
IBU	Espectrofotometría	Cerveza embotellada	Al final del experimento
% Humedad	Gravimétrico	Lúpulo recuperado (nuevo, 0%, 25%)	Al final del experimento

2.2.4.1. Determinación de pH

Este parámetro fue calculado 15 días después del envasado, usando un potenciómetro digital (1-14) con una muestra a temperatura de 20°. Los resultados fueron comparados con la Norma INEN 2 262:2003 (41). Además, se comparó con resultados encontrados en el estudio “Una valorización sostenible de lúpulo usado para dry-hopping” (42).

2.2.4.2. Determinación de alcohol

Este parámetro se calculó durante la preparación del mosto, usando un densímetro triple escala 1000-1170, empleando datos de densidad iniciada y finalizada la fermentación. Se interpretaron los resultados viendo similitudes obtenidas en el artículo “Una valoración sostenible de lúpulo usado para dry-hopping” (42).

2.2.4.3. Determinación de proteínas

El parámetro fue determinado pasado los 15 días después del envasado, haciendo uso del método Kjeldahl (43). Los resultados se interpretaron viendo las respuestas obtenidas del artículo “Análisis de contenido poli fenólico y proteico en cerveza artesanal (CA) e industrial” (44),

2.2.4.4. Determinación de porcentaje de humedad

Se determinó la humedad de lúpulo nuevo, 0% y 25%. Estos últimos pasaron por un proceso de secado previo al análisis gravimétrico (45). Los resultados de lúpulo nuevo fueron comparados con lo establecido por Reglamento Delegado 2024/602 (46). Mientras que, del lúpulo recuperado se buscaron similitudes en trabajos de investigación, como “Valorización de lúpulo reutilizado de dry hopping para el amargor de cerveza Pilsener” (47).

2.2.4.5. Determinación de amargor

Determinado a los 15 días del envasado, basándose en el uso de iso-octano y espectrofotometría a 275 nm (48). Los resultados fueron comparados con los estándares de IBU presentes en una Red Ale, así como, el comportamiento del lúpulo basándose en los datos obtenidos de la investigación *“El impacto de la frescura del lúpulo en cervezas lupuladas por Kettle hopping”* (49).

2.2.5. Método de análisis a variables cualitativas sensoriales

En la *Tabla 5* se puede apreciar los análisis organolépticos realizados a las muestras obtenidas y el momento en el que se llevaron al cabo.

Tabla 5: Variables dependientes cualitativas de cerveza estilo Red Ale

ANÁLISIS	MÉTODO	MUESTRA	MOMENTO
Sabor	Sensorial	Cerveza embotellada	Al final del experimento
Textura			
Olor			
Amargor			

2.2.5.1. Descripción del análisis sensorial-organoléptico

Al final del experimento se reunieron 2 grupos de cata constituidos por 5 personas. Se proporcionaron las cervezas (0%, 25% y 50%) de manera anónima y se evaluaron en escala del 1-5; donde 5 representaba la mejor característica. Se analizaron los resultados descriptivamente y con la ecuación de Friedman. Viendo además las valoraciones de cata obtenidas en diferentes estudios.

2.3. Campo de investigación

Esta investigación se enfocó en la biotecnología industrial, pues cuenta con un interés en la exploración y optimización de procesos de producción. Sobre todo, enfocados en cerveza. Se ofrecen herramientas para la mejora en la eficacia del proceso y así conseguir formas más sostenibles de producción.

Debido a que se hace uso de lúpulo reciclado en diferentes concentraciones, es que esta investigación se centra en el aprovechamiento de principios biotecnológicos; como la optimización del uso de recursos, además de disminuir el impacto de estos al medio

ambiente. El reúso de este bioproducto tan esencial en el proceso provee enfoques innovadores dirigidos a la sostenibilidad industrial. Estos enfoques se lograron por medio de los análisis tanto fisicoquímicos como organolépticos de lotes de cerveza, fabricadas con lúpulo reutilizado. Siendo así posible la generación de conocimientos científicos que sean posible aplicarse al día a día. Demostrando así, como la investigación enfocada en la biotecnología blanca llega a poseer un impacto en la optimización y mejora, sobre todo a la industria alimentaria.





CAPITULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Uso de lúpulo aromático (East Kent Golding) para amargor de cerveza (Kettle Hopping)

East Kent Golding (EKG) es un lúpulo inglés, conocido ampliamente por su particular aroma y sabor. Usado de manera extensa en cervezas inglesas, además de recetas artesanales. Presenta en su composición 4-6% de alfa ácidos, 1-3% beta ácidos y 0.6-1 ml/100gr de aceites totales (mirceno, humuleno, carofileno, entre otros) (50).

En este estudio se decidió usar un lúpulo aromático para el proceso de kettle hopping, debido a los rangos de alfa ácidos en su composición (4-6%), que logran aportar un amargor moderado característico de la cerveza elaborada (Red Ale). Aun así, es importante tener en cuenta que el proceso de hervor de este lúpulo puede afectar en amargor, aroma o desenvolvimiento posterior durante el reusó.

Durante el hervido se dio la isomerización de alfa ácidos, responsables del amargor. En la primera tanda se llevó un tiempo de hervido de 60 minutos, conduciendo a la degradación de estos compuestos; logrando un descenso del amargor de las posteriores tandas. Además, durante el hervido, compuestos como mirceno, humuleno o carofileno al ser volátiles se perdieron en grandes cantidades; bajando el aroma proporcionado. Caso igual para la lupulona (beta ácido), reduciendo su capacidad antimicrobiana.

Aun así, según el estudio *“Influencia de los ácidos alfa homólogos de lúpulo de variedades amargas y aromáticas en la calidad de la cerveza”* (51). Se menciona que el uso de lúpulos aromáticos para darle amargor a una cerveza es posible; además, demuestran que la cerveza final llega a tener más equilibrio y ser más agradables sensorialmente. En este estudio se trabajó con lúpulo aromático estilo Slovyanka (5.1% alfa ácidos) y Nationalnyi (5.5% alfa ácidos) para el proceso de kettle hopping. Estos, a pesar de contener menores porcentajes de cohumulona (resina responsable del amargor), los beta ácidos presentes jugaron un papel importante en la percepción de amargor. Pues cuando se da una buena relación beta ácidos/alfa ácidos, esta cohumulona se volverá eficiente, aportando un amargor suave y limpio; así como, un buen aroma a la cerveza final.

Es así como, según esto, si bien el proceso de hervor sería un efecto “negativo” al lúpulo, este reciclado, aún mantiene compuestos residuales que no solo aportarían amargor, si no aroma sutil. Es así como, el proceso de rehervir permitiría una extracción completa de estas resinas. A pesar de que la concentración y composición química se encuentre diferente al de

un inicio, el aporte residual de alfa ácidos, beta ácidos y aceites esenciales permitió la modulación del perfil de amargor, aroma y estabilidad.

3.2.Resultados análisis variables fisicoquímicas cuantitativas

Para llevar a cabo el análisis fisicoquímico se consideraron las muestras de cerveza 0%, 50% y 25%, las cuales se evaluaron 15 días después del envasado (pH, %ABV, IBU, % proteína). Además, se hizo análisis (% humedad) de lúpulo de paquete, lúpulo recuperado de la primera tanda (0%) y tercera tanda (25%); considerando el uso el tiempo de hervido utilizado en el proceso.

Los reportes de laboratorio obtenidos para IBU, % proteína, y % humedad de lúpulo se encuentran en los *Anexos 6–10*.

3.2.1. Contenido de Humedad (%)

Tabla 6: Análisis de laboratorio para % de humedad por gravimetría, de lúpulo nuevo, recuperado de tanda 0% y 25%

Muestra	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio $\pm$ Desviación E.
Lúpulo nuevo (0 min)	9.01	8.90	8.99	8.967 ± 0.041
LR (0%/60 min)	53.20	50.59	49.94	51.243 ± 1.220
LR (0%/20 min)	50.79	52.49	52.17	51.817 ± 0.639
LR (25%/60 min)	83.75	83.03	82.83	83.203 ± 0.342
LR (25%/20 min)	79.44	79.28	79.02	79.247 ± 0.150

El análisis de lúpulo recuperado fue realizado al final del experimento. Donde se agregó como muestra modelo lúpulo East Kent Golding nuevo (de paquete). Los resultados de las réplicas se aprecian en la *Tabla 6*. Para poder determinar las diferencias significativas se realizaron los cálculos estadísticos correspondientes.

Tabla 7: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de % de humedad.

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	VALOR -P
--------	----	----------------------	-------------------	---	----------

Grupos (entre grupos)	4	10579.7639	2644.941	3244.7961	1.665e-15
Error (entre grupos)	10	8.1513	0.8151		
Total	14	10587.9153	756.2797		

Con los resultados ANOVA de la *Tabla 7* se determinó que debido a que el nivel de significancia es menor a 0.05; se considera que existe diferencia significativa entre al menos dos grupos. Por medio del análisis de Tukey presentado en la *Tabla 8* se logró determinar lo siguiente:

Tabla 8: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de pH

PARES	DIFERENCIA	Q	CRITICAL MEAN	Valor p
x1 – x2	42.2767	81.1049	2.4261	4.226e-13
x1 – x3	42.85	82.2048	2.4261	3.368e-13
x1 – x4	74.2367	142.418	2.4261	3.131e-14
x1 – x5	70.28	134.8274	2.4261	3.131e-14
x2 – x3	0.5733	1.0999	2.4261	0.9314
x2 – x4	31.96	61.3131	2.4261	1.883e-11
x2 – x5	28.0033	53.7225	2.4261	6.121e-11
x3 – x4	31.3867	60.2132	2.4261	2.258e-11
x3 – x5	27.43	52.6226	2.4261	7.155e-11
x4 – x5	3.9567	7.5906	2.4261	0.002265

El tiempo de hervor (1 hora/ 20 minutos) no influyo en el porcentaje de humedad, al menos en el caso del lúpulo recuperado de la tanda 0%; ya que estos no presentaron diferencias significativas entre ellos. A excepción de los restantes. En la *Figura 5* se aprecia el conjunto de resultados en promedio, así como las desviaciones y diferencias significativas encontradas

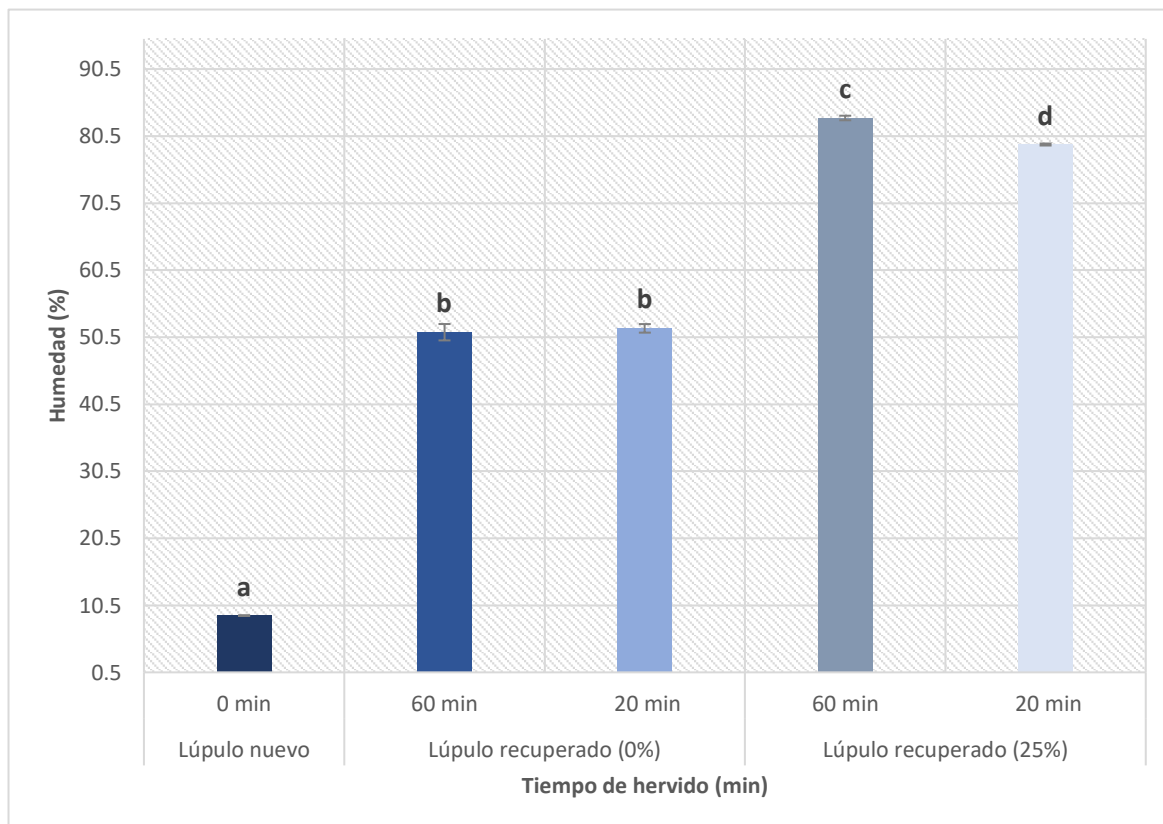


Figura 5: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para % de humedad contenido en el lúpulo

A partir de lo obtenido, es posible establecer lo siguiente. Para el caso del lúpulo nuevo el contenido de humedad presentado ($\bar{x}=8.967$) se encontraba dentro de lo establecido por el *Reglamento Delegado 2024/602* (46). Ordenanza establecida para mencionar las características de productos agrarios, donde se indica que el contenido de humedad máximo presente en un lúpulo procesado no debe exceder del 12%.

Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con una normativa referente al contenido de humedad que debe presentar un lúpulo recuperado, para su reuso en el proceso. Observando la gráfica de la *Figura 5*, se aprecian valores elevados para ambos lúpulos recuperados (0% y 25%). Si bien los resultados no indican un cambio en la composición o su

desenvolvimiento en el proceso de reuso; es importante considerar que la humedad contenida afectará estos factores.

Según el estudio “*Valorización de lúpulo reutilizado de dry hopping para el amargor de cerveza Pilsener*” (47), al realizarse estudios de materia seca tanto a un lúpulo nuevo como recuperado, se consiguieron conclusiones aplicables a este estudio.

Se menciona un contenido de materia seca entre 8-30%, el cual especifica un total de humedad entre 68-92%. Valores apreciados de igual manera en el análisis (Lúpulo 0%, 60 min/ $\bar{x}$ =51.243%, 20 min/ $\bar{x}$ =51.817; Lúpulo 25%, 60 min/ $\bar{x}$ =83.203%, 20 min/ $\bar{x}$ =79.247%). Expresando una gran retención de agua o cerveza dentro de la materia vegetal, aun habiendo pasado por un proceso de secado.

Además, en el estudio se menciona como la humedad afectará su efectividad. Pues este insumo con altos valores de humedad no solo haría más difícil su reuso; sino que, las tasas de aprovechamiento disminuirían. Efectos como, el presentar menos humulona (alfa ácido) en su composición, traduciéndose en una cantidad reducida transferida al mosto, llevando a menor proporción de alfa ácidos isomerizados. Considerando estos puntos, es que se menciona lo crucial de trabajar con un lúpulo que paso por un proceso de secado antes de su reutilización.

3.2.2. pH

Tabla 9: Análisis de laboratorio para pH de cerveza a concentraciones de lúpulo 0%, 50% y 25%

Muestra	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio $\pm$ Desviación E.
Lúpulo reciclado (0%)	4.2	4.3	4.2	4.233 $\pm$ 0.058
Lúpulo reciclado (50%)	4.2	4.3	4.3	4.267 $\pm$ 0.058
Lúpulo reciclado (25%)	4.5	4.6	4.9	4.667 $\pm$ 0.208

En base a los resultados expresados en la *Tabla 9*, se puede afirmar que el pH de la cerveza para cada una de las tandas presenta similitud entre las réplicas. Además, la cerveza modelo (0%) y la de 50%, presentan valores parecidos entre ellos. Sin embargo, para asegurar las diferencias estadísticas se realizaron los análisis correspondientes.

Tabla 10: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de pH

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	VALOR -P
Grupos (entre grupos)	2	0.3489	0.1744	10.4667	0.01106
Error (entre grupos)	6	0.1	0.01667		
Total	8	0.4489	0.5611		

Se logró apreciar por medio de los resultados de ANOVA presentados en la *Tabla 10*, que existe una diferencia significativa entre por lo menos dos de los grupos. Por el análisis de Tukey, se logró determinar cuál.

Tabla 11: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de pH

PARES	DIFERENCIA	Q	CRITICAL MEAN	Valor p
x1 – x2	0.033	0.4472	0.3234	0.9468
x1 – x3	0.43	5.8138	0.3234	0.0148
x2 – x3	0.4	5.3666	0.3234	0.0211

Se interpreta por medio de los resultados de la *Tabla 11*, que no existen diferencias significativas entre la cerveza 0% y 50%, lo cual indica que el uso de 50% lúpulo reciclado no afecta significativamente el pH frente a la cerveza 0%. Caso contrario para la cerveza 25%, la cual además de presenta un promedio mayor, es diferente significativamente frente a los dos otros grupos. En la *Figura 6* se aprecia el conjunto de resultados en promedio, así como las desviaciones y diferencias significativas encontradas.

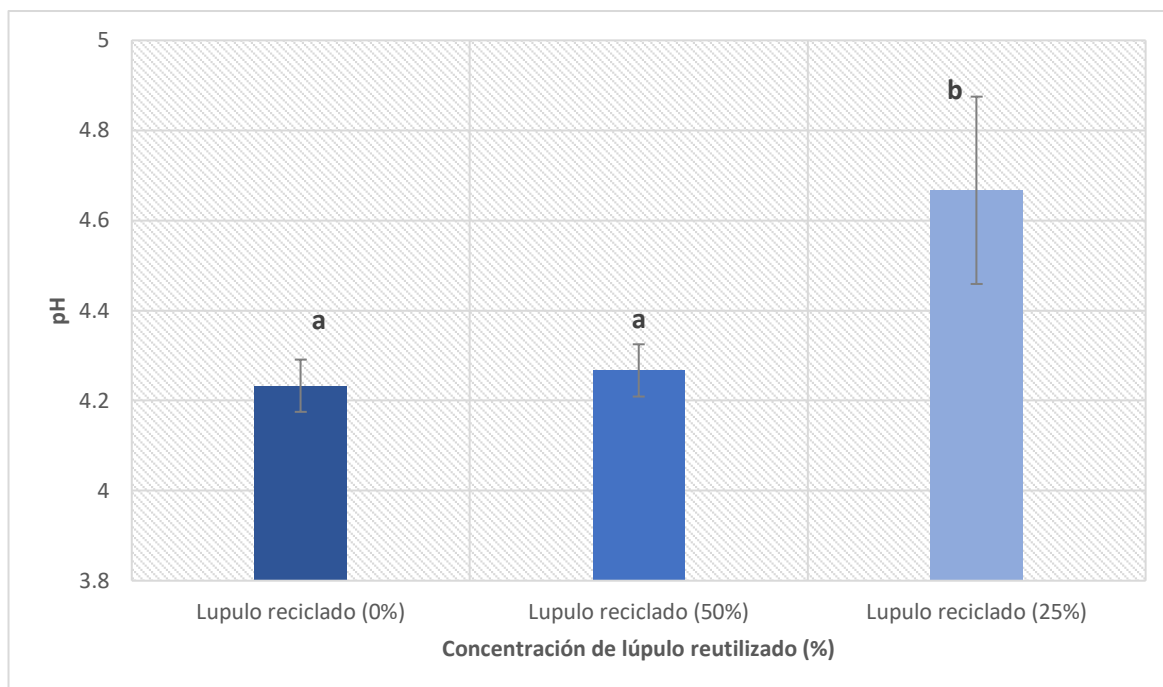


Figura 6: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para pH de las tandas 0%, 50% y 25%

De acuerdo con lo observado en la *Figura 6* se aprecian cifras de pH (0%/ $\bar{x}=4.233$; 50%/ $\bar{x}=4.267$ y 25%/ $\bar{x}=4.667$) acordes con la *Norma Técnica INEN 2 262:2003* (41); puesto que los promedios de las tres tandas se encuentran dentro de los rangos 3.5-5.0.

Para el caso de las tandas 0% y 50% los resultados de pH no presentaron diferencia estadística, caso que también se puede apreciar en el estudio “*Una valorización sostenible de lúpulo usado para dry-hopping*” (42). Donde las cervezas elaboradas tanto con lúpulo nuevo (4.24) como reciclado (4.14), el pH no se vio alterado por este proceso de reuso.

Además, es importante mencionar como el pH llega a afectar la percepción de la cerveza. Pues no solo a niveles bajos la actividad antimicrobiana proporcionada por la lupulona será mejor, sino que también podría darse un efecto metálico en el sabor final. Por lo que los valores mejor vistos se encontraran más altos ($<4-4.5$), pues no solo habrá una menor tendencia de oxidación de la cerveza, si no que el amargor percibido será más alto (52).

Por lo cual, si bien el parámetro promedio de pH de la tanda 25% se encuentra más alto ($\bar{x}=4.667$) debido a la baja cantidad de ácidos proporcionados por el lúpulo durante el proceso de elaboración. Además del uso de este insumo con tiempo mayor de almacenamiento. La percepción sensorial preferida fue debido a este aumento en su pH

3.2.3. Contenido de alcohol (%ABV)

Los resultados obtenidos en densidad inicial y final para el cálculo final de porcentaje de alcohol se pueden ver completos en el *Anexo 2*.

Tabla 12: Resultados de % alcohol cervezas 0%, 50% y 25%.

Muestra	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio $\pm$ Desviación E.
Lúpulo reciclado (0%)	6.17	6.3	6.3	6.257 $\pm$ 0.075
Lúpulo reciclado (50%)	5.25	5.3	5.51	5.353 $\pm$ 0.138
Lúpulo reciclado (25%)	6.3	6.17	6.17	6.213 $\pm$ 0.075

En base a los resultados de las réplicas en la *Tabla 12*, se puede afirmar que el porcentaje de alcohol en cada tratamiento muestra una similitud entre replicas. Además, se observan valores parecidos para cerveza 0% y 25%, pero muy diferentes en cerveza de 50%. Se realizaron los análisis estadísticos correspondientes para determinar las diferencias.

Tabla 13: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de %ABV

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	VALOR -P
Grupos (entre grupos)	2	1.5575	0.7787	77.1037	0.00005253
Error (entre grupos)	6	0.0606	0.0101		
Total	8	1.6181	0.2023		

Se logró apreciar por medio del análisis presentado en la *Tabla 13*, que existe una diferencia significativa entre por lo menos dos de los grupos. Por el análisis de Tukey se logró determinar cuál de los grupos es diferente entre sí.

Tabla 14: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de %ABV

PARES	DIFERENCIA	Q	CRITICAL MEAN	Valor p
x1 – x2	0.9033	15.5686	0.2518	0.00008242
x1 – x3	0.04333	0.7468	0.2518	0.8608
x2 – x3	0.86	14.8217	0.2518	0.0001092

Se puede observar por los resultados mostrados en la *Tabla 14*, como el uso de lúpulo reutilizado 0% y 25% no presentan diferencias significativas, a diferencia con lúpulo 50%. En la *Figura 7* se aprecian los resultados obtenidos resumidos.

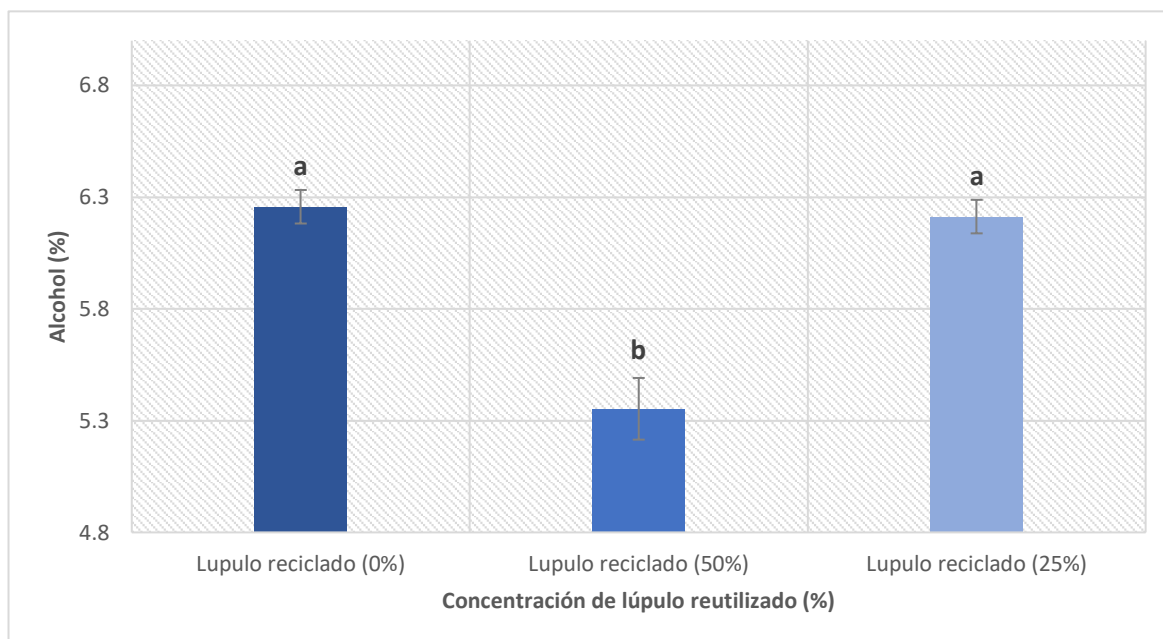


Figura 7: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para % de alcohol de las tandas 0%, 50% y 25%

De acuerdo con los datos observados en la *Figura 7*, se puede afirmar que las tres tandas producidas de cerveza se consideran de característica fuerte. Puesto que sus valores promedio se encuentran entre 5-8% de alcohol. Sin embargo, la determinación realizada por densidad no es recomendable, debido a que no se consideran todas las variables que afecten estos resultados (efectos fisicoquímicos durante fermentación, composición del mosto y cerveza final). Por lo cual la comparación con la *Norma NTP 213.014* (53), no es posible, debido a que la determinación de alcohol en esta regulación se realiza por destilación.

Por otra parte, según los resultados obtenidos, se puede apreciar una similitud en los rangos tanto para la tanda modelo ($\bar{x}=6.257$), como la tanda de 25% ($\bar{x}=6.213$). Efecto que también se puede ver reflejado en el estudio “Una valorización sostenible de lúpulo usado para dry hopping” (42), donde los valores de alcohol tanto para un cerveza fabricada con lúpulo nuevo y reciclado, no presentaron diferencias estadísticas. Además, cabe mencionar como el porcentaje para la tanda 50% ($\bar{x}=5.353$) se ve reducida frente a las demás. Si bien se da enfoques donde el lúpulo no llega a afectar los niveles de azúcares fermentables en el mosto. Se señala el artículo “*Efecto del dry hopping en azúcares fermentables y ABV*” (54), donde

se encuentran efectos de enzimas diastáticas presentes en el lúpulo que pueden contribuir al extracto fermentable.

En caso del lúpulo utilizado para cerveza 50%, al presentarte oxidado y en mayor proporción frente al de 25%, el efecto de las enzimas presentes en este insumo pudo no tener mucho efecto. De otro modo, el valor reducido de alcohol de esta tanda pudo verse afectada también por la malta utilizada en el proceso. Esto enfocado a los altos valores de densidad final presentados (*Anexo 2*), indicando un bajo nivel de atenuación. Posiblemente provenientes de la baja disponibilidad de azúcares fermentables en el mosto. Sin embargo, estas son hipótesis basadas en literatura, más es importante realizar estudios que determinen no solo la eficacia de la malta y el desenvolvimiento de las enzimas de lúpulo en kettle hopping.

3.2.4. Amargor (IBU)

Tabla 15: Resultados de amargor medido en IBU de cerveza a concentraciones de lúpulo 0%, 50% y 25%

Muestra	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio $\pm$ Desviación E.
Lúpulo reciclado (0%)	84.4	75.55	90.1	83.350 $\pm$ 7.332
Lúpulo reciclado (50%)	78.55	81.1	78.05	79.233 $\pm$ 1.636
Lúpulo reciclado (25%)	68.35	60.2	67.8	65.450 $\pm$ 4.555

En base a los resultados obtenidos por laboratorio mostrados en la *Tabla 15*, se puede afirmar que el amargor (IBU) en cada tratamiento presenta una similitud entre replicas. De lo observado, se presentan valores parecidos entre la cerveza sin tratar (0%) y la cerveza con 50% de lúpulo reciclado. Más valores diferentes en la cerveza 25% lúpulo reciclado. Se determinaron las muestras que presentaban diferencias significativas.

Tabla 16: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de IBU

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	VALOR -P
Grupos (entre grupos)	2	527.3372	263.6686	10.2494	0.01161

Error (entre grupos)	6	154.3517	25.7253		
Total	8	681.6889	85.2111		

Se logró apreciar por medio del análisis de la *Tabla 16*, que existe una diferencia significativa entre por lo menos dos de los grupos. Por el análisis de Tukey se logró determinar cuál de los grupos es diferente entre sí.

Tabla 17: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de IBU

PARES	DIFERENCIA	Q	CRITICAL MEAN	Valor p
x1 – x2	4.1167	1.4058	12.7066	0.6068
x1 – x3	17.9	6.1127	12.7066	0.01177
x2 – x3	13.7833	4.7069	12.7066	0.03644

En los resultados apreciados en la *Tabla 17*, se encontró que la cerveza 0% y 50% no presentan diferencias significativas, es decir que son muestras iguales. A diferencia con cerveza 25% que difiere de ambas. La similitud entre las dos primeras sugiere que el lúpulo utilizado presentaba características relacionadas en cuanto a compuestos que proporcionan amargor. En la *Figura 8* se aprecian los resultados obtenidos resumidos.

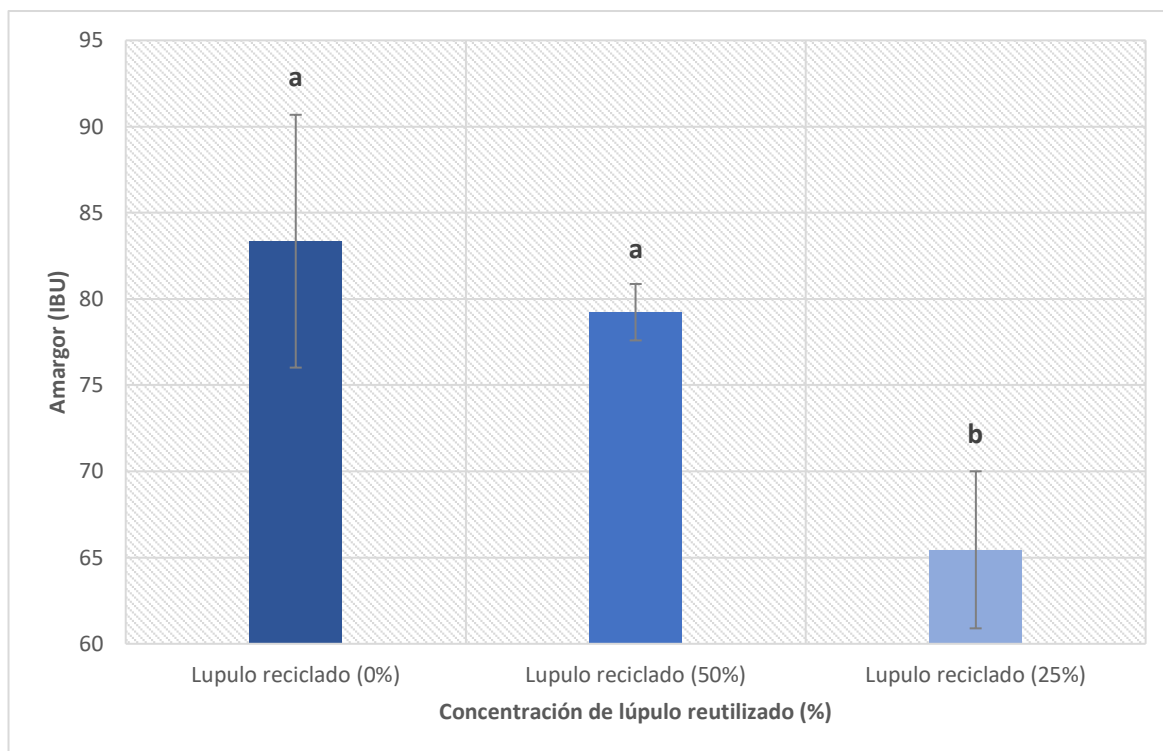


Figura 8: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para IBU de las tandas 0%, 50% y 25%

Los compuestos volátiles (aceites) y no volátiles (alfa-ácidos) del lúpulo proporcionaran tanto el amargor como el aroma a la cerveza final. Generalmente los compuestos no volátiles son medidos por medio de técnicas de HPLC y el aceite de lúpulo por medio de destilación al vapor.

El IBU de una cerveza proviene de los alfa ácidos isomerizados encontrados en ella. En este caso al trabajar con un lúpulo aromático, los porcentajes iniciales de resinas eran bajos (4-6%). Lo cual se traduce en menor cantidad de iso-alfa ácidos para detectar. Por eso, en la gráfica se puede ir observando como estos valores de acuerdo con el porcentaje de uso, van disminuyendo.

Sin embargo, es crucial también tomar en cuenta el tiempo de almacenamiento que tuvieron cada uno de los lúpulos a reutilizar. Pues según la investigación *“El impacto de la frescura del lúpulo en cervezas lupuladas por Kettle hopping”* (49), se determinó que el índice de almacenamiento de lúpulo lleva a la disminución de alfa ácidos y aceites esenciales; más aumenta las humulinonas debido a la oxidación. Además, que el lúpulo hervido por más tiempo (90min) contiene un porcentaje de alfa ácidos casi nulo. Por lo cual, al encontrarnos con tiempos de almacenamiento de hasta 5 meses (tanda 25%), el efecto en los resultados se vería más reflejado.

De manera más específica, si bien la cerveza 50% muestra valores bajos ($\bar{x}=79.233$), esto pudo deberse a que durante el proceso de hervido la mayoría del alfa ácidos provinieron del lúpulo fresco agregado. Así como del lúpulo hervido solo por 20 minutos. Para el caso de la cerveza 25% el índice de almacenamiento jugó un papel importante en la eliminación del alfa ácidos presentes. Es decir que si bien la cerveza pudo obtener la cantidad de compuestos volátiles como no volátiles que se espera de un lúpulo reutilizado, el almacenamiento de este jugó un papel importante en los resultados de amargor (IBU).

Cabe recalcar, que, al comprarlos con valores estándares para una cerveza Red Ale. Se contemplan límites superiores entre los tres tratamientos a los esperado (25-45 IBU). Aunque la cerveza con lúpulo 25% contaba con promedio más cercano al estándar para este estilo, sigue considerándose elevado. Que puede ser atribuido a las altas cantidades de lúpulo utilizado en el proceso. Aun así, tomando en cuenta la tesis *“La eficiencia del proceso de dry hopping y estrategias para mejor uso de lúpulo de dry hopping”* (55), que determinó que un lúpulo recuperado que no fue expuesto a tiempos de ebullición prolongados, o de dry hopping; presentaban una retención de hasta el 70% de compuestos no volátiles y 50% de aceites esenciales. Podemos entonces mencionar, que el lúpulo reutilizado presento una gran tasa de aprovechamiento, inclinándonos más para el lúpulo hervido por 20 min. Los cuales pudieron llegar a influir en dar valores de IBU arriba del establecido para el estilo.

3.2.5. Contenido proteico (%)

Tabla 18: Resultados de contenido proteico (%) de cerveza a concentraciones de lúpulo 0%, 50% y 25%

Muestra	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio $\pm$ Desviación E.
Lúpulo reciclado (0%)	0.54	0.54	0.45	0.51 ± 0.052
Lúpulo reciclado (50%)	5.92	6.1	5.83	5.95 ± 0.137
Lúpulo reciclado (25%)	0.26	0.26	0.35	0.29 ± 0.052

En base a los resultados de la *Tabla 18*, se puede afirmar que el contenido proteico (%) en cada tratamiento presenta una similitud entre replicas. De lo observado, se presentan valores parecidos entre la cerveza sin tratar (0%) y la cerveza con 25% de lúpulo reciclado. Se determinaron las muestras que presentaban diferencias significativas.

Tabla 19: Determinación de ANOVA con 0.05 niveles de significancia para resultados de % de proteínas

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F	VALOR -P
Grupos (entre grupos)	2	61.6776	30.8388	3807.2717	4.881e-10
Error (entre grupos)	6	0.0486	0.0081		
Total	8	61.7262	7.7158		

Se logró apreciar por medio del análisis mostrado en la *Tabla 19*, que existe una diferencia significativa entre por lo menos dos de los grupos. Por el análisis de Tukey se logró determinar cuál de los grupos es diferente entre sí.

Tabla 20: Determinación de Tukey con 0.05 niveles de significancia para resultados de % de proteínas

PARES	DIFERENCIA	Q	CRITICAL MEAN	Valor p
x1 – x2	5.44	104.693	0.2255	1.138e-12
x1 – x3	0.22	42339	0.2255	0.05482
x2 – x3	5.66	108.9269	0.2255	3.755e-13

El análisis Tukey presentado en la *Tabla 20*, señala que no se encuentra diferencia significativa entre cerveza con lúpulo 0% y 25%, lo que significa que son estadísticamente iguales. Más estas difieren significativamente con el lúpulo 50%. Estos resultados pueden proponer un efecto en la estructura y recursos proteicos presentes. En la *Figura 9* se aprecian los resultados obtenidos resumidos.

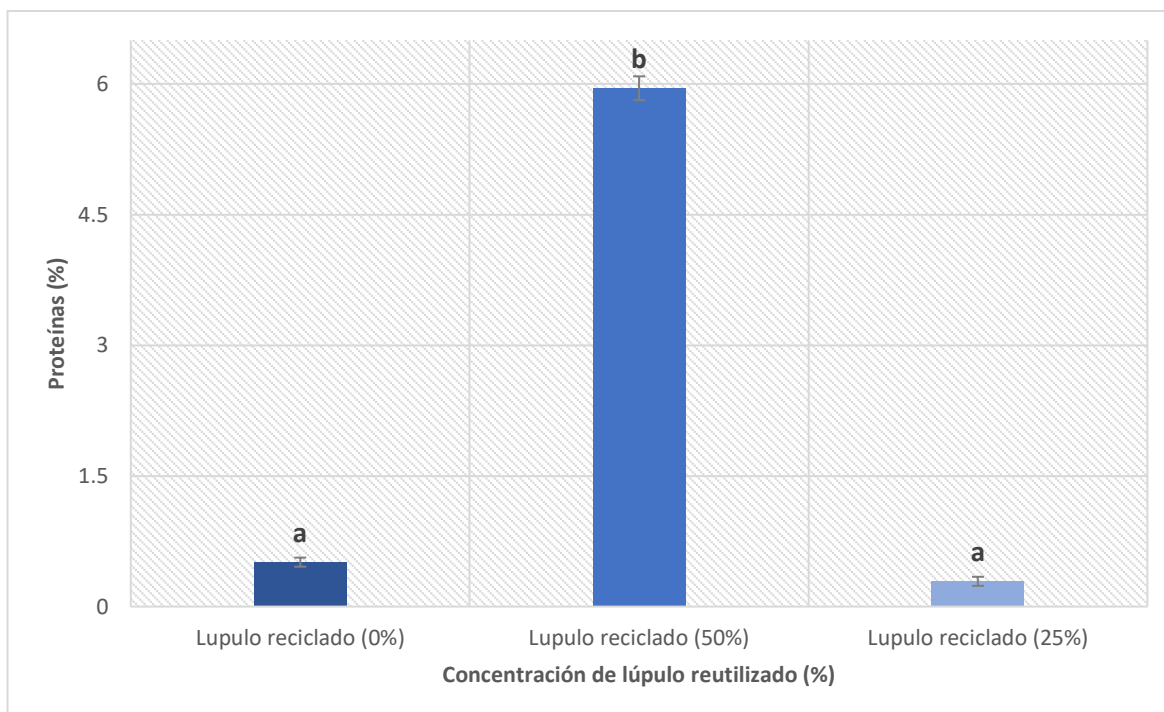


Figura 9: Gráfico de barras representando el promedio, desviación estándar y análisis por hoc de resultados para % de proteína de las tandas 0%, 50% y 25%

Dentro de la cervecería no se cuenta con una normativa donde se especifique los valores establecidos para proteínas. Esto es por el hecho que las cervezas no son consideradas fuentes de proteína para una alimentación diaria. Se suele considerar estas moléculas debido a que presentan gran papel en la formación de espuma. Y es por lo que suele más hacerse una determinación del tipo que se encuentra presente. Y aunque estos valores son colocados en las tablas nutricionales de cervezas para el mercado, esto suele ser un proceso de cumplimiento nutricional, y no por requerimientos ((56)).

A pesar de esto, es eficiente mencionar que según un artículo “*Análisis comparativo del valor nutricional de cerveza artesanal y cerveza industrial*” (44), se encuentra que las cervezas de índole artesanal presentar mayores niveles de proteína, que una cerveza industrial. En este caso podemos observar valores similares entre la tanda de 0% ($\bar{x}=0.51$) y 25% ($\bar{x}=0.29$); sin embargo, el valor obtenido en la tanda 50% ($\bar{x}=5.95$) se encuentra bastante elevado. Lo cual puede atribuirse en muchos factores, pues según este artículo mencionado (44), los resultados pueden verse afectados tanto por las materias primas usadas, el proceso de elaboración y variables que durante el proceso son influyentes.

Ingresando en el proceso de elaboración, se hizo uso de un aditivo durante el proceso de fermentación, que fue la gelatina diluida (20 gr). Este insumo tiene como principal efecto la

clarificación de la cerveza, pues ayuda con la floculación de las levaduras y atrapando proteínas, que dan un efecto turbio a la cerveza final ((57)). Sin embargo, este insumo al provenir del colágeno puede contribuir en la cantidad de nitrógeno total del sistema completo. Sobre todo, si en el proceso no se eliminó de manera eficaz o se usó en grandes cantidades.

De todas maneras, el lúpulo pudo haber sido uno de los factores más importantes en los resultados obtenidos. Debido a que en la tanda 50%, este fue utilizado en mayor proporción, además con un tiempo de almacenamiento más corto. Pudo presentar una mayor liberación de compuestos nitrogenados una vez fue agregado al mosto. Los cuales pudieron atribuir a aumentar el valor obtenido en Kjeldahl.

Sin embargo, si bien se añadió Protafloc a las tres tandas. Insumo que no solo ayudaría con el proceso de clarificación; si no también como precipitando las proteínas. El hecho que este no ayudó, influenciado en bajar los valores para la tanda 50%, esto pudo deberse a la saturación de su acción debido a los altos contenidos de proteína que ya pudieron estar presentes en el mosto o por compuestos vegetales provenientes del lúpulo.

3.3.Resultados análisis variables organolépticas cualitativas

En el análisis organoléptico se midieron sensorialmente atributos como: olor, textura, sabor y amargor. En el *Anexo 3* se puede apreciar los resultados conjuntos obtenidos. En la cata se proporcionaron las cervezas de manera anónima para los panelistas, teniendo el siguiente criterio:

- M1 = cerveza 50% lúpulo reciclado
- M2 = cerveza 0% lúpulo reciclado
- M3 = cerveza 25% lúpulo reciclado

Los formatos usados durante el proceso consistían en una introducción a la cata presentado en el *Anexo 4* y para la puntuación se hizo uso de una hoja de evaluación mostrada en el *Anexo 5*.

En la medida estadística de estas características, se tomó en cuenta la ecuación de Friedman:

$$x^2 = \frac{12}{rt(t+1)} \sum R^2 - 3r(t+1)$$

Donde:

- X = chi cuadrado
- R = rangos
- T = tratamientos realizados
- r = cantidad de catadores

3.3.1. Apreciación de olor

Tabla 21: Resultados de valuación a característica de olor

CATADORES	M1	M2	M3
C1	3	2	3
C2	3	2	2
C3	3	2	3
C4	4	3	2
C5	3	3	2
C6	5	4	4
C7	3	2	4
C8	3	4	3
C9	4	5	5
C10	3	2	3
SUMA	34	29	31
PROMEDIO	3	3	3

En la *Tabla 21* se encuentran los resultados conjuntos de las características de olor, donde, los catadores eligieron entre características: nulo, débil, representativo, bastante o profundo. Estos resultados fueron analizados por medio de la prueba de Friedman.

Tabla 22: Rangos promedio para valoración de olor

	RANGO PROMEDIO
OLOR MUESTRA 1	2.35
OLOR MUESTRA 2	1.70
OLOR MUESTRA 3	1.95

Tabla 23: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica olor

Nº	10
----	----

Chi-cuadrado	2.688
GL	2
Sig. asintótica	0.261

Haciendo uso de los datos de la *Tabla 22 y 23*, es posible afirmar que no se presenta una diferencia significativa entre muestras. (sig. = 0.261), por lo que estas son estadísticamente iguales.

Se elaboro el siguiente gráfico, para mejor representación y apreciación de lo anteriormente mencionado.

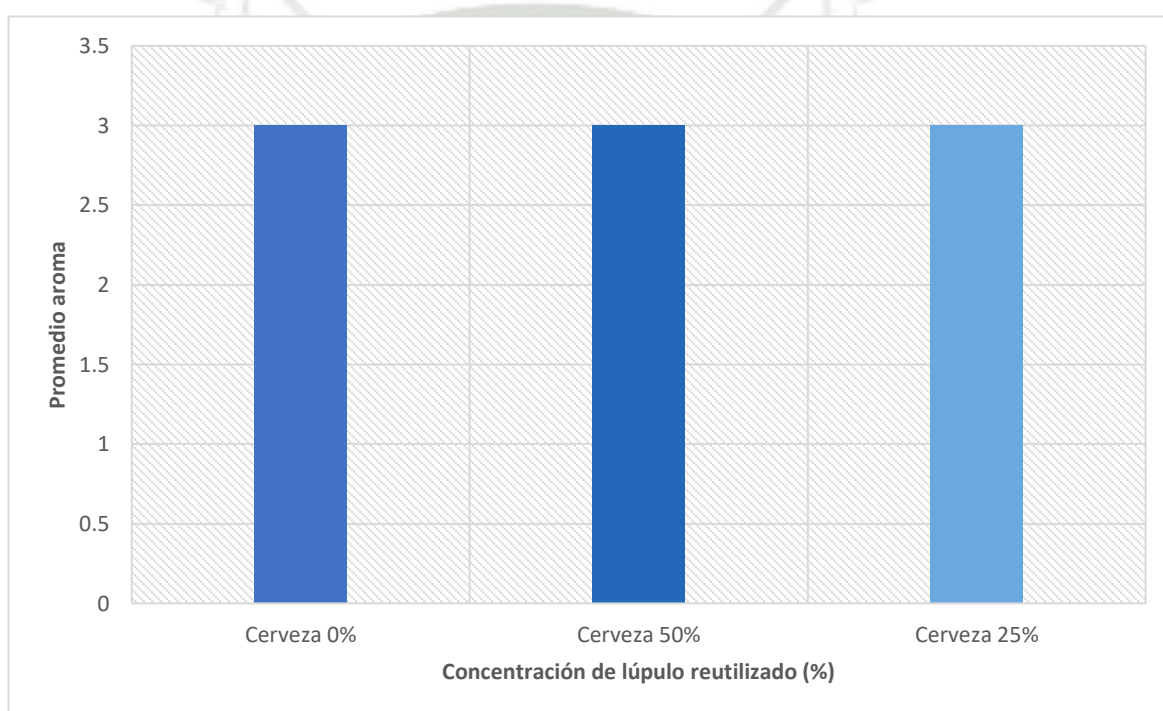


Figura 10: Gráfico de barras olor percibido por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado

En la *Figura 10* se puede apreciar como las tres cervezas presentan una media similar, la cual corresponde a un olor “representativo”. Lo cual indica que no hay preferencia de una sobre otra en cuanto al olor. En el estudio “Una valoración sostenible de lúpulo usado para dry-hopping” (42), se mostró una similitud de resultados en sus cervezas fabricadas con lúpulo reciclado, incluso con aquellas muestras que pasaron por oxidación.

Según los resultados podemos observar cómo hay una pureza de aroma, aun haciendo uso de lúpulo reciclado y oxidado. Este fenómeno pudo deberse según lo que se menciona en la investigación “El impacto de la frescura del lúpulo en cervezas lupuladas por Kettle hopping” (49),. Pues este menciona que durante el kettle hopping, si bien se pierden

compuestos volátiles responsables del aroma; el proceso de calor da a la formación de nuevos compuestos como el linalol o nerol. Compuestos que también aportaran al aspecto olfativo de la cerveza final, además de lograr ocultar posibles irregularidades en el aroma.

3.3.2. Apreciación de textura

Tabla 24: Resultados de valuación a característica de textura

CATADORES	M1	M2	M3
C1	4	3	4
C2	3	4	2
C3	4	2	3
C4	4	2	3
C5	3	2	3
C6	2	1	4
C7	2	1	2
C8	4	2	3
C9	4	2	4
C10	2	2	3
SUMA	32	21	31
PROMEDIO	3	2	3

En la *Tabla 24* se encuentran los resultados conjuntos de las características de textura, donde, los catadores eligieron entre características: turbio, poco claro, claro, brillante o cristalino. Estos resultados fueron analizados por medio de la prueba de Friedman.

Tabla 25: Rangos promedio para valoración de textura

	RANGO PROMEDIO
TEXTURA MUESTRA 1	2.45
TEXTURA MUESTRA 2	1.25
TEXTURA MUESTRA 3	2.30

Tabla 26: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica textura

Nº	10
Chi-cuadrado	9.771

GL	2
Sig. asintótica	0.008

Con los resultados presentados en la *Tabla 25 y 26*, es posible afirmar que se presenta una diferencia altamente significativa entre muestras. (sig. = 0.008), debido a que es menor al nivel de significancia 0.05. Es decir que las muestras son diferentes. Se elaboro el siguiente gráfico, para mejor representación y apreciación de lo anteriormente mencionado.

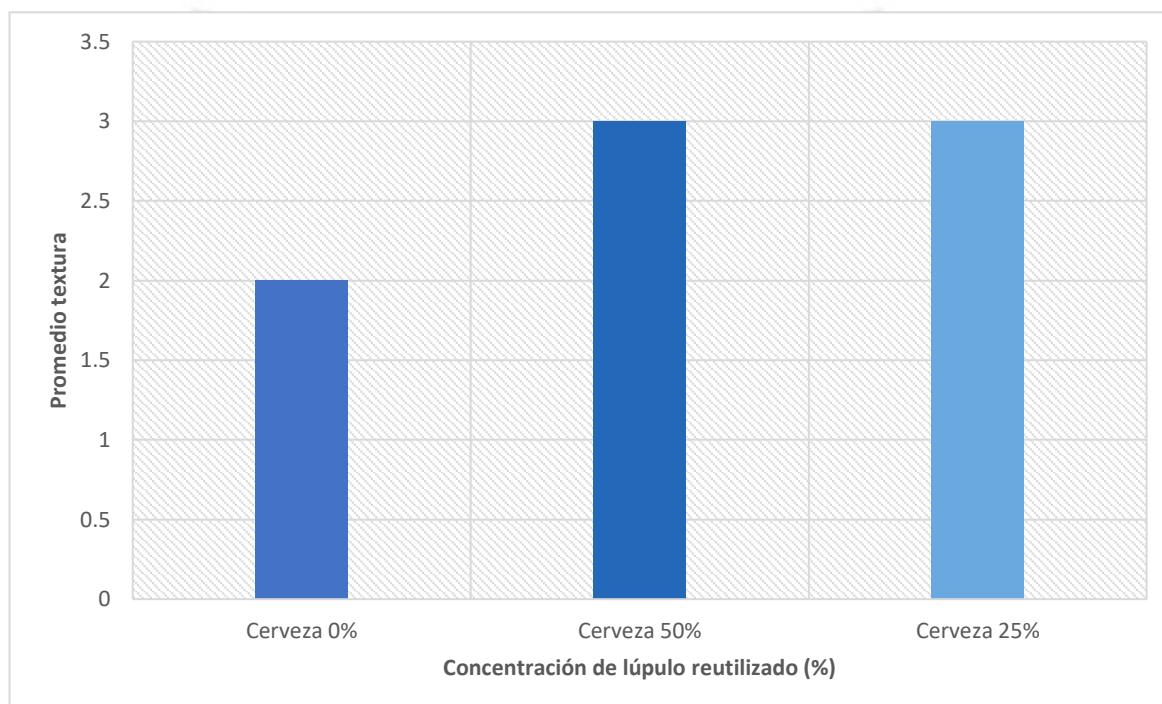


Figura 11: Gráfico de barras textura percibida por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado

En la *Figura 11* se puede apreciar como las cervezas 50% y 25% presentan un promedio de 3, correspondiente a una textura “claro”, siendo las mejor valoradas en esta categoría. A diferencia de la cerveza 0% con un promedio de 2, correspondiente a una textura “poco claro”. Estos resultados obtenidos de la cata se vieron afectados por la cantidad de sedimento presente en la cerveza modelo.

Además, por medio del estudio “*Segunda vida del lúpulo*” (7), se obtuvieron resultados similares. Pues las cervezas elaboradas con lúpulo reciclado presentaban una apariencia más clara frente a las que usaron lúpulo fresco. Lo cual puede ser atribuido a los compuestos fenólicos y cantidad de material vegetal presente en un lúpulo fresco. Pues este al ser reutilizado perdería bastante de estos componentes, evitando no solo el efecto “haze”, sino también la formación de sedimentos.

3.3.3. Apreciación de sabor

Tabla 27: Resultados de valuación a característica de sabor

CATADORES	M1	M2	M3
C1	4	5	4
C2	3	4	3
C3	4	3	3
C4	4	5	4
C5	3	4	2
C6	3	5	5
C7	3	4	4
C8	3	4	3
C9	3	4	5
C10	4	3	4
SUMA	34	41	37
PROMEDIO	3	4	4

En la *Tabla 27* se encuentran los resultados conjuntos de las características de sabor, donde, los catadores eligieron entre características: muy leve, leve, suficiente, fuerte o intenso. Estos resultados fueron analizados por medio de la prueba de Friedman.

Tabla 28: Rangos promedio para valoración de sabor

	RANGO PROMEDIO
SABOR MUESTRA 1	1.65
SABOR MUESTRA 2	2.45
SABOR MUESTRA 3	1.90

Tabla 29: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica sabor

Nº	10
Chi-cuadrado	4.187
GL	2
Sig. asintótica	0.123

Con los resultados presentados en la *Tabla 28 y 29*, es posible afirmar que no se presenta una diferencia significativa entre muestras. ($\text{sig.} = 0.123$), es decir que las muestras son estadísticamente iguales.

Se elaboro el siguiente gráfico, para mejor representación y apreciación de lo anteriormente mencionado.

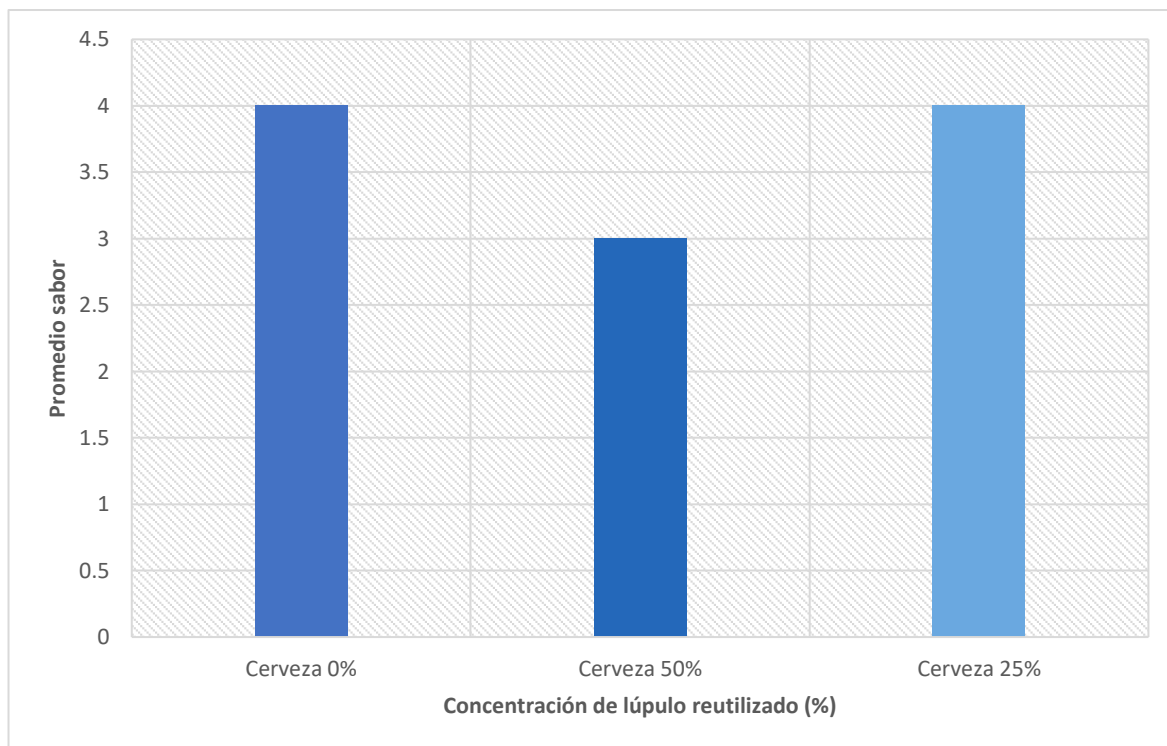


Figura 12: Gráfico de barras sabor percibido por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado

En la *Figura 12* se puede apreciar como las cervezas 0% y 25% presentan un promedio de 4, correspondiente a un sabor “fuerte”, en diferencia con la cerveza 50% con un promedio de 3, correspondiente a un sabor “suficiente”. Considerando estos resultados se contemplan a las cervezas con 0% y 25% lúpulo reciclado presentan un sabor más marcado.

Estos valores de sabor obtenidos para la tanda 50%, pudieron verse afectados por diferentes factores. Sin embargo, el más marcado pudo ser por la cantidad de alcohol que presento ($\bar{x}=5.353$). Pues este al ser menor pudo afectar la sensación en la boca. Debido a que mayores graduaciones de alcohol en una cerveza, no solo se presentarán sabores robustos, sino complejos. Aportando efectos intensos en la malta, lúpulo u otros aditivos agregados en el proceso (58). Sin embargo, el lúpulo también tuvo un papel importante en este aspecto, pues al usarse en mayor cantidad al estar oxidado, afecto en la composición y aceptación sensorial.

3.3.4. Apreciación de amargor

Tabla 30: Resultados de valuación a característica de amargor

CATADORES	M1	M2	M3
C1	4	5	4
C2	3	4	3
C3	4	3	3
C4	4	5	4
C5	3	4	2
C6	3	5	5
C7	3	4	4
C8	3	4	3
C9	3	4	5
C10	4	3	4
SUMA	34	41	37
PROMEDIO	3	4	4

En la *Tabla 30* se encuentran los resultados conjuntos de las características de amargor, donde, los catadores eligieron entre características: muy leve, leve, suficiente, fuerte o intenso. Estos resultados fueron analizados por medio de la prueba de Friedman.

Tabla 31: Rangos promedio para valoración de amargor

	RANGO PROMEDIO
AMARGOR MUESTRA 1	1.15
AMARGOR MUESTRA 2	2.75
AMARGOR MUESTRA 3	2.10

Tabla 32: Valores estadísticos de prueba Friedman para característica amargor

Nº	10
Chi-cuadrado	15.235
GL	2
Sig. asintótica	0.000

Con los resultados presentados en la *Tabla 31* y *32*, es posible afirmar que se presenta una diferencia significativa entre muestras. ($\text{sig.} = 0.000$), es decir que las muestras son estadísticamente diferentes.

Se elaboro el siguiente gráfico, para mejor representación y apreciación de lo anteriormente mencionado.

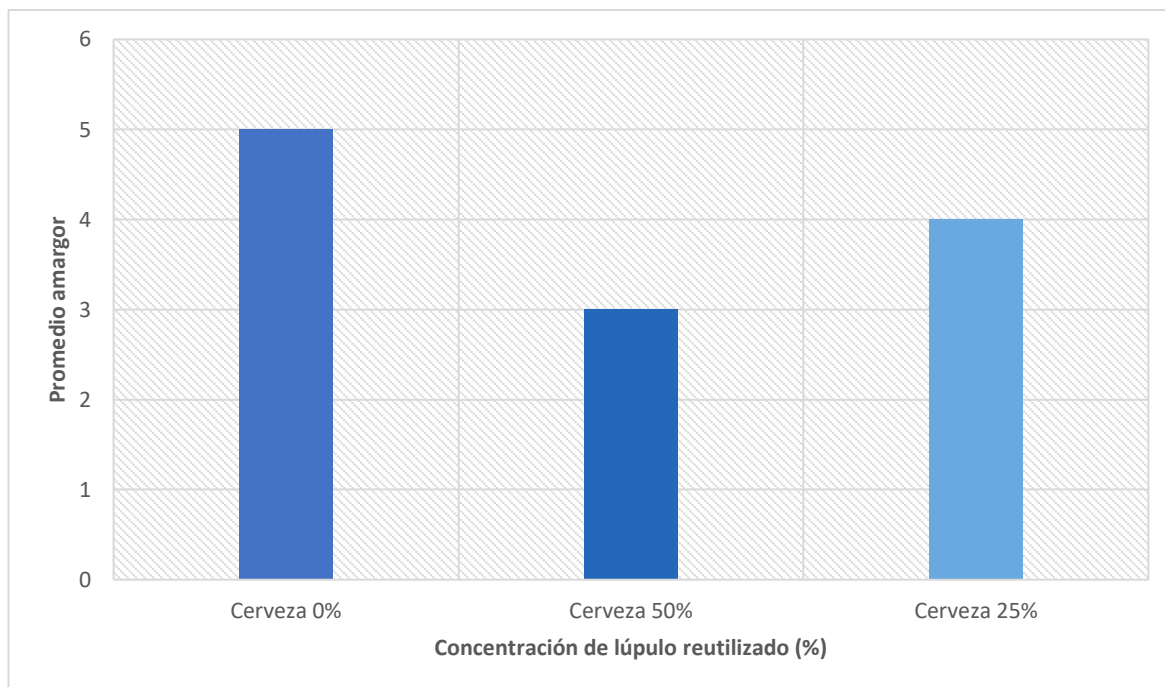


Figura 13: Gráfico de barras amargor percibido por catadores de cerveza 50%, 0% y 25% lúpulo reciclado

En la *Figura 13* se puede apreciar como las cervezas presentan promedios diferentes, en caso de la cerveza 50% con promedio de 3 correspondiente a una valorización de amargor “suficiente”; para cerveza 0% con promedio 5 correspondiente a amargor “intenso” y la cerveza 25% con un promedio 4 correspondiente a un amargor “fuerte”. Indica que la concentración de lúpulo reciclado actuó en la percepción de amargor.

Como se mencionó en el estudio “*El impacto de la frescura del lúpulo en cervezas lupuladas por Kettle hopping*” (49), si bien tanto los tiempos de hervido como el tiempo de almacenado de una cerveza pueden afectar los valores de IBU, estos no se verán reflejados de la misma manera en el amargor percibido. Pues, la razón por la que la cerveza de 25% pudo presentar mejores valores de cata. Puede ser dado a la cantidad elevada de humulinonas (compuesto oxidado) dentro del lúpulo. Que, según este estudio (49), no dan mala calidad de amargor; y este al presentar más tiempo de oxidación, los valores de este compuesto se encontraron más elevados.

CONCLUSIONES

- Se fabricaron de manera exitosa lotes de cerveza artesanal haciendo uso de lúpulo nuevo y reciclado
- Se logró desarrollar un lote de cerveza artesanal haciendo uso de lúpulo fresco consiguiendo la recuperación de lúpulo a reciclar, y para tomar como modelo de comparación.
- Se consiguió producir dos lotes de cerveza haciendo uso de lúpulo reutilizado en diferentes concentraciones (25% y 50%)
- Fue posible determinar el impacto del reúso de lúpulo frente a propiedades fisicoquímicas; observando resultados positivos frente a la tanda 0%, normas comerciales y similitudes entre otras investigaciones.
- De acuerdo con los resultados de las variables organolépticas, se dispuso que las cervezas con lúpulo reciclado presentaban altos puntajes. Más la cerveza 25% fue la preferida entre los catadores.
- En definitiva, la interpretación de resultados por análisis estadístico logró mostrar diferencias significativas entre cervezas (0%, 25% y 50%); que pudieron darse por diferencias del proceso, condiciones fisicoquímicas, entre otras. Más se determinó que no fueron efectos negativos al producto final.
- Se concluyó por medio de la ecuación de Friedman, que características como textura y amargor se vieron influenciados por el uso de lúpulo reciclado. A diferencia de características de sabor y olor.

RECOMENDACIONES

Por medio del desarrollo de la investigación es posible proponer las siguientes sugerencias:

- Se aconseja que las tandas de cerveza con lúpulo reciclado se elaboren en intervalos de tiempos cortos entre ellos, con relación a la cerveza modelo de donde se recuperará el lúpulo, para evitar la degradación de este insumo.
- Se sugiere realizar estudios enfocados en procesos de secado, almacenamiento y método de “re-adición”; al lúpulo recuperado para mantener su integridad funcional.
- Resulta pertinente realizar la determinación del contenido alcohólico por medio de la metodología de destilación, debido que ofrece mayor precisión y especificidad frente a uno por densidad que no puede reflejar exactitud al porcentaje de alcohol.
- Se aconseja llevar a cabo la determinación de alfa ácidos y aceites esenciales al lúpulo nuevo y recuperado, para observar los cambios en composición y su comportamiento en la cerveza final.
- Se recomienda emplear un método de cata validado por expertos, además de aplicado por especialistas entrenados, o en su defecto por un grupo de más de 50 personas. Así asegurando resultados confiables de interpretación precisa.
- Aunque la cantidad de lúpulo utilizada (85 gr) fue por preferencia cervecera, se recomienda reducir esta medida, para encontrar un IBU dentro de lo esperado para el estilo Red Ale.
- Se recomienda para estudios posteriores, determinar los efectos del lúpulo reciclado en concentraciones más elevadas (70% - 100%), para poder determinar si el impacto es bueno o malo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rachwał K, Waśko A, Gustaw K, Polak-Berecka M. Utilization of brewery wastes in food industry. *PeerJ*. 2020 Jul 14;8:e9427.
2. Thiago R dos SM, Pedro PM de M, Eliana FCS. Solid wastes in brewing process: A review. *Journal of Brewing and Distilling*. 2014 Jul 30;5(1):1–9.
3. Pattanathu R, K.R T. Brewery wastes. Strategies for sustainability. A review. *Asp Appl Biol*. 2006;1–3.
4. Claudia Salanță L, Corina Fărcaș A, Borșa A, Rodica Pop C. Current strategies for the management of valuable compounds from hops waste for a circular economy. *Food Chem X*. 2023 Oct;19:100876.
5. Van Kerckhoven S, van Meerten M, Wellman C. The Dynamics of the Hops Industry. In: *New Developments in the Brewing Industry*. Oxford University Press; 2020. p. 85.
6. Dobis EA, Reid N, Schmidt C, Goetz SJ. The Role of Craft Breweries in Expanding (Local) Hop Production. *Journal of Wine Economics*. 2019 Nov 22;14(4):380.
7. Gasiński A, Kawa-Rygielska J, Paszkot J, Pietrzak W, Śniegowska J, Szumny A. Second life of hops: Analysis of beer hopped with hop pellets previously used to dry-hop a beer. *LWT*. 2022 Apr;159:113186.
8. Hauser G, Stokholm A, Shellhammer T. Investigating the potential for re-using spent dry-hops in the brew kettle. *BrewingScience*. 2019 May;125–31.
9. Calado LS, Lacerda ALF, Fiaux SB, Sphaier LA, Silva VNH, Peixoto FC. Low-cost fluorescence-based method for beer bitterness measurement. *J Food Eng*. 2019 Dec 1;262:9–12.
10. Torres D, Castaño D. Sustitución parcial del lúpulo (*Humulus lupulus*) por cidrón (*Aloysia citrodora*) en la elaboración de cerveza artesanal. [Bogotá]: UNIVERSIDAD DE LA SALLE; 2017.
11. Magíster I, Agustín Romero Corral RI, Stefanía Valladares GI, Margarita Quinatoa Lema III G. Sustitución parcial de lúpulo (*humulus lupulus*) por semillas de cañamo (*cannabis sativa* ssp. *sativa*) en elaboración de cerveza artesanal tipo Brown Ale. 2023;85(9):1294–314. Available from: <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/eshttps://orcid.org/0000-0002-4599-7778>
12. Fuentes V. Sustitución parcial de Lúpulo (*Humulus lupulus*) por cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) en cerveza de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*). [Chiapas]: UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS; 2023.
13. Aroh K. Review: Beer Production. *SSRN Electronic Journal* [Internet]. 2019 [cited 2023 Sep 23]; Available from: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3458983>
14. Spaggiari G, Cignarelli A, Sansone A, Baldi M, Santi D. To beer or not to beer: A meta-analysis of the effects of beer consumption on cardiovascular health. *PLoS One*. 2020 Jun 3;15(6):e0233619.
15. Fonseca V. Breve Historia de la cerveza. *VirtualPro*. 2007 May;

16. Esslinger HMichael. Handbook of brewing : processes, technology, markets. Wiley-VCH; 2009. 746 p.
17. Hornsey I. A History of Beer and Brewing. RSC Paperbacks, editor. UK: Royal Society of Chemistry; 2003. 1–169 p.
18. Nelson M. The Barbarian's Beverage A History of Beer in Ancient Europe . Taylor and Francis Group, editor. Oxon: Routledge; 2005. 12–21 p.
19. Zhou MX. Barley Production and Consumption. In: Genetics and Improvement of Barley Malt Quality. Tasmania; 2009. p. 1–17.
20. Sanz C. InterMaltaCraft. Malta de 2 hileras vs 6 hileras: beneficios y desventajas.
21. Hough J. La cebada: materia prima esencial. In: Biotecnología de la cerveza y de la malta. Acirbia Editorial. Zaragoza; 1990. p. 9–10.
22. Rani H, Bhardwaj RD. Quality attributes for barley malt: "The backbone of beer." J Food Sci. 2021 Aug 19;86(8):3322–40.
23. Izydorczyk MS, Edney M. Barley: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. In: Cereal Grains. Elsevier; 2017. p. 195–234.
24. Cocinista.es. Cocinista.es . 2022. Elaboración de los distintos tipos de malta.
25. KOPECKÁ J, MATOULKOVÁ D, NĚMEC M. Yeast and its uses. Kvasny Prumysl. 2012 Nov 1;58(11–12):326–35.
26. Yeast Growth and the Yeast Cell Cycle. In: Yeast. Wiley; 2012. p. 175.
27. Yeast Metabolism. In: Yeast. Wiley; 2012. p. 25.
28. Held P. Agilent Trusted Answers . 2022. Monitoring Growth of Beer Brewing Strains of *Saccharomyces Cerevisiae*.
29. Iorizzo M, Coppola F, Letizia F, Testa B, Sorrentino E. Role of Yeasts in the Brewing Process: Tradition and Innovation. Processes. 2021 May 11;9(5):839.
30. Suárez C, Garrido A, Guevara C. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar . 2016;20–8.
31. Noonan G. Brewing Constituents. In: Eggleston M, Richman D, editors. New Brewing Lager Beer:: The Most Comprehensive Book for Home and Microbrewers. Colorado: Brewer Publications; 1986. p. 35–6.
32. PRECISION FERMENTATION. How Brewing Water Develops Its Unique Chemistry. In: Water Chemistry for Brewers: Key Considerations for Quality and Consistency. PRECISION FERMENTATION; 2022. p. 4.
33. M N. Water in Brewing. In: Water Treatment Plants. EUWA. Germany; 2023. p. 186–7.
34. Katarina Damajanovic IV. WORLD BEER PRODUCTION AND HOPS USE. Research Journal of Agricultural Science. 2021;3:78.

35. Adamenko K, Kawa-Rygielska J. Effect of Hop Varieties and Forms in the Hopping Process on Non-Alcoholic Beer Quality. *Molecules*. 2022 Nov 16;27(22):7910.
36. Scott L, Thomas S. How Hoppy Beer Production Has Redefined Hop Quality and a Discussion of Agricultural and Processing Strategies to Promote It. *Technical Quarterly*. 2019;56:2–5.
37. De Keukeleire D. Fundamentals of beer and hop chemistry. *Quim Nova*. 2000 Feb;23(1):108–12.
38. Goldammer T. BARLEY MALTS . In: *The Brewer's Handbook The Complete Book to Brewing Beer*. Third. Virginia: Apex Publishers; 2022. p. 7–8.
39. Pires E, Brányik T. An Overview of the Brewing Process. In 2015. p. 1–9.
40. Haffenden Farm. Huking Hops. 2025. How to Dry Hops: A Simple Step-by-Step Guide for Homebrewers.
41. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Bebidas Alcohólicas. Cerveza. Requisitos. 2003.
42. Alfeo V, Sileoni V, Bravi E, Belardi I, De Francesco G, Marconi O. A sustainable valorisation of spent hops from dry-hopping. *LWT*. 2023 Aug;186.
43. A.O.A.C. Método Kjeldahl. In: *Official Methods of Analysis*. 13th ed. 1984.
44. Daza Burbano JA. Analysis of polyphenolic and protein content in craft and industrial beers. 2017.
45. Association of Official Analytical Chemists. Method 925.45D. In: *Official Methods of Analysis*. 15th ed. USA; 1990. p. 1010–1.
46. Diario Oficial de la Unión Europea. REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2024/602 [Internet]. 2024. Available from: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2024/602/oj
<http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1850/oj>
47. Schrickel F, Bilge D, Pahl R, Rettberg N. Valorization of Spent Hops from Dry Hopping for Bittering of Pilsener Style Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2025 Jan 2;83(1):17–29.
48. Corporation S. Spectrophotometric Analysis Measurement of Color, Bitterness, and Diacetyl Content of Beer Using UV-Vis Spectrophotometer. 2020.
49. Rutnik K, Ocvirk M, Košir IJ. The Impact of Hop Freshness on Kettle-Hopped Beers. *Foods*. 2023 Dec 2;12(23).
50. Department for the Environment F and RA. Council Regulation No 510/2006 “East Kent Goldings.” London; 2006.
51. Protsenko L, Ryzhuk S, Liashenko M, Shevchenko O, Litvynchuk S, Yanse L, et al. Influence of alpha acids hop homologues of bitter and aromatic varieties on beer quality. *Ukrainian Food Journal*. 2020 Jun;9(2):429–35.
52. Bamforth C. pH in Brewing: An Overview. In: *Technical Quarterly*. 1st ed. 2001. p. 7.
53. Dirección de Normalización-INACAL. Norma Técnica Peruana. 2016.

54. Janicki J. The effect of dry-hopping on fermentable sugars and ABV. Journal of the Institute of Brewing. 1941;
55. Shelhammer T. The Efficiency of Dry-hopping and Strategies for the Better Utilization of Dry-hops. 2019.
56. Gorinstein S, Zemser M, Vargas-Albores F, Ochoa JL, Paredes-Lopez O, Scheler Ch, et al. Proteins and amino acids in beers, their contents and relationships with other analytical data. Food Chem. 1999 Oct;67(1):71–8.
57. Hanson B. KEGOUTLET. 2017. Cómo usar gelatina para clarificar la cerveza.
58. Martín. The drinks project. 2025. ¿Qué significa ABV en la cerveza y cómo afecta tu experiencia al beberla?



ANEXOS

INSUMO	CANTIDAD	COSTE S/	PORCENTAJE DE PRECIO
Malta Pale Ale	7 kg	86.6	47.3
Malta Caramel Aromatic	1 kg	14.6	7.9
Malta Caramel Amber	0.6 kg	8.9	4.9
Malta Caramel Pils	0.5 kg	7.1	3.9
Malta Black	0.4 kg	7.5	4.1
Levadura S-04	1 sachet	24	13.1
Protafloc	10 gr	8	4.4
Lúpulo EKG	85 gr	26.4	14.4
TOTAL		183.10	100%

Anexo 1: Costes de insumos para cerveza Red Ale en planta de 50 L

MUESTRA	DENSIDAD ORIGINAL	DENSIDAD FINAL	FACTOR	% ABV
0%	1.06	1.013	131.3	6.17
	1.061	1.013		6.30
	1.06	1.012		6.30
50%	1.06	1.02		5.3
	1.06	1.02		5.3
	1.062	1.02		5.51
25%	1.062	1.014		6.30
	1.06	1.013		6.17
	1.06	1.013		6.17

Anexo 2: Análisis de densidades antes y después de la fermentación, cervezas 0%, 50% y 25%.

	AROMA			TEXTURA			SABOR			AMARGOR		
CATADORES	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
C1	3	2	3	4	3	4	4	5	4	3	5	3
C2	3	2	2	3	4	2	3	4	3	3	4	3
C3	3	2	3	4	2	3	4	3	3	4	5	4
C4	4	3	2	4	2	3	4	5	4	2	4	4
C5	3	3	2	3	2	3	3	4	2	3	4	5
C6	5	4	4	2	1	4	3	5	5	2	5	3
C7	3	2	4	2	1	2	3	4	4	3	4	4
C8	3	4	3	4	2	3	3	4	3	2	5	4
C9	4	5	5	4	2	4	3	4	5	3	5	4
C10	3	2	3	2	2	3	4	3	4	3	4	4
suma	34	29	31	32	21	31	34	41	37	28	45	38
promedio	3	3	3	3	2	3	3	4	4	3	5	4

Anexo 3: Cuadro original de valuación de características organolépticas

Introducción e instrucciones a la cata de cerveza

Fecha:

QUE ES UN ANÁLISIS SENSORIAL

El IFT (Instituto de Alimentos de EE. UU.) determina un análisis sensorial como aquella disciplina científica por la cual se evoca, mide, analiza e interpreta las respuestas sobre características tanto de alimentos como otras sustancias, que son captadas por los cinco sentidos (vista, olfato, gusto, tacto y oído). De la misma forma puede ser definida como una caracterización y análisis sobre la aceptación o rechazo a un alimento de parte de un panel catador o en su defecto el mismo consumidor (1).

EL PROCESO DE CATACIÓN

Cuando se valora cerveza puede ayudar el imaginar el balance existente entre los sabores y aromas que proporciona cada uno de los ingredientes. Una cerveza puede encontrarse desequilibrada entre las maltas, lúpulo y las levaduras; así como uno puede estar más resaltado. Para lograr apreciar al máximo una cerveza lo que se busca es prestar atención a cada uno de los cuatro esenciales elementos que conforma la experiencia del “tomar cerveza” como lo son aroma, apariencia, sabor y sensación de boca (2).

1. Indicadores clave

1.1. El catador

No escupa la cerveza, no se termine toda la muestra, no use perfumes fuertes, aislé sus preferencias personales, haga uso de los elementos proporcionados para evitar la fatiga sensorial, relájese y procure no perder la concentración en ningún momento.

1.2. Las muestras

Debe encontrarse a una temperatura adecuada (fría, fresca o a temperatura de bodega), debe ser anónima, debe ser servida en un estilo de vaso adecuado, juzgue poca muestra (30-50 ml) para evitar la sobre estimulación.

1.3. El ambiente

Debe ser un local/ espacio con buena luz, sin distracciones; no engullir alimentos y/o fumar al menos 1 hora previo al catado, asegúrese de contar con lápiz/ lapicero para determinar los puntajes.

2. A través de la cata

2.1. Aroma

Debido la gran cantidad de componentes aromáticos que pueden presentarse en la muestra servida, es importante primero considerar el aroma. Acerque su nariz a la copa, asegurándose de inhalar profundamente, anote lo que siente. Perciba la calidad e intensidad de cada uno de los componentes (malta, lúpulo, levaduras).

2.2. Apariencia

Al momento de evaluar una cerveza debe considerar el color, claridad y espuma. Los colores de una cerveza pueden variar dependiendo del estilo, desde amarillo claro hasta negro opaco. La mayoría de las cervezas suelen tener una apariencia clara o brillante, sin embargo, también el estilo de esta puede hacer que se vean más nubladas debido a la presencia de levadura suspendida.

2.3. Sabor

Al igual que en el aroma, se busca percibir la malta, lúpulo y levadura presente. Asegurarse en percibir la cualidad y el balance que existe entre cada uno. A diferencia de una cata de vino, al final la cerveza no se escupe si no se traga, esto se debe a que solo algunos sabores pueden ser percibidos al realizar esta acción.

2.4. Amargor

Aunque este puede ingresar en la categoría de sabor, cuando es separado se busca enfocar el análisis frente al amargor real más no el amargor percibido. Debido a que el primero va a un contexto aislado de toda la cerveza. Por lo cual se aconseja realizar la evaluación sin exhalar por la nariz.

Bibliografía

1. Olmos López J, Díaz Vázquez A. Definición de evaluación sensorial. In: Carretero Domínguez MÁ, editor. Análisis sensorial. 1st ed. México: Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla; 2014. p. 6.
2. MDA Creative Projects LLC. Beer Tasting Basics [Internet]. 2014. Available from: www.aperfectpint.net

Anexo 4: Hoja de introducción, previa a evaluación sensorial

Hoja de Evaluación sensorial

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS, BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS

HOJA DE CATACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL PRODUCIDA CON DIVERSAS CONCENTRACIONES DE LÚPULO (*Humulus lupulus*) REICLADO

Reciba un cordial saludo de quien forma parte de esta investigación “ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y ORGANOLÉPTICO DE DIVERSOS LOTES DE CERVEZA FABRICADOS A DIVERSAS CONCENTRACIONES DE LÚPULO (*Humulus lupulus*) REUTILIZADO”

Fecha.....

EVALUACIÓN SENSORIAL

AROMA		M1	M2	M3
	1. Nulo			
	2. Débil			
	3. Representativo			
	4. Bastante			
	5. Profundo			

TEXTURA		M1	M2	M3
	1. Turbio			
	2. Poco claro			
	3. Claro			
	4. Brillante			
	5. Cristalino			

SABOR		M1	M2	M3
	1. Muy leve			
	2. Leve			
	3. Suficiente			
	4. Fuerte			
	5. Intenso			

AMARGOR		M1	M2	M3
	1. Muy leve			
	2. Leve			
	3. Suficiente			
	4. Fuerte			
	5. Intenso			

GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN

Anexo 5: Hoja de evaluación sensorial



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA30G24.005385

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Soledad Morón Chuco
Dirección del cliente : Urb Bello Amanecer A-7 Cayma
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Soledad Morón Chuco
Descripción de la muestra : Cerveza con 0% de lúpulo reciclado

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

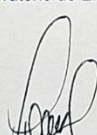
Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 350 mL
Fecha de recepción : 30/07/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 30/07/2024 al 07/08/2024
Fecha de emisión de informe : 07/08/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE PROTEINAS Método Kjeldahl, A.O.A.C. Official Methods of Analysis 13 th Edition, 1984.	UNIDADES	RESULTADO
Repetición 1	%	0,54
Repetición 2	%	0,54
Repetición 3	%	0,45

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


R. F. Ricardo A. April Ramírez
COFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Código: LECC-15INF-002F ED.01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo 6: Resultados de laboratorio determinación de proteínas de cerveza 0% lúpulo reciclado



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
 Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apdo. 1350
 AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA20H24.005400

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Soledad Morón Chuco
 Dirección del cliente : Urb Bello Amanecer A-7
 RUC : No corresponde
 Identificación del contacto : Soledad Morón Chuco
 Descripción de la muestra : Cerveza varios

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
 Tamaño de muestra : 500 mL
 Fecha de recepción : 20/08/2024
 Fecha de ejecución de ensayo : 20/08/2024 al 27/08/2024
 Fecha de emisión de informe : 03/09/2024
 Página : 1 de 1

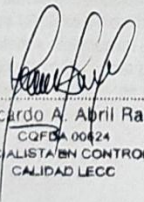
I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

Measurement of Color, Bitterness, and Diacetyl Content of Beer Using UV-Vis Spectrophotometer, App N° A622, Bitterness unit (BU)

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Cerveza con 0% de lúpulo reciclado 1	BU	84,40
Cerveza con 0% de lúpulo reciclado 2	BU	75,55
Cerveza con 0% de lúpulo reciclado 3	BU	90,10

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


R. Ricardo A. Abril Ramírez
 CQF04 00424
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo 7: Resultados de laboratorio determinación de IBU de 0% lúpulo reciclado



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apldo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA03I24.005412

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Soledad Morón Chuco
Dirección del cliente : Urb Bello Amanecer A-7
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Soledad Morón Chuco
Descripción de la muestra : Cerveza varios

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 500 mL
Fecha de recepción : 03/09/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 03/09/2024 al 10/09/2024
Fecha de emisión de informe : 11/09/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

Measurement of Color, Bitterness, and Diacetyl Content of Beer Using UV-Vis Spectrophotometer,
App N° A622, Bitterness unit (BU)

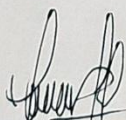
ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Cerveza con 50% de lúpulo reciclado 1	BU	78,55
Cerveza con 50% de lúpulo reciclado 2	BU	81,10
Cerveza con 50% de lúpulo reciclado 3	BU	78,05

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS (%) Método Kjeldahl, A.O.A.C. Official Methods of Analysis
13 th Edition, 1984.

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Cerveza con 50% de lúpulo reciclado 1	%	5,92
Cerveza con 50% de lúpulo reciclado 2	%	6,10
Cerveza con 50% de lúpulo reciclado 3	%	5,83

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo 8: Resultados de laboratorio determinación de proteínas e IBU de cerveza 50%
lúpulo reciclado



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umecollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382036 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA05K24.005496

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Soledad Morón Chuco
Dirección del cliente : Urb Bello Amanecer A-7
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Soledad Morón Chuco
Descripción de la muestra : Cerveza con 25 % de lúpulo reciclado

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 350 mL
Fecha de recepción : 05/11/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 05/11/2024 al 28/11/2024
Fecha de emisión de informe : 03/12/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO		
		R1	R2	R3
DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS Método Kjeldahl, A.O.A.C. Official Methods of Analysis 13 th Edition, 1984.	%	0,26	0,26	0,35
Measurement of Color, Bitterness, and Diacetyl Content of Beer Using UV-Vis Spectrophotometer, App N° A622, Bitterness unit (BU)	BU	68,35	60,20	67,80

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Apai Ramirez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo 9: Resultados de laboratorio determinación de proteínas e IBU de cerveza 25% lúpulo reciclado



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA03L24.005508

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Soledad Morón Chuco
Dirección del cliente : Urb Bello Amanecer A-7
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Soledad Morón Chuco
Descripción de la muestra : Muestras lúpulo varios

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 350 mL
Fecha de recepción : 03/12/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 03/12/2024 al 10/12/2024
Fecha de emisión de informe : 16/12/2024
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Official Methods of Analysis. 1990. Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Vol. II.
Method 925.45D. USA. p. 1010 - 1011.

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO		
		R1	R2	R3
Lúpulo Nuevo	%	9,01	8,90	8,99
Lúpulo 0% reciclado 1H	%	53,20	50,59	49,94
Lúpulo 0% reciclado 20 min	%	50,79	52,49	52,17
Lúpulo reciclado 3ra tanda 1H hervor	%	83,75	83,03	82,83
Lúpulo reciclado 3ra tanda 20 min hervor	%	79,44	79,28	79,02

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abil Ramírez
COFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo 10: Resultados de laboratorio determinación de humedad de lúpulo nuevo, lúpulo recuperado 0% y 25%, correspondiente a sus horas de hervido