

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La cerveza en la actualidad es una de las bebidas alcohólicas más populares, esta se encuentra entre las cinco bebidas más consumidas del mundo con una producción estimada de 1,34 billones de hectolitros al año (Buffington, 2014).

En Latinoamérica la producción de cerveza es de 556,59 millones de hectolitros al año, siendo Brasil el principal productor con 138,5 millones de hectolitros y México 74,5 millones. (Petovel, 2016). Así mismo Hinojosa (2015) menciona que “Bolivia se posiciona entre los países latinoamericanos más bajos de producción de cerveza con 3,4 millones de hectolitros año, las plantas con mayor producción se ubican en los departamentos de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz” (Pág.4).

Además, existe microempresas a nivel artesanal en diferentes puntos del país, en la cual Tarija forma parte de este rubro. Elaborando cervezas con diferentes características que luego son comercializadas al mercado Tarijeño. La asociación de cerveceros artesanales en Tarija reúne a 12 cervecerías de producción local, entre ellas Barbosa, Macabra, Alquimia, Hops, Valkirya, Bière Landeau, Marquiri (Montaño, 2019).

La cebada es uno de los cereales más importantes después del trigo, el maíz y el arroz para producción de cerveza, porque son ricos en almidón y proteínas. La cebada se convierte en malta tras un proceso de germinación controlado, que sirve principalmente para aumentar el contenido enzimático del grano. El malteado se realiza en tres etapas: remojo, germinación y deshidratado. Esta malta se introduce como materia prima en la elaboración de la cerveza donde sufre un proceso de maceración y luego filtrarlo quedando como subproducto el bagazo (Camacho & Grande, 2021).

“El bagazo cervecero representa el 85% de residuo generado en la elaboración de cervecera y se genera en la etapa de filtración y separación del mosto” (Pérez, 2020. Pág. 48).

Gran parte del bagazo se destina para alimentar ganado y como abono en tierras de cultivo. Sin embargo, estudios han demostrado que el bagazo puede ser aprovechado

en la alimentación humana debido a su contenido de fibra dietética y proteínas, lo que permite obtener sus beneficios nutricionales (Martínez, 2020).

“La industria cervecera, genera aproximadamente 600 gramos de bagazo por cada litro de cerveza, ocasionando efectos en el medio ambiente y a la misma empresa por su rápida descomposición” (Martínez, 2020. Pág. 9).

Según el (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2019), busca aprovechar este residuo, por su composición nutricional mediante investigaciones para dar a conocer características específicas que puedan ser consideradas en el planteamiento de productos alimenticios con un valor nutricional más alto, ya que en la actualidad la mal nutrición es una de las problemáticas de gran magnitud en todo el mundo, ya sea por la desnutrición, la obesidad o enfermedades no transmisibles, a consecuencia de una mala alimentación

Actualmente, existe un creciente interés en aprovechar este subproducto debido a su composición nutricional. Mediante investigaciones, se buscan identificar características específicas que permitan desarrollar productos con un mayor valor nutricional. Esto es especialmente relevante en el contexto global, donde la malnutrición es una preocupación importante, abarcando desde la desnutrición hasta la obesidad y enfermedades no transmisibles, todas vinculadas a una dieta inadecuada (Código Alimentario Argentino, 2020)

1.2 Justificación

- Por medio del presente trabajo de investigación, se pretende aprovechar y transformar el bagazo cervecero en harina, de esta manera disminuimos los residuos sólidos que afectan al medio ambiente como a la empresa generando malos olores y ocupando espacios.
- El bagazo cervecero es una fuente rica en nutrientes esenciales como fibra dietética, proteínas y compuestos bioactivos. Al procesarlo y convertirlo en

harina, se concentran y conservan estos nutrientes valiosos, ofreciendo una opción alimenticia nutritiva y saludable a la provincia Cercado.

- La harina obtenida de bagazo cervecero podrá ser incorporada en la formulación de distintos productos alimenticios; panes, pastas, galletas, etc. ofreciendo al mercado local productos diferenciados con alto valor nutricional.
- La cervecería artesanal Macabra desaprovecha el bagazo al descartarlo como un residuo ya que desconoce de sus propiedades nutritivas, entonces, con el presente trabajo se pretende incentivar a la reutilización aplicando procesos de deshidratado.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación son los siguientes:

1.3.1 Objetivo general

Plantear una metodología experimental para obtener harina de bagazo cervecero mediante el proceso de deshidratado con aire caliente con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de dos variedades de bagazo cervecero con el propósito de conocer su composición nutricional.
- Realizar pruebas preliminares a las muestras de bagazo cervecero con el fin de mejorar el aroma en la harina de bagazo cervecero.

- Aplicar el diseño experimental en el proceso de deshidratado, con la finalidad de identificar los factores que tiene mayor influencia en las muestras de bagazo para obtener harina.
- Realizar una molienda y tamizado adecuado para obtener harina de bagazo cervecero con características óptimas.
- Realizar un análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la harina de bagazo cervecero
- Realizar balance de materia y energía para determinar las corrientes de entrada y salida del proceso para la obtención de harina.
- Elaborar pan utilizando harina de bagazo cervecero con la finalidad de demostrar la aplicabilidad del producto final.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación de la metodología experimental del proceso de deshidratado por aire caliente para obtener harina de bagazo cervecero.

1.5 Campo de acción

El campo de acción propuesto para el siguiente trabajo de investigación se detalla a continuación:

- **Espacial:** El presente trabajo, se realizó en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), provincia Cercado del Departamento de Tarija.
- **Temporal:** El presente trabajo se realizó en las gestiones 2022-2023.
- **Institución:** La institución donde se desarrolló el trabajo de investigación fueron los siguientes: Laboratorio Taller de Alimentos (LTA), Laboratorio de

Operaciones Unitarias (LOU) y Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA).

1.6 Planteamiento del problema

El bagazo cervecero es un subproducto abundante desechado por la industria cervecera a vertederos o como alimento para animales. Así mismo, su rápida descomposición lo convierte en un problema para la empresa y para el medio ambiente. La falta de información sobre sus propiedades nutricionales y beneficio que posee el bagazo hace que sea eliminado como desecho, desperdiciando un recurso con alto valor nutritivo. Para lo cual, la transformación del bagazo cervecero en harina permitirá conservar sus nutrientes y ser utilizado en la industria alimentaria para la elaboración de diversos productos alimenticios (panes, galletas, snacks y otros), aumentando su valor nutricional.

1.7 Formulación del problema

¿Cómo puede aplicarse eficazmente la metodología de deshidratado por aire caliente a nivel experimental, para transformar el bagazo cervecero en harina de calidad, aprovechando así sus propiedades nutricionales y funcionales en la elaboración de productos alimenticios para la provincia Cercado del departamento de Tarija?

1.8 Hipótesis

Mediante la aplicación del proceso de deshidratado por aire caliente a nivel experimental, se logrará obtener harina de bagazo cervecero un producto de calidad, para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del bagazo cervecero

El bagazo cervecero industrial o artesanal, también conocido como residuo de malta o residuo de grano, se origina después del proceso de malteado y maceración utilizados en la elaboración de la cerveza, siendo el subproducto de la fabricación de cerveza. Este representa el 85% del total de los residuos generados en la industria cervecera, considerado de esta manera, el más importante desecho proveniente de ese proceso. (Camacho & Grande, 2021).

2.2 Definición del bagazo cervecero

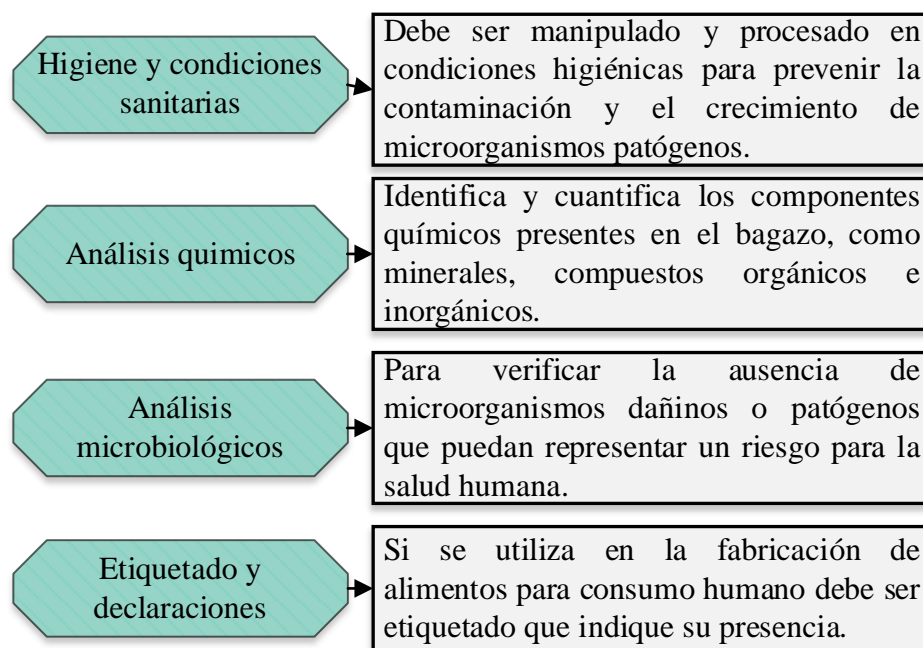
Según (Reglamento (UE) N°68/213), define al bagazo de cerveza como al residuo compuesto por cereales malteados o no malteados y otros productos amiláceos, que pueden contener materias de lúpulo. Suele comercializarse en estado húmedo, pero también puede venderse en forma seca. Además, se permite que contenga un 0,3 % de dimetilpolisiloxano, 1,5 % de enzimas y 1,8 % de bentonita.

Asimismo, (Código Alimentario Argentino, 2021), se refiere al bagazo cervecero como residuo sólido que queda después de la maceración y filtración de los granos malteados (cebada, trigo, maíz, arroz, sorgo) en la fabricación de cerveza. Este subproducto de la industria cervecera está sujeto a regulaciones y normativas para un manejo y uso adecuado, especialmente si se considera ser utilizado en la producción de alimentos para consumo humano.

2.2.1 Normas y regulaciones sobre el bagazo cervecero para su uso alimentario

Las regulaciones alimentarias tienen como propósito fundamental garantizar la seguridad y calidad de los alimentos. Estas normativas se enfocan en aspectos como la higiene, la inocuidad alimentaria, la composición, el etiquetado y la trazabilidad. Estas medidas son esenciales para proteger la salud pública y garantizar que los alimentos sean adecuados para el consumo. (FAO, 2016).

Según el (Código Alimentario Argentino, 2021), el bagazo cervecero utilizado para consumo humano y fabricación de alimentos debe seguir las normas alimentarias donde se establece requisitos específicos para su procesamiento y manipulación. En la figura 2.1, se describe el procesamiento y manipulación del bagazo cervecero



Fuente: Código Alimentario Argentino, 2021

Figura 2.1: Normas de procesamiento y manipulación del bagazo cervecero

2.2.2 Valorización del bagazo cervecero

En la industria alimentaria, se genera una cantidad significativa de residuos, muchos de los cuales tienen el potencial de ser útiles como subproductos, es por ello que se está aplicando medidas para aprovechar y valorizarlos. Sin embargo, la cuestión de su reutilización sigue sin estar completamente solucionada (Pantoja, 2021).

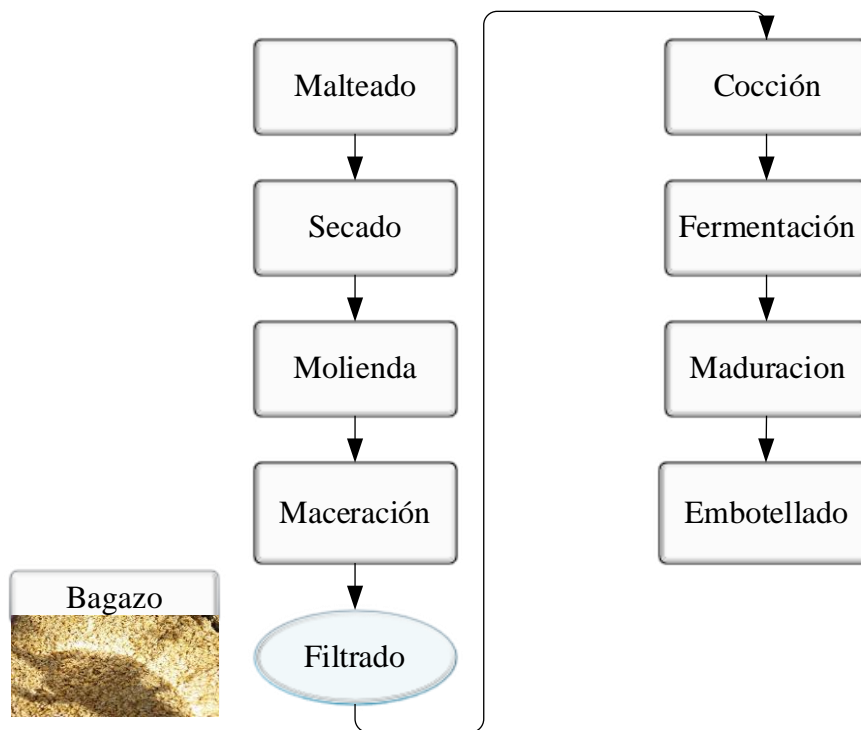
En el caso de la industria cervecera, se genera gran cantidad de materia orgánica, sólidos y otras sustancias, lo que demanda la implementación de acciones para una adecuada gestión de los residuos generados por esta industria, de tal manera valorizar el bagazo cervecero no solo ayuda a reducir el impacto ambiental de este subproducto,

sino que también puede generar oportunidades económicas y sociales, fomentando prácticas más sostenibles en la industria cervecera (Torrente, 2019).

2.3 Etapas del proceso de producción de cerveza

Todas las cervezas se elaboran mediante procesos que se rigen bajo ciertas normas de inocuidad para asegurar la calidad de la fabricación (Leiva et al., 2021).

En la figura 2.2 se muestra el proceso de elaboración de cerveza, marcándose la etapa en la que se obtiene el bagazo cervecero:



Fuente: Leiva et al., 2021

Figura 2.2: Proceso de obtención de cerveza

El proceso de malteado de la cebada se lleva a cabo humedeciendo los granos del cereal y generando las condiciones de temperatura para la germinación; durante esta etapa se activa la producción de enzimas digestivas. A continuación, se realiza un tratamiento térmico controlado para secar la cebada malteada y favorecer las reacciones de Maillard

que generan productos que otorgan color, sabor y olor. El objetivo de la molienda es reducir el tamaño de partícula del material vegetal y favorecer su hidratación durante el proceso de maceración. Durante la maceración, las enzimas presentes en la malta, como las amilasas y proteasas, descomponen los almidones en azúcares más simples (maltosa y glucosa) permitiendo su hidrólisis. Posteriormente, el mosto (líquido) se separa mediante filtración del bagazo, que está compuesto por los restos sólidos de granos luego de la extracción de las moléculas solubles fermentables. Durante la cocción del mosto se incorpora el lúpulo; el hervor favorece la extracción de los compuestos amargos y aromáticos del lúpulo y permite la evaporación de agua para concentrar los sólidos disueltos, la inactivación de las enzimas, la floculación de las partículas en suspensión y la eliminación de microorganismos. Se regula la temperatura y se añade la levadura para iniciar la fermentación, que produce alcohol, dióxido de carbono y otros compuestos que otorgan sabores y olores característicos. La maduración de la cerveza a bajas temperaturas mejora su calidad y favorece su clarificación ya que permite la eliminación de proteínas sensibles al frío. Finalmente se envasa en recipientes apropiados para su comercialización (Leiva et al., 2021).

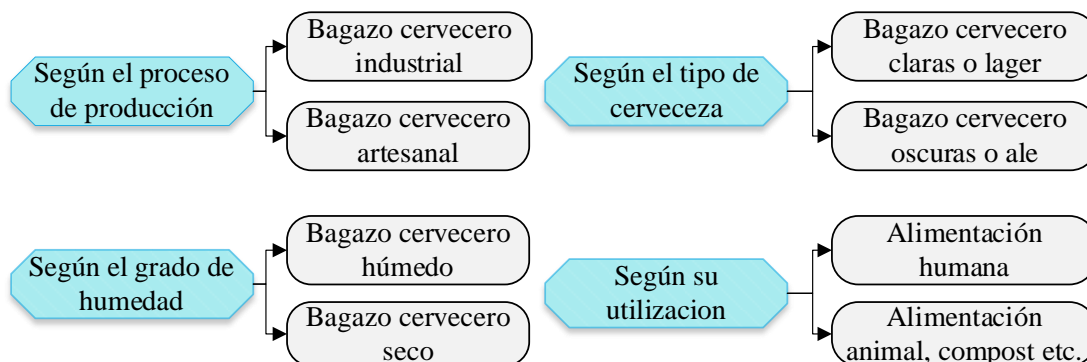
2.3.1 Datos de producción de bagazo cervecero

El bagazo cervecero es el mayor subproducto de la industria cervecera, abarcando el 85% de los subproductos generados, se obtiene 20 kg de bagazo por cada 100 litros de cerveza producida. En 2018, se produjeron una cantidad de 23.756.952 hl de cerveza, que equivalen a 475.179 toneladas de bagazo (Ikram et al., 2017).

Anualmente se genera 3,4 millones de toneladas de bagazo de cerveza. A pesar de su gran volumen de producción, el sector cervecero no le ha prestado mucha atención a este subproducto de forma que se ha usado tradicionalmente como alimento de animales. En los últimos años, el bagazo cervecero ha ido ganando la atención para el consumo humano debido a sus componentes bioactivos y sus efectos beneficiosos para la salud. (Ikram et al., 2017).

2.4 Clasificación del bagazo cervecero según sus características y usos

En la figura 2.3, se muestra la clasificación del bagazo cervecero según sus características y usos.



Fuente: Cerisuelo & Bacha, 2021

Figura 2.3: Clasificación del bagazo cervecero según sus características y usos

Según el proceso de producción: Bagazo cervecero artesanal, generado en pequeñas cantidades en elaboraciones locales o caseras, y el industrial, producido en grandes cantidades por la industria cervecera comercial. (Cerisuelo & Bacha, 2021).

Según el tipo de cerveza: El bagazo cervecero puede variar dependiendo de los granos de malta utilizados en su elaboración porter, ale o lager (Cerisuelo & Bacha, 2021).

Según el contenido de humedad: Puede estar húmedo directamente del proceso cervecero o seco tras someterse a deshidratado (Cerisuelo & Bacha, 2021).

Según su utilización: Puede destinarse como alimento para animales debido a su valor nutricional, o transformarse en harina y otros ingredientes para su consumo humano en la elaboración de alimentos (Cerisuelo & Bacha, 2021).

2.5 Estudio realizados al bagazo cervecero para su aprovechamiento

El bagazo cervecero ofrece una amplia gama de posibilidades en cuanto a su aprovechamiento, que van desde su utilización como materia prima en la gastronomía

hasta su conversión en fuente de energía como combustible. Cada uno de estos usos requiere un manejo específico, pero el proceso de almacenamiento y conservación puede ser común e independiente de sus aplicaciones (López, 2021).

Así mismo (Moreno, 2017), menciona las pruebas de estudios y prototipos que se realizaron para la reutilización del bagazo cervecero (Pág. 18).

- Producción de energía por combustión directa.
- Producción de energía natural por fermentación - biogás.
- Elaboración de papel / cartón.
- Como materia prima para el compostaje y creación de tierra de hoja.
- Como alimento para animales de campo. El uso actual más habitual.
- Como harina, para el sector panadero.
- Como materia prima para productos comestibles: barras energéticas, pan, galletas, entre otros.
- Material absorbente de tratamientos químicos.
- Cultivo de microorganismos.
- Ladrillos.

2.6 Composición del bagazo cervecero

Es importante tener en cuenta que la composición del bagazo cervecero puede variar dependiendo de factores como los granos de malta utilizados, el proceso de maceración y las técnicas de producción de cerveza específicas. Además, la composición del bagazo cervecero también puede verse afectada por cualquier aditivo o ingredientes adicionales utilizados durante el proceso de elaboración de la cerveza. (Moreno, 2017).

Según (Pacheco, 2022), menciona “que el bagazo es un material lignocelulósico compuesto principalmente por proteínas y fibras, aunque también contiene en menor cantidad lípidos y minerales” (Pág. 1).

Fibras: El bagazo cervecero contiene una cantidad significativa de fibra dietética, que incluye celulosa, hemicelulosa y lignina. Estas fibras son insolubles en agua y aportan volumen y textura al residuo (Pacheco, 2022. Pág. 2).

- **Arabinoxilanos** Los arabinoxilanos se encuentran en los principales cereales, como son el trigo, centeno, cebada, avena, arroz, sorgo, etc. se localiza en las paredes celulares del endospermo, el salvado y la cascarilla. Consumir favorece la salud, por su efecto prebiótico, capacidad antioxidante o su función inmunitaria, ayudando a fortalecer el sistema inmunológico (Lagiéns, 2018).

Proteínas: Los granos de malta utilizados en la producción de cerveza contienen proteínas, y una parte de estas proteínas se encuentra presente en el bagazo cervecero. Estas proteínas pueden variar en su composición y calidad (Pacheco, 2022. Pág. 2).

Carbohidratos: El bagazo cervecero contiene carbohidratos no fermentables, como almidón resistente y otras formas de carbohidratos complejos. Estos carbohidratos no se convierten en azúcares fermentables durante la maceración y, por lo tanto, permanecen en el bagazo (Pacheco, 2022. Pág. 2).

Grasas y lípidos: En menor proporción, el bagazo cervecero puede contener pequeñas cantidades de grasas y lípidos. Estos lípidos pueden estar presentes debido a la presencia de aceites naturales en los granos de malta (Pacheco, 2022. Pág. 2).

Minerales: El bagazo cervecero también puede contener minerales, como calcio, potasio, magnesio y fósforo. Estos minerales provienen tanto de los granos de malta utilizados como de los procesos de elaboración de la cerveza (Pacheco, 2022. Pág. 2).

2.6.1 Factores principales a considerar para almacenar el bagazo cervecero

Según (Ikram et al., 2017), uno de los problemas que tiene este residuo es su elevado contenido de humedad aproximadamente entre (70 – 85) %, que provocan problemas en su almacenaje y transporte. Debido a esta humedad, se lo considera un material de

desecho debido a que esta aumenta el riesgo de descomposición microbiológica. Así mismo, (Cruz, 2018) menciona que, para evitar estos problemas, se suele utilizar el proceso de deshidratado (hornos, deshidratador de bandejas, exposición al sol) como método de conservación del bagazo de cerveza.

2.6.2 Composición química del bagazo cervecero

En la tabla 2.1, se muestra los resultados obtenidos de (Mussatto & Roberto, 2006) y (Waters et al., 2012) para evidenciar las diferencias que existen en la composición química de los bagazos producidos en diferentes cervecerías, considerando que utilizaron ambos cebada únicamente como base.

Tabla 2.1

Composición química del bagazo cervecero

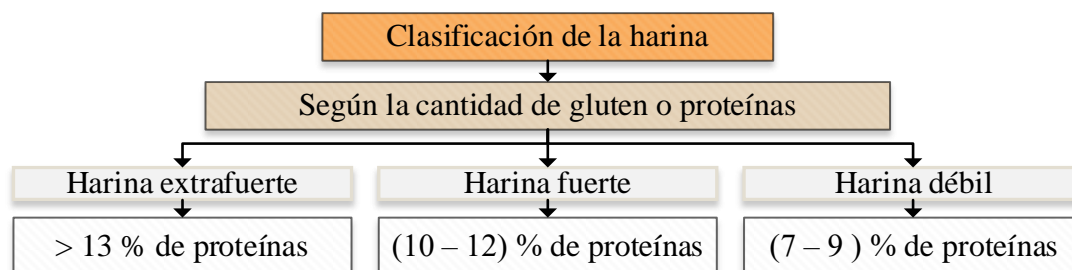
Componente	Mussatto & Roberto (2006)	Waters et al. (2012)
Hemicelulosa	28,4	22,2
Celulosa	16,8	26,0
Almidón	n.d.	n.d.
Proteína	15,2	22,1
Lignina	27,8	n.d.
Lípidos	n.d.	n.d.
Cenizas	4,6	1,1

Fuente: Capurro, 2018

2.7 Clasificación de la harina

La harina puede ser clasificada de distintos modos y poseer múltiples finalidades. Según (Sifre et al, 2019), “las harinas en general, se clasifican teniendo en cuenta la cantidad de gluten o proteínas que poseen” (Pág. 6), las cuales se utilizaran para hacer referencia a la harina de bagazo cervecero.

En la figura 2.4, se muestra la clasificación de la harina según la cantidad de gluten o proteínas.



Fuente: Sifre et al., 2019

Figura 2.4: Clasificación de la harina según el contenido de proteínas

Harina extrafuerte: Se caracteriza por tener un alto porcentaje de proteínas (sobre el 13%). Se obtiene a partir de trigo seco y se utiliza fundamentalmente para la elaboración de pastas alimenticias (Sifre et al., 2019. Pág. 6).

Harina fuerte: La harina fuerte tiene porcentaje de proteína entre un 10 y un 12%, y se utiliza para la elaboración de pan (Sifre et al., 2019. Pág. 6).

Harina débil: La harina débil tiene un porcentaje entre el 7 y el 9%. Se usan para la elaboración de repostería y galletas, y no es apta para la elaboración del pan porque no mantiene estructura firme (Sifre et al., 2019).

2.8 Aplicaciones y usos de harina de bagazo cervecero

La harina de bagazo cervecero es un insumo alimenticio novedoso resultante del proceso de la cervecería. Su utilización en la industria de alimentos ha encaminado a la producción de panes integrales, galletas, pastas, barras energéticas, con especiales características de color, sabor y textura. Aumentando su valor nutricional debido a su alto contenido en fibra (arabinoxilanos), proteínas y minerales (Pantoja, 2020).

La harina de bagazo cervecero tiene una limitación respecto a la harina trigo y es que afecta las propiedades reológicas del alimento debido a la presencia de compuestos volátiles que son liberados en el proceso de horneado. Una alternativa para la solución de este inconveniente es mezclar la harina fermentada con harina de trigo, pues las enzimas producidas en la fermentación hidrolizan el arabinoxilano, mejorando las

propiedades sensoriales y la vida útil del producto, además, este proceso mejora el efecto antioxidante de la masa. (Camacho & Grande, 2020).

2.9 Propiedades nutricionales de la harina de bagazo cervecero

Según (Alvis et al, 2011), al mezclar harina trigo con harina de bagazo cervecero, se incorpora un aporte nutricional considerable:

- Aumenta el contenido de fibra
- Aumenta el contenido de proteínas
- Aumenta el contenido de aminoácido esencial
- Disminuye el contenido de calorías en relación a otras harinas.

Beneficios para la salud.

- Protección de huésped contra patógenos
- Inducción a respuesta inmune
- Disminución de síntesis de colesterol
- Anticancerígeno: Protección contra el desarrollo de cáncer de colon

2.9.1 Características fisicoquímicas de la harina de bagazo cervecero

En la tabla 2.2, se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica del bagazo cervecero proveniente de residuos de maltas pale ale y Pilsen, utilizadas para la elaboración de cerveza rubia (Pantoja, 2020).

Tabla 2.2

Características fisicoquímicas de la harina de bagazo cervecero

Componentes	Unidades	Contenido
Humedad	%	9,54
Cenizas	%	2,20
Fibra	%	7,80
Grasas	%	2,60
Proteína	%	14,20

Fuente: Pantoja, 2020

2.9.2 Características microbiológicas de la harina de bagazo cervecero

En la tabla 2.3, se muestran los resultados de la caracterización microbiológica del cervecero proveniente de residuos de maltas pale ale y pilsen, utilizadas para la elaboración de cerveza artesanal rubia (Pantoja, 2020).

Tabla 2.3

Características microbiológicas de la harina de bagazo cervecero

Componentes	Unidades	Contenido
Aerobios mesófilos	(UFC/g)	<1,0x10 ³
Mohos	(UFC/g)	<1,0x10 ³
Escherichia coli	(UFC/g)	Ausencia

Fuente: Pantoja, 2020

2.10 Proceso de deshidratado de alimentos

Las operaciones que conducen a este proceso consisten en reducir su contenido de agua hasta un valor que inhiba toda actividad microbiana o enzimática, estas técnicas permiten prolongar la vida útil. La deshidratación de un alimento facilita la conservación del producto, reducción del peso y volumen (Aguado et. Al. 2022).

2.11 Proceso de deshidratado del bagazo cervecero

El proceso para obtener harina comienza con el acondicionamiento y pesado del bagazo fresco para poder distribuirlo en fracciones equitativas y trabajar con un peso homogéneo. Luego se realiza el prensado de cada porción para reducir la humedad hasta un 60-65% y disminuir el tiempo de deshidratado en el horno deshidratador. Para esta labor se utiliza una prensa hidráulica y el prensado será durante 4-5 minutos. El deshidratado se puede producir en horno eléctrico o a gas, a una temperatura constante de 65 °C durante unas 4 horas aproximadamente. La humedad final no deberá superar el 15 % para poder obtener una molienda adecuada, la cual se realiza para reducir el tamaño de las partículas utilizando un molinillo de laboratorio o un molino para harinas. Para finalizar el proceso se procede a tamizar el producto con la finalidad de obtener harina (Martínez, 2020).

2.11.1 Deshidratado por aire caliente

El proceso empieza cuando un alimento se pone en contacto con aire caliente de una temperatura y humedad dada, Este último proporciona el calor latente necesario para que el agua del producto pase a vapor. De esta manera el vapor de agua abandona alimento por difusión, a través de la película de aire en reposo que rodea a la superficie del producto, hasta alcanzar la corriente de aire en movimiento, y se encarga de arrastrarlo. (Agudo et al., 2002).

Para lograr un buen deshidratado, los productos deben tener suficiente espacio entre las partes que la componen. Las temperaturas de deshidratado oscilan entre (38 –71) °C, asegura la destrucción de las bacterias y la inactivación de las enzimas, la temperatura recomendada por los expertos es de 43 °C debido a que demasiado calor al comienzo del proceso impide un deshidratado completo (Almada et al, 2005)

2.11.2 Tipos de secadores

En la figura 2.5, se muestran los tipos de deshidratadores de forma directa e indirecta

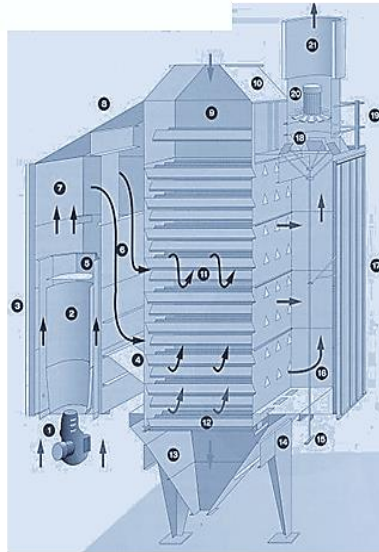
Directos		Indirectos
Continuos	Por cargas	De bandejas a vacio
De tunel	De horno	De tornillo sinfin
Rotatorios	De bandejas	De rodillos
Por arrastre		
Por aspersion		

Fuente: Valdés et al, 2018

Figura 2.5: Tipos de secadores

2.11.2.1 Secador de bandejas con aire caliente

Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar. El aire caliente circula entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor haciéndole pasar previamente por el calentador constituido por un haz de tubos por donde circula el vapor de agua y por medio de los tabiques distribuyen uniformemente el calor (Maupoey et al., 2016). En la figura 2.6 se muestra el secador de bandejas por aire caliente.



Fuente: Maupoey et al., 2016

Figura 2.6: Secador de bandejas

2.12 Cinética de secado

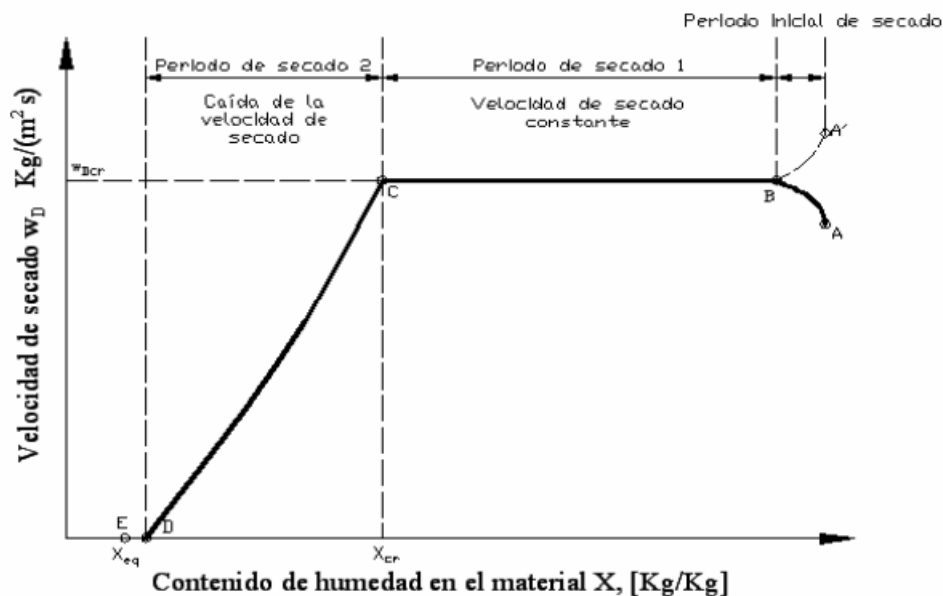
La cinética de secado de un material relaciona la variación del contenido de humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo. A partir de curvas de cinética de secado, que pueden ser obtenidas a nivel de laboratorio puede hacerse una idea de tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, de la

influencia que tiene en la velocidad de secado las variables del proceso, tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc. (Maupoey et al., 2016).

Según (Rodríguez, 2014) define la película de secado por pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo a condiciones constantes de secado. Analíticamente la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de deshidratado, de acuerdo con la ecuación 2.1.

$$N = \frac{S}{A} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{\text{Peso del solido seco}}{\text{area de la superficie expuesta}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

En la figura 2.7 se muestra el tramo horizontal proporcionado por la velocidad constante y los tramos de velocidad decreciente.



Fuente: Rodríguez, 2014

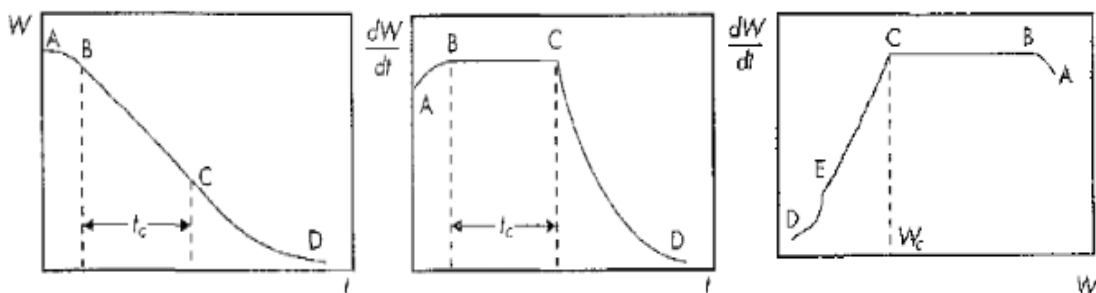
Figura 2.7: Cinética de secado

En la figura 2.7, se observa el contenido de humedad a través del tiempo en el proceso de secado. En el período inicial de secado, el cambio de unidad en el material está ilustrado en la curva A-B. al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal del tipo $X = F(t)$, En este periodo la velocidad de secado es constante (recta B-C). El secado

mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega a un punto crítico (Punto C) donde la línea recta tiende a curvarse y a formar una asíntota con el contenido de humedad X_{eq} , que representa el valor mínimo de humedad en el proceso de secado. esto quiere decir que el punto E jamás es tocado. (Rodríguez, 2014)

2.12.1 Curvas de secado

Según (Agudo et al, 2002) menciona que la representación de la humedad de producto frente al tiempo de secado es el punto de partida para establecer la velocidad de secado a lo largo de la operación. En la figura 2.8, se muestran las etapas del secado de un alimento con aire caliente.



Fuente: Agudo et al, 2002

Figura 2.8: Etapas de secado de un alimento por aire caliente

En la figura 2.8, se muestran las variaciones típicas de la humedad de un alimento y de su velocidad de secado frente al tiempo, la tercera gráfica informa sobre cómo varía la velocidad de secado conforme se reduce la humedad del sólido. El proceso de secado esta dividido en periodos para la velocidad de secado, los cuales se describen a continuación:

Periodo de estabilización (Tramo A-B): No es significativo frente al tiempo total de secado, se caracteriza por la cesión de calor sensible del aire al alimento aumentando su temperatura. Esta fase termina cuando la temperatura del alimento se iguala con el bulbo húmedo del aire (Agudo et al, 2002).

Periodo de velocidad constante (Tramo B-C): El agua de este periodo migra desde el interior del alimento hasta su superficie con la misma velocidad que se evapora desde la superficie hacia el aire, debido al equilibrio existente entre el flujo de calor y el flujo de materia permitiendo que la superficie del alimento retenga la saturación del agua, este periodo finaliza cuando se alcanza la “humedad critica” del producto (Agudo et al, 2002).

Periodo de velocidad decreciente (Tramo C-E): Comienza con la velocidad migración del agua desde el interior del producto hacia la superficie decae respecto a la velocidad de evaporación del agua, lo que conduce a un secado total en la superficie del alimento que alcanza la temperatura de bulbo seco del aire, controlando por la difusión del alimento (Agudo et al, 2002).

Periodo segundo de velocidad decreciente (Tramo E-D): Una vez seca la superficie del sólido, se caracteriza por la evaporación del agua desde la superficie hacia el centro del producto conforme avanza el secado, la operación está controlada por la difusión interna del vapor de agua, el secado se da por terminado cuando la humedad del alimento se aproxima a su contenido de humedad en equilibrio (Agudo et al, 2002).

2.13 Factores que influyen en el proceso de secado

Los factores que influyen en el proceso de secado se describen a continuación:

2.13.1 Temperatura de bulbo seco

De acuerdo (Agudo et al, 2002 Pág. 157), indica que “se trata de la temperatura medida por un sensor (termómetro estándar) al efecto sin modificar, en el caso de un termómetro convencional dicho sensor seria su bulbo”.

2.13.2 Temperatura bulbo húmedo

De acuerdo con (Agudo et al., 2002), afirma que se determina mediante un termómetro cuyo bulbo será recubierto por un trapo permanentemente saturado con agua, al circular

con aire insaturado a través del termómetro húmedo tiende a ganar humedad, con lo que la temperatura medida disminuye. Esta situación se compensa por sesión de calor sensible por parte del aire. Se alcanza el estado estacionario cuando el calor sensible cedido por el aire es igual al que toma como latente. La temperatura correspondiente a este equilibrio es la denominada temperatura de bulbo húmedo.

2.13.3 Temperatura de saturación o punto de rocío

Desde el punto de vista de (Agudo et al., 2002), afirma que es la temperatura a la cual se satura la mezcla aire – vapor de agua conforme se enfría presión y humedad constantes, en este punto se iguala la presión parcial del vapor del agua en el aire (que permanece constante durante el enfriamiento) con la presión del agua (que ha ido disminuyendo al descender la temperatura).

2.13.4 Naturaleza del alimento

Según (Navarro, 2007. Pág. 9), “indica que la naturaleza del alimento hace referencia a la forma del agua que se encuentra presente en los alimentos puede ser agua libre, agua débilmente ligada y agua fuertemente ligada por uniones electrostáticas del extracto seco”

2.13.5 Área de superficie del alimento

Las ventajas que presenta al aumentar la superficie de contacto de intercambio de aire con el producto es: en el periodo de estabilización, mientras mas pequeños los trozos antes alcanzara la temperatura adecuada para un secado efectivo, en el periodo de velocidad constante la evaporación será más rápida cuanto mayor sea la superficie de contacto entre el aire y el producto en el periodo de velocidad decreciente la eliminación del agua del producto será más fácil cuanto menor sea el tamaño de los trozos (Casp & Abril, 2003)

“Al exponer mayor área superficial facilita la transferencia de masa y calor, además de que las partículas pequeñas reducen la distancia que el calor recorre a fin de llegar a la superficie y escaparse” (Vega et al., 2009. Pág. 97)

2.13.6 Velocidad de secado

Según (Cabrera, 2004), indica que el movimiento de humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física como la temperatura y contenido de humedad. En una operación de secado cualquiera de estos factores determina la velocidad de secado. A partir de la transferencia de calor hacia un sólido húmedo, y el gradiente de temperatura se desarrolla dentro del sólido mientras que la evaporación de humedad ocurre en la superficie.

2.14 Caracterización del alimento

Desde el punto de vista de (Brenan et al., 1998) los alimentos son mucho más complejos, entre los componentes de los alimentos figuran las proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas, enzimas y sales orgánicas, mucho de estos componentes están fuertemente hidratados. El agua presente en los alimentos no se encuentra en estado puro, sino que forma parte de disoluciones afectando la conducta durante el proceso de secado y en la calidad del producto final.

2.14.1 Actividad de agua en los alimentos

La variable que determina la vida útil del alimento es la cantidad de agua disponible para la actividad microbiana, bioquímica o enzimática. La reducción del contenido de humedad del alimento implica una disminución paralela de la actividad de agua (Aguado et al., 2002). A continuación, se detallan algunos estados del contenido de humedad.

2.14.1.1 Contenido de humedad

“El contenido de humedad de los alimentos es de gran importancia porque indica la estabilidad de los alimentos, conocer su contenido de humedad es de importancia para formular un producto y evaluar pérdidas durante el proceso” (Navarro, 2007. Pág. 9).

2.14.1.2 Contenido de humedad en base húmeda

Según (Dávila, 2004. Pág. 52) afirma que “el contenido en base húmeda es la cantidad de agua por unidad de masa de muestras húmeda”, como se describe en la ecuación (2.1).

$$H_{BH} = \frac{m_A}{m_A + m_{SS}} = \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de sólido húmedo}} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

$$m_{SS} = m_i (1 - H_{BH}) \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

2.14.1.3 Contenido de humedad en base seca

Según (Dávila, 2004. Pág. 52) afirma que “el contenido de humedad en base seca es la cantidad de agua por unidad de masa del sólido de la muestra”, como se describe en la ecuación (2.2) y la ecuación (2.3) para el cálculo de la masa del sólido seco.

$$H_{BS} = \frac{m_i + m_{SS}}{m_{SS}} = \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de sólido seco}} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

$$m_{SS} = m_i (1 - H_{BH}) = \text{kg de sólido seco} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

2.14.1.4 Contenido de humedad en equilibrio

Desde el punto de vista de (Aguado et al., 2002) afirma que la transferencia de agua desde el alimento el aire en forma de vapor de agua es función, por una parte, del contenido de agua, de su estructura y composición del producto y por otra parte de la temperatura y humedad relativa del entorno ambiental. Al poner contacto ambos medios a una temperatura dada se alcanza un equilibrio entre la presión de vapor de

agua en el alimento y la presión parcial del vapor de agua en el aire. En estas condiciones el alimento adquiere una determinada cantidad de agua, que se define como el contenido de humedad en equilibrio, mientras que el aire del ambiente queda con una humedad dada, denominada humedad relativa en equilibrio.

2.14.1.5 Contenido de humedad libre

Según (Henley, 1988. Pág.10) indica que es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas. Es la humedad que puede perder el sólido después de un tiempo de contacto con el aire en las condiciones dadas y constantes.

2.14.1.6 Contenido de humedad ligada

Según (Henley, 1988. Pág.10) indica que “Es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado; o bien la humedad mínima del sólido necesario para que este deje de comportarse como higroscópicos”.

2.14.1.7 Contenido de humedad no ligada

Según (Henley, 1988. Pág.10) indica que “es la diferencia de la humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con el aire saturado. Si bien el sólido tiene humedad desligada se comportará como húmedo”.

2.14.1.8 Contenido de humedad crítica

Desde el punto de vista de (Henley, 1988) concluye que la humedad crítica de un sólido es el punto que separa los dos periodos de secado ante crítico y poscrítico.

- **Periodo ante – crítico:** Es el periodo de tiempo donde la velocidad de secado es constante, desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.

- **Periodo pos – crítico:** Es el periodo de tiempo donde la velocidad de secado disminuye hasta llegar a un valor a cero, empieza con la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio

2.14.1.9 Contenido de humedad de saturación

Según (Aguado et al., 2002), indica que corresponde al máximo contenido posible de vapor de agua en la mezcla para una temperatura dada. En estas condiciones se dice que el aire se encuentra saturado siendo la presión parcial del vapor de agua igual a la presión de vapor de agua a la temperatura del aire.

2.14.2 Movimiento de solutos

Una característica importante es el movimiento de sólidos solubles durante el secado, el agua líquida que fluye hacia la superficie durante el secado contiene diversos productos en disolución. El desplazamiento de algunos compuestos solubles se ve impedido por las paredes celulares que actúan como membranas semipermeables. La migración de sólido en alimentos contribuye también con la retracción del producto, creando presiones en el interior de las piezas debido al aumento de componentes solubles en la superficie al evaporarse el agua (Brenan et al., 1998).

2.14.3 Densidad y porosidad

Si las velocidades iniciales de secado son altas las capas externas se torna rígidas y su volumen se fija antes, al continuar con el secado los tejidos se rompen internamente generando una estructura abierta, acelerando el proceso de secado. Si las velocidades de secado son bajas las piezas se retraen y el producto tiene mayor densidad. La retracción de los alimentos durante el secado puede influir en las velocidades de secado debido al cambio en el área de la superficie (Brenan et al., 1998).

2.14.4 Retracción del alimento

De acuerdo con (Brenan et al., 1998) indica que durante el secado los tejidos de animales y vegetales provocan cierto grado de retracción del producto durante las primeras fases a bajas velocidades, la retracción está relacionada con la cantidad de agua eliminada haciendo cada vez menor, de modo que el tamaño y la forma final del producto se alcance antes de completar el proceso de secado.

2.14.5 Formación de la costra

Según (Brenan et al., 1998) indica que la formación de una película impermeable y dura en la superficie del alimento frena el secado, a este fenómeno se denomina formación de la costra. Aunque se desconozca el mecanismo exacto es probable que este influido por múltiples factores, entre ellos se destaca la migración de sólidos solubles a la superficie y elevadas temperaturas de secado los cuales conducen a complejos cambios físicos y químicos en la capa superficial.

2.15 Molienda

Se entiende por molienda, a la obtención de formas más pequeñas de los materiales sólidos mediante la utilización de equipos donde se llevan a cabo operación de cortado, picado, triturado o molido. Muchos productos entre ellos las harinas se obtienen por operaciones de molienda (Campos, 2015).

La molienda es la trituración del grano para obtener harinas gruesas o finas de acuerdo con el molino y malla que se emplee. Entre los tipos de molino más usados se tiene: molinos de piedra y molinos de martillo (Campos, 2015)

2.15.1 Molino de martillos

Utilizado para reducir la granulometría, mediante la rotación de un eje al que están adosados martillos de aleaciones duras. Este tipo de molino de impacto o percusión es común en la industria alimenticia. Tiene un eje rotatorio que gira a gran velocidad,

lleva un collar con varios martillos a su entorno además que es de acero inoxidable; lo cual evita el deterioro y contaminación del material a moler (Pérez, 2018).

2.16 Factores que influyen en la molienda

Las características del material a procesar determinan su resistencia a la fractura. Las propiedades más importantes de la alimentación aparte de su tamaño son:

2.16.1 Dureza

La dureza del material afecta el consumo de potencia y el desgaste de la máquina. con materiales duros y abrasivos es necesario utilizar una máquina de baja velocidad para proteger los rodamientos de los polvos abrasivos que se producen. El desgaste del equipo además de contaminar el producto, es una parte sustancial del costo de la molienda (Quisberth, 2019).

2.16.2 Contenido de humedad

Se ha encontrado que los materiales no fluyen bien si ellos contienen alrededor de 8 y 50% de humedad; bajo estas condiciones el material tiende a formar una torta que se une en forma de bolas. Una molienda en tales condiciones es imposible. Es por ello que cada material debe estar en óptimas condiciones (Quisberth, 2019).

2.17 Tamizado

El tamizado es un método de separación de partículas que se basa solamente en la diferencia de tamaño. En el tamizado industrial se vierten los sólidos sobre una superficie perforada o tamiz, que deja pasar las partículas pequeñas, o “finos“, y retiene las de tamaños superiores, o “rechazos“(Salinas, 2013).

Para aplicar la operación unitaria del tamizado es necesario que las fases se presenten en estado sólido. Se utilizan tamices de metal o plástico, que retienen las partículas de mayor tamaño y dejan pasar las de menor diámetro (Salinas, 2013).

En la tabla 2.4, se muestra la abertura de la serie tamices UNE y su equivalencia a la serie ASTM.

Tabla 2.4

Abertura de la serie de tamices UNE y su equivalencia correspondiente de la serie ASTM

Designación y abertura (mm) UNE	Designación del tamiz ASTM (N°)
5,00	4
4,00	5
3,20	6
2,50	8
2,00	10
1,60	12
1,25	16
1,00	18
0,80	20
0,63	30
0,50	35
0,40	40
0,32	50
0,25	60

Fuente: Redondo, 2017

2.18 Descripción de los tratamientos empleados para desodorizar el bagazo cervecero

Al no encontrar métodos de remoción de aroma a fermento del bagazo cervecero se buscó tratamientos alternativos que se describen a continuación:

2.18.1 Tratamiento químico

Los tratamientos químicos permiten obtener alimento con mayor estabilidad microbiológica, conservar sus características, fisiológicas, fisicoquímicas y mejorar la calidad sensorial.

Bicarbonato de Sodio: Es un polvo fino, blanco e inodoro, en la industria alimentaria se utiliza como agente leudante, regulador de acidez puede absorber olores desagradables y disminuir los niveles de humedad. (Pérez, 2021)

2.18.2 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico de los alimentos, tiene como finalidad la destrucción del microorganismo a través de calor se utiliza previo al secado, liofilización, congelación, fritura y pelado de verduras y algunas frutas (Tigreros et al, 2021).

Escaldado

El objetivo principal del escaldado es inactivar las enzimas responsables de las reacciones de deterioro que contribuyen a los sabores, olores y colores desagradables en los alimentos (Tigreros et al, 2021)

2.18.3 Tratamiento de enjuagado con agua

El enjuagado es el proceso de lavar o mojar algo, generalmente con agua u otro líquido, con el propósito de eliminar residuos, suciedad, sustancias no deseadas o químicos. (Pérez & Gardey, 2011).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del presente trabajo de investigación “obtención de harina a partir de bagazo cervecero”, se realizó en los ambientes de Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnologías dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Tipo de intervención para la parte experimental

En el presente trabajo de investigación se consideró la metodología experimental a nivel laboratorio, con el fin de obtener harina a partir de bagazo cervecero, considerando los siguientes métodos y análisis:

- Análisis fisicoquímico y microbiológico a dos variedades de bagazo cervecero procedente de una cerveza oscura (porter) y rubia (summer).
- Características físicas del bagazo cervecero tipo summer.
- Análisis factorial 2^3 en el proceso de deshidratado por aire caliente para obtener harina.
- Cinética de deshidratado en el proceso de deshidratado por aire caliente para la obtención de harina de bagazo cervecero.
- Evaluación sensorial en el proceso de deshidratado.
- Análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la harina de bagazo cervecero.
- Operacionalización de las variables para la obtención de harina de bagazo cervecero en el proceso de deshidratado por aire caliente.

3.3 Tipo de investigación

“La investigación experimental se caracteriza por la manipulación y control de variables que ejerce el investigador durante el experimento”. (Arias, 2006. Pág. 34)

El presente trabajo se desarrolló por medio de la investigación experimental, aplicado en el proceso de deshidratado para la obtención de harina a partir de bagazo cervecero artesanal.

3.4 Paradigma investigativo

Según (Hernández et al., 2018), afirma “que un experimento es un proceso planificado de investigación donde la variable independiente es manipulada u operada intencionalmente por el investigador para conocer qué efectos ocurre sobre la variable dependiente” (Pág. 118). Asimismo, (Gallardo, 2017) el paradigma es una postura macro que se tiene ante la realidad de un fenómeno determinado, donde quienes comparten esas ideas manejan un mismo lenguaje, se orienta a través de valores, metas y creencias; mientras que el enfoque, es la posición que tiene el investigador ante un punto de vista con el propósito de aproximarse a un fin.

Por consiguiente, el tipo de paradigma que sustentará el presente trabajo de investigación será de un paradigma positivista con el objeto de comprobar una hipótesis.

3.4.1 Paradigma positivista

Este paradigma positivista conocido también como cuantitativo o empírico-analítico aplica métodos y técnicas confiables, tomando datos de las pruebas experimentales para un análisis estadístico, buscando la neutralidad de los datos evitando los sesgos que pudieran producirse por preferencias subjetivas e inclinaciones personales del investigador. (Hernández et al., 2018). Así mismo, Ricoy (2006) indica que: “el paradigma positivista sustentará a la investigación que tenga como objetivo comprobar

una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable” (Pág. 14).

Por lo mencionado, el presente trabajo de investigación, se basó en el paradigma positivista; que sustenta el trabajo de investigación por medio de los resultados experimentales de laboratorio.

3.5 Enfoque de investigación

Según (Sánchez, 2019), el “enfoque cuantitativo se denomina así porque trata con fenómenos que se pueden medir a través de la utilización de técnicas estadísticas para el análisis de los datos recogidos, para probar, describir, explicar y predecir las causas de la misma”. (Pág. 104). Así mismo, (Hernández et al., 2018) indican que la investigación cuantitativa confía en la experimentación y los análisis de causa – efecto. Los análisis cuantitativos se interpretan desde la predicción de las hipótesis y las teorías estudiadas, dando como resultado explicaciones acordes con el conocimiento existente.

El presente trabajo de investigación se empleó el enfoque cuantitativo por lo descrito anteriormente.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos

Según (Hernández et al., 2018) “se entiende por método científico la cadena ordenada de pasos basados en un concepto determinado y en reglas que permiten avanzar en el proceso de conocimiento de lo conocido a lo desconocido”. (Pág. 93). Estrechamente relacionadas con el concepto de método se encuentran las técnicas, entendida como el conjunto de reglas y procedimientos que le permiten al investigador establecer una conexión con el objeto o sujeto de la investigación, es decir las normas y criterios que rigen la producción, manipulación y control de los hechos (Hernández et al., 2018).

“El instrumento es el mecanismo que utiliza el investigador para recolectar y registrar la información, considerándose entre ellos las guías de observación y de entrevista, los

cuestionarios de las encuestas, cronómetros, sismógrafos, analizadores de gases, entre otros” (Hernández et al., 2018. Pág. 93).

Para la obtención de harina a partir de bagazo cervecero, los métodos y técnicas empleados, se describen a continuación:

3.6.1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del bagazo cervecero

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.1, se muestra los métodos y técnicas utilizadas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de dos variedades de bagazo cervecero, procedentes de una cerveza oscura (porter) y rubia (summer).

Análisis fisicoquímico		Análisis microbiológico	
Gravimetría	Calculo	Kjeldahl	Placa fluida
Calcinación en mufla Ceniza (%) NB 39034:10	Cálculo indirecto Hidratos de carbono Calculo (%)	Digestión Destilado Valoración Proteína (%) NB/ISO 8968-1:08	Recuento de placa (UFC/g) Echerechia coli NB 32005:02
Digestión Acido-Base Fibra (%) NB 35004:2014	Cálculo indirecto Valor energético Calculo (Kcal/100g)		Mohos y levaduras NB 32006:03
Secado en estufa Humedad (%) NB 313010:05			Coliformes totales NB 32005:02
Soxhlet Grasa (%) NB 313019:06			Investigación P/A Salmonella NB 32007:03

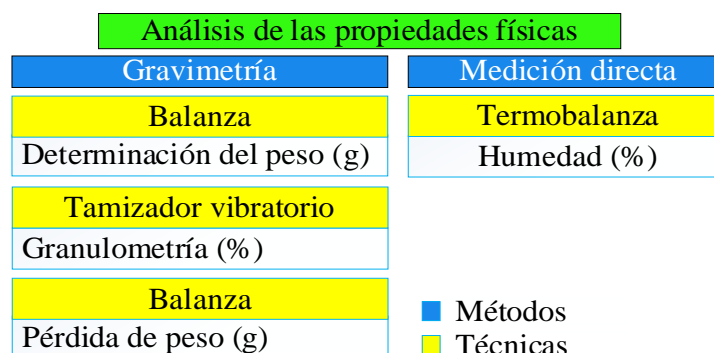
■ Métodos
■ Técnicas

Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.1: Métodos y técnicas para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del bagazo cervecero

3.6.2 Análisis físicos del bagazo cervecero

El análisis físico del bagazo cervecero, se realizó en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniera de Alimentos (LACIA) y Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química. En la figura 3.2, se observan los métodos y técnicas que se utilizaron para determinar el análisis físico del bagazo cervecero summer.

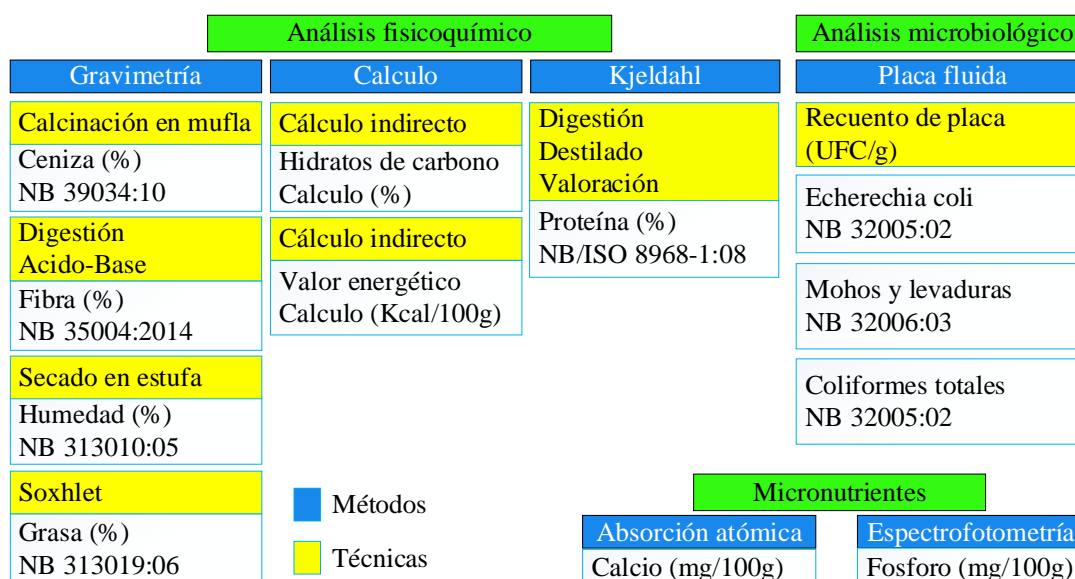


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2: Métodos y técnicas para el análisis físico del bagazo cervecero

3.6.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de bagazo cervecero

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.3, se muestra los métodos y técnicas utilizadas para determinar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina obtenida a partir de bagazo cervecero summer.



Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.3: Métodos y técnicas para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la harina de bagazo cervecero summer

3.7 Equipos, instrumentos de laboratorio, materiales de laboratorio y utensilios de cocina utilizados en el proceso de deshidratado

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación, se utilizaron equipos, instrumentos de laboratorio, material de laboratorio y utensilios de cocina los cuales se describen a continuación.

3.7.1 Equipos

Los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación, están ubicadas en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera Ingeniería Química. En la figura 3.4, se detallan las especificaciones técnicas.

<p style="text-align: center;">Secador de bandejas marca Eztergon</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad 6 bandejas • Dimensiones internas: 1,17 cm de alto – 67,5 cm de largo – 70,0 cm de profundidad 	<p style="text-align: center;">Generador de aire marca INTERMED</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensión 220 V • Velocidad del aire 3 – 5 m/s • Potencia 250 W 	<p style="text-align: center;">Molino de martillos marca Weber Bros Laboratory</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia 1 Kw • Velocidad 9000 rpm • Numero de martillos 18
<p style="text-align: center;">Cocina industrial marca DAKO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia 3.0 KW • Gas GNP 	<p style="text-align: center;">Purificador de agua marca PSA S-1000</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento 80000 L • Carbón activo granular 	<p>■ Equipos de secado □ Especificaciones técnicas</p>

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4: Equipos para la obtención de harina de bagazo cervecero

3.7.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación se encuentran en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) y Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera Ingeniería Química. La figura 3.5, detallan las especificaciones técnicas.

Thermo – hygrometer Marca EHDIS	Anemómetro Marca HT -4000
<ul style="list-style-type: none"> • Rango de humedad: 0% - 100% RH • Rango de temperatura -40 – 105 °C • Punto de rocío: -40 -105 °C • Bulbo húmedo: -0 – 80°C 	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de velocidad de aire: 0.4 -25m/s • Humedad del aire. 20 – 80 % HR
Tamiz vibratorio Marca ORTO ALREZA	Termobalanza Marca RADWARG
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad 7 tamices • Velocidad de agitación: 0 - 3500 rpm • Capacidad maxima de pesado: 2 kg 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima 250°C • Capacidad máxima de pesado 60g
Balanza digital Modelo PS4500.R2	Prensa Hidráulica
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad maxima:4500 g • Capacidad minima: 0,5 g • Temperatura permitido: 10 – 40 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad 1kg • Presión 1000 - 6000 psi • Disco perforado cuyo orificio es de diámetro 2 mm
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Instrumentos de laboratorio Especificaciones técnicas

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Instrumentos de laboratorio en el proceso de deshidratado por aire caliente

3.7.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio necesarios para realizar el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

- **Termómetro de alcohol:** Material de vidrio, capacidad entre (0 - 100) °C.
- **Espátula:** Material de plástico, tamaño mediano.
- **Cronometro:** Tamaño pequeño de plástico.
- **Tamices:** Material de acero inoxidable, luz de 5 m/m, 4 m/m y 2 m/m.
- **Tamices:** Material de acero inoxidable, luz de 0,5 m/m y 0,25 m/m.
- **Guantes:** Material de plástico, tamaño entre (20 – 22) cm

3.7.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de que cocina utilizados en el presente trabajo, se detallan a continuación:

- **Cucharas:** Material Acero inoxidable, tamaño mediano.
- **Jarra graduada:** Material plástico, capacidad de 1 litro dos unidades.

- **Fuente:** Material de plástico, tamaño mediano.
- **Fuente:** Material acero inoxidable, tamaño pequeño.
- **Espátula:** Material plástico, tamaño pequeño.
- **Tela quesera:** Material algodón, tamaño 60 x 60 cm.

3.8 Aditivo de uso alimentario

El aditivo de uso alimentario que se utilizó para realizar el presente trabajo de investigación, se detalla en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

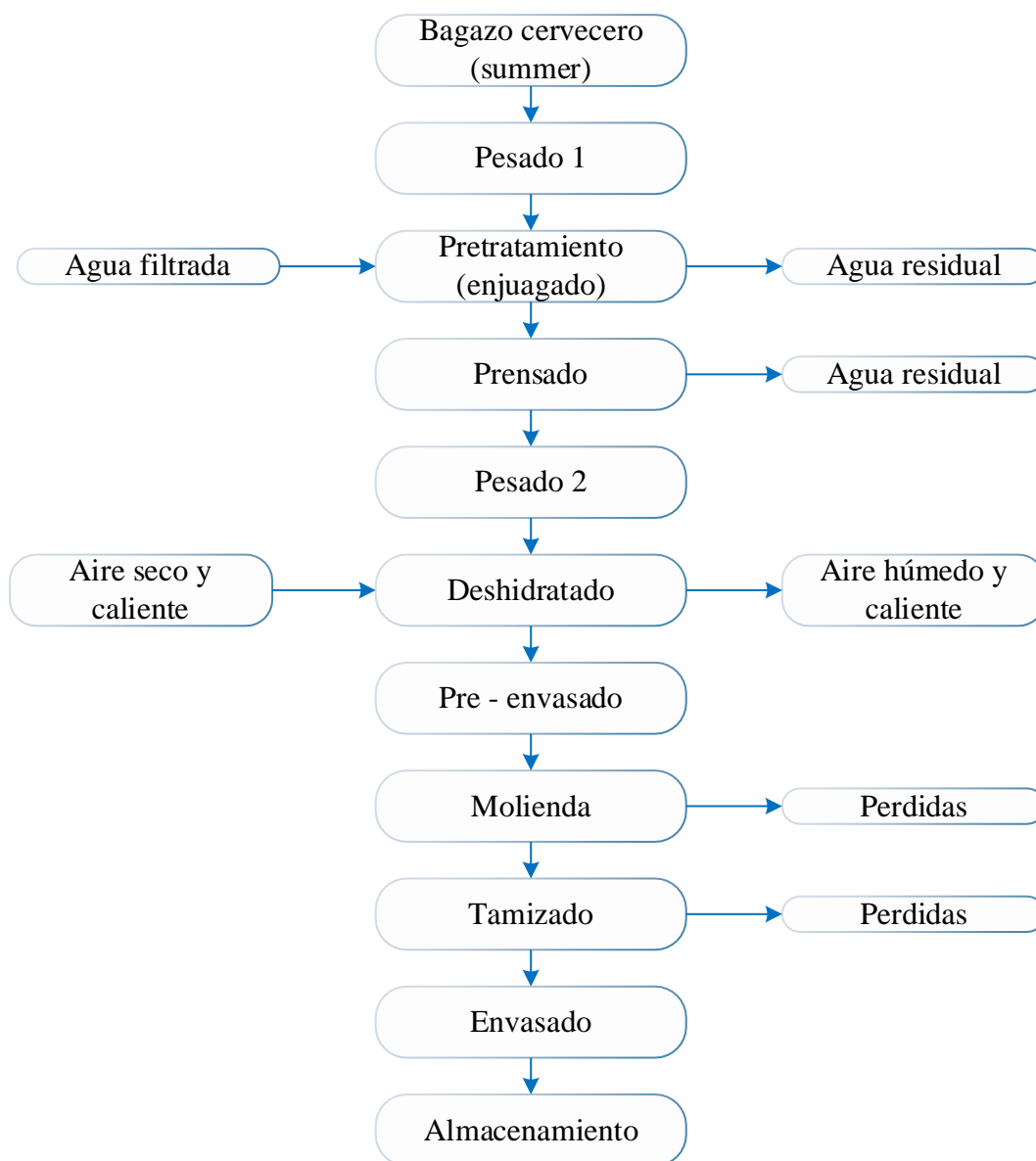
Aditivo de uso alimentario

Aditivo	Marca	Procedencia	Estado
Bicarbonato de sodio	Learbo	Boliviana	Sólido

Fuente: Elaboración propia

3.9 Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina a partir de bagazo cervecero tipo summer

En la figura 3.6 se muestra el diagrama de flujo a nivel experimental del proceso de deshidratado por aire caliente para la obtención de harina de bagazo cervecero.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de bagazo cervecero

3.9.1 Descripción del diagrama de flujo del proceso de obtención de harina a partir de bagazo cervecero tipo summer

A continuación, se describe los pasos mencionados en el diagrama de flujo para obtener harina de bagazo cervecero.

Bagazo cervecero tipo summer



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.7: Bagazo cervecero summer

Para llevar a cabo la parte experimental, se obtuvo el bagazo cervecero de la empresa "Macabra", una cervecería artesanal ubicada en la provincia Cercado del departamento de Tarija. Se utilizó bagazo cervecero procedente de una cerveza rubia (summer). La figura 3.7, ilustra visualmente el bagazo cervecero.

Pesado 1

Durante esta etapa, se empleó una balanza digital para determinar con precisión la cantidad de bagazo que se someterá a enjuagado y posterior prensado. En la figura 3.8, se ilustra el proceso de pesado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8: Pesado

Pretratamiento

En esta etapa, se aplicó una relación 1:1 de bagazo y agua para cada enjuague realizando un total de tres enjuagues a con la finalidad de reducir el aroma a fermento, componente que afecta en el producto final, de esta manera ayuda a mejorar la calidad de la harina de bagazo cervecero. En la figura 3.9, se ilustra el proceso de enjuagado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Enjuagado

Prensado

En esta fase, se aplicó presión al bagazo cervecero mediante una prensa hidráulica por un período de 10 minutos. Esta acción permitió reducir el contenido de humedad y en consecuencia, acelerar el proceso de deshidratado con aire caliente. La figura 3.10, se muestra el desarrollo del prensado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Prensado

Pesado 2



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11: Pesado

Para el segundo pesado, se empleó una balanza digital para determinar la cantidad de agua extraída del bagazo cervecero después del prensado. En la figura 3.11, se ilustra el proceso del segundo pesado.

Deshidratado

El proceso de deshidratado inicio con el encendido del secador de bandejas regulando las condiciones de trabajo por tiempo de 15 minutos: temperatura entre (60 – 70) °C, velocidad de aire entre (4,0 - 5,5) m/s, con el propósito de introducir aire seco y/o eliminar el aire húmedo del equipo. Una vez completados los ajustes necesarios del deshidratador de bandejas, se procedió a colocar la



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.12: Secador de bandejas

bandeja milimétrica de dimensiones (35 x 35) cm, con 200,09 g de bagazo cervecero previamente prensado con un contenido de humedad en base seca 1,5 (g agua/ g sólido seco). Durante esta etapa, se realizó seguimiento periódico de la pérdida de masa cada 10 minutos, hasta pesada constante, obteniéndose 70,19 g de bagazo deshidrato con contenido de humedad en base seca 0,040 (g agua/ g sólido seco) en aproximadamente 120 minutos. La figura 3.12 muestra el desarrollo del proceso de deshidratado de las muestras de bagazo cervecero.

Preenvasado

Una vez completado el proceso de deshidratado, se retiraron las bandejas que contenían las muestras de bagazo cervecero seco para permitir que se enfriaran y exudaran a temperatura ambiente, entre (20-25) °C. Posteriormente, se procedió a colocar las muestras en bolsas de polipropileno de alta densidad para evitar cualquier contacto con la humedad ambiental. La figura 3.13, se presenta la muestra seca previamente envasada, listo para ser molido y tamizado para obtener harina de bagazo cervecero.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Preenvasado



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14: Molienda

Molienda

La etapa de molienda, se realiza en un molino de martillos con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas del bagazo cervecero y homogenizar hasta alcanzar la granulometría $< 0,5$ mm. En la figura 3.14 se muestra el proceso de molienda.

Tamizado

Seguido del proceso de molienda, se procedió a tamizar las muestras de harina por medio de un tamiz vibratorio. Para este proceso se utilizó el tamiz con abertura de malla (0,5 mm) y el plato recolector de muestra. En la figura 3.15, se muestra el proceso de tamizado de la harina de bagazo cervecero.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15: Tamizado

Envasado



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.16: Envasado

Una vez completado el proceso de tamizado, las muestras de harina de bagazo cervecero fueron envasadas en bolsas de polipropileno de alta densidad con cierre hermético. Con el fin de proteger contra la humedad ambiental y cualquier agente externo que pudiera contaminar el producto. En la figura 3.16, se muestra el envasado de la harina.

Almacenamiento

El producto obtenido será almacenado en condiciones de temperatura ambiente, con el fin de preservar las características y calidad de las muestras a lo largo del tiempo. En la figura 3.17, se muestra el almacenamiento de la harina.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.17: Almacenamiento

3.10 Evaluación sensorial para las harinas obtenidas a partir de bagazo cervecero mediante el proceso de sacado por aire caliente

La evaluación sensorial se ha definido como la disciplina científica utilizada para evocar, desarrollar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidos a través de los sentidos de la vista, olfato, tacto, gusto y oído (Stone & Sidel, 2004). En la figura 3.18, se detallan la evaluación sensorial realizada durante la obtención de harinas de bagazo cervecero mediante el proceso de deshidratado con aire caliente.

Evaluación sensorial	Tratamientos	Códigos	Atributos	Test
Prueba inicial	Sin prensar	J01-J02-J03-J04	Color-Apariencia-Aroma	Evaluación subjetiva
	Aplicando prensado	J05-J06-J07-J08	Color-Apariencia-Aroma	
Prueba preliminar	Bicarbonato de sodio	R01-R02-R03	Color-Apariencia-Aroma	Test 1 (Anexo B)
	Escaldado	R04-R05-R06	Color-Apariencia-Aroma	Test 2 (Anexo B)
	Enjuagado con agua	R07-R08-R09	Color-Apariencia-Aroma	Test 3 (Anexo B)
Prueba ideal	Bicarbonato de sodio	L01	Color-Apariencia-Aroma	Test 4 (Anexo B)
	Escaldado	L02	Color-Apariencia-Aroma	
	Enjuagado con agua	L03	Color-Apariencia-Aroma	
	Sin tratamiento	L04	Color-Apariencia-Aroma	
Diseño experimental	Enjuagado con agua	BC8	Color-Apariencia-Aroma	Muestra final

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18: Evaluación sensorial de las muestras para la obtención de harina de bagazo cervecero

3.11 Diseño experimental

Los diseños experimentales en los que el plan experimental requiere estudiar el efecto sobre una respuesta de k factores, cada uno dos niveles. A esto se lo conoce como experimentos factoriales 2^k . Es frecuente que los factores se denoten por “alto” y “bajo”, aunque esa notación podría ser arbitraria en el caso de variables cualitativas. (Walpole et al., 2012)

El diseño factorial completo requiere que cada nivel de cada factor ocurra con cada nivel de los demás factores, lo que da un total de 2^k combinaciones de tratamiento. Un diseño experimental bien planeado corresponde a una etapa de lo que en realidad es el plan secuencial de la experimentación. (Walpole et al., 2012)

3.11.1 Diseño factorial 2^3

El diseño factorial, considera un experimento en el que intervienen tres factores, A, B y C, cada uno con niveles -1 y +1. Se trata de un experimento factorial 2^3 , que proporciona ocho combinaciones de tratamientos (1), a, b, c, ab, ac, bc y abc (Walpole et al., 2012). En la ecuación 3.1, se muestra el diseño factorial 2^k a ser utilizado en el presente trabajo:

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

2 = Número de niveles

k = Número de variables

De acuerdo con (Gutiérrez & De la Vara, 2018) este modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado en el diseño experimental 2^3 :

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C - \beta_{ABC} X_A X_B X_C \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Donde:

β = Coeficiente de regresión

$X_A X_B X_C$ = Valor codificado del factor diseño

3.11.2 Diseño experimental en el proceso de deshidratado para las muestras de bagazo cervecero

El diseño experimental en el proceso de deshidratado para las muestras de bagazo cervecero en el deshidratador estuvo conformado por tres variables: Temperatura, velocidad del aire y prensado, donde se aplicó de acuerdo a la ecuación 3.3, cuyo diseño factorial corresponde a la ecuación 3,2.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ Tratamiento} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Para tal efecto, las variables propuestas y sus niveles de variación son los siguientes:

- Temperatura de deshidratado niveles (A) = 2
- Velocidad del aire (B) = 2 niveles
- Prensado (C) = 2 niveles

En la tabla 3.2, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo) a ser aplicado en el proceso de deshidratado por aire caliente conformado por tres variables: temperatura (A), velocidad del aire (B) y prensado (C).

Tabla 3.2

Niveles de variación aplicado en el proceso de deshidratado por aire caliente

Factores	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura (A)	° C	55	65
Velocidad de aire (B)	m/s	4	6
Prensado (C)	Kg/cm ²	120	140

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.3, se muestra la matriz de diseño factorial aplicada en el proceso de deshidratado por aire caliente del bagazo cervecero summer, conformado por tres variables: temperatura (A), velocidad del aire (B) y prensado (C).

Tabla 3.3

Matriz de variables a ser aplicado en el proceso de deshidratado por aire caliente

Combinación de tratamientos	Variables			Interacciones				Variable respuesta	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	H _{BS}	H _{BS}
(1)	-	-	-	+	+	+	-	H _{BS1}	H _{BS1}
a	+	-	-	-	-	+	+	H _{BS2}	H _{BS2}
b	-	+	-	-	+	-	+	H _{BS3}	H _{BS3}
c	+	+	-	+	-	-	-	H _{BS4}	H _{BS4}
ab	-	-	+	+	-	-	+	H _{BS5}	H _{BS5}
ac	+	-	+	-	+	-	-	H _{BS6}	H _{BS6}
bc	-	+	+	-	-	+	-	H _{BS7}	H _{BS7}
abc	+	+	+	+	+	+	+	H _{BS8}	H _{BS8}

Fuente: Elaboración propia

Donde:

H_{BS} = Porcentaje de humedad (g de agua/ g de sólido seco) en el proceso de deshidratado.

3.12 Operacionalización de variables para la obtención de harina de bagazo cervecero mediante el proceso de deshidratado por aire caliente

En la figura 3.4, se muestra la operacionalización de la variable dependiente e independiente para la obtención de harina de bagazo cervecero.

Tabla 3.4

Operacionalización de variables para obtener harina de bagazo cervecero

Hipótesis	Variables	Conceptualización	Indicadores	Escala	
Mediante la aplicación del proceso de deshidratado por aire caliente para la obtención de harina de bagazo cervecero permitirá obtener un producto de calidad para la provincia Cercado.	Variable independiente	Proceso de deshidratado con aire caliente	“Proceso por el cual un producto se somete a la acción de aire caliente, en el cual se elimina parcial o totalmente su contenido de agua de producto que la contiene” (Fito et al., 2016).	Propiedades físicas	Peso (g) Granulometría (%)
				Prensado	Kg/cm ²
				Temperatura	°C
				Velocidad del aire	m/s
				Contenido de humedad	(kg de agua/kg de sólido seco)
				Tiempo de secado	(1:30 – 2:30) horas
				Cinética de secado	Kg de sólido seco/m ² h
	Variable dependiente	Harina de bagazo cervecero	La harina de bagazo cervecero, es obtenida a través de un proceso de deshidratado inicial con humedad menor o igual a 10%, seguido de un molido y tamizado. (Pantoja, 2020).	Proteínas	%
				Carbohidratos	%
				Lípidos	%
				Humedad	%
				Fibra	%
				Valor energético	(kcal/g)
				Mohos y levaduras	UFC/g
Escherichia coli	(UFC/g)				
Coliformes totales	(UFC/g)				
Salmonella	(PA/25g)				
Análisis organoléptico	Color Apariencia Aroma				

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización del bagazo cervecero tipo porter y summer

Para la caracterización del bagazo cervecero se tomó en cuenta dos variedades, procedentes de cerveza negra (tipo porter) y cerveza rubia (tipo summer). Para lo cual, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos: composición de grano de cereal (cebada, trigo, etc.) en cada bagazo, análisis fisicoquímico, análisis microbiológico y propiedades físicas los cuales se detallan a continuación:

4.1.1 Composición de cereales en el bagazo cervecero tipo porter y summer

En la figura 4.1, se observa el bagazo cervecero tipo porter y summer en donde se detallan los tipos de cereales (cebada, trigo y avena) presentes en cada bagazo.



Fuente: MACABRA, 2023

Figura 4.1: Composición de cereales en el bagazo cervecero tipo porter y summer

4.1.2.1 Análisis fisicoquímicos del bagazo cervecero tipo porter

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del bagazo cervecero tipo porter, proveniente de la cervecería artesanal MACABRA.

Tabla 4.1***Análisis fisicoquímicos del bagazo cervecero tipo porter***

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	71,30
Ceniza	%	0,88
Grasa	%	4,80
Proteína total (Nx6,25)	%	5,34
Fibra	%	2,73
Hidratos de carbono	%	14,95
Valor energético	Kcal/100 g	124,36

Fuente: CEANID, 2023

La tabla 4.1 detalla los valores fisicoquímicos del bagazo cervecero tipo porter presenta: humedad 71,30 %; ceniza 0,88 %; grasa 4,80 %; proteína total (Nx6,25) 5,34 %; fibra 2,73 %; hidratos de carbono 14,95 % y valor energético 124,36 Kcal/100g.

4.1.2.2 Análisis microbiológicos del bagazo cervecero tipo porter

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del bagazo cervecero tipo porter, proveniente de la cervecería artesanal MACABRA.

Tabla 4.2***Análisis microbiológico del bagazo cervecero tipo porter***

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Escherichia coli	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Salmonella	PA/25g	Ausencia
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2023

La tabla 4.2 detalla los valores microbiológicos del bagazo cervecero tipo porter presenta: Coliformes totales < 1,0x10¹ UFC/g; Escherichia coli < 1,0x10¹ UFC/g; Mohos y levaduras <1,0x10¹ UFC/g; y Salmonella ausencia PA/25g. (*) no se observa desarrollo de colonias.

4.1.2.3 Análisis fisicoquímicos del bagazo cervecero tipo summer

La tabla 4.3, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico del bagazo cervecero tipo summer, proveniente de la cervecería artesanal MACABRA.

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímicos del bagazo cervecero tipo summer

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	74,34
Ceniza	%	0,82
Grasa	%	1,50
Proteína total (Nx6,25)	%	6,44
Fibra	%	3,29
Hidratos de carbono	%	13,61
Valor energético	Kcal/100 g	93,65

Fuente: CEANID, 2023

La tabla 4.3 detalla los valores fisicoquímicos del bagazo cervecero tipo summer presenta: humedad 74,34 %; ceniza 0,82 %; grasa 1,50 %; proteína total (Nx6,25) 6,44 %; fibra 3,29 %, hidratos de carbono 13,61 % y valor energético 93,65 Kcal/100g.

4.1.2.4 Análisis microbiológicos del bagazo cervecero tipo summer

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del bagazo tipo summer, proveniente de la cervecería artesanal MACABRA.

Tabla 4.4

Análisis microbiológico del bagazo tipo summer

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	$1,3 \times 10^2$
Escherichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Salmonella	PA/25g	Ausencia
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.4, se expresan los valores microbiológicos del bagazo cervecero tipo summer: Coliformes totales $1,3 \times 10^2$ UFC/g; Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g; mohos y

levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g; y Salmonella ausencia PA/25g. (*) No se observa desarrollo de colonias.

En base al análisis fisicoquímico del contenido de proteínas, se tomó en cuenta el bagazo cervecero tipo summer por presentar mayor contenido de proteína total (Nx6,25) de 6,44% en comparación con el bagazo cervecero tipo porter que presenta un valor menor de proteína total (Nx6,25) de 5,34%. En tal sentido, se tomó en cuenta el bagazo cervecero tipo summer para el presente trabajo.

4.2 Caracterización de las variables para la obtención de harina de bagazo cervecero

Para la caracterización de las variables para la obtención de harina de bagazo cervecero, se procedieron a realizar los siguientes pasos:

4.2.1 Propiedades físicas en muestras secas de bagazo cervecero tipo summer

Para tomar en cuenta las propiedades físicas del bagazo cervecero tipo summer, se realizó el proceso de deshidratado basado en la metodología (Hernández et al., 1999), que manifiesta secar el bagazo cervecero a temperatura no mayor a 65°C. Para tal efecto, se utilizó el deshidratador de bandejas como se observa en la (figura 3.10); para secar 1000,26 g de bagazo con 74,34 % base húmeda (CEANID, 2023) sin prensar a temperatura 60°C, velocidad de aire 5 m/s durante 190 minutos, obteniendo 264,29g de bagazo seco con un contenido de humedad final de 5,80 % medido en la termobalanza. Posteriormente, se secó otra muestra de 1000,05g en las mismas condiciones, obteniendo 261,15g de bagazo seco, para un tiempo de 210 minutos con humedad final de 4,38 %.

En base a las muestras secas de bagazo cervecero, se tomaron diez muestras de 50g cada una. Con la finalidad de determinar el tamaño de partículas presentes en el bagazo, se llevó cada muestra a un tamiz vibratorio durante 7 minutos, con tamices con abertura de malla entre (5 – 2) mm. En la tabla 4.5 detalla los promedios obtenidos de peso (g) y el porcentaje retenido en cada uno de los tamices.

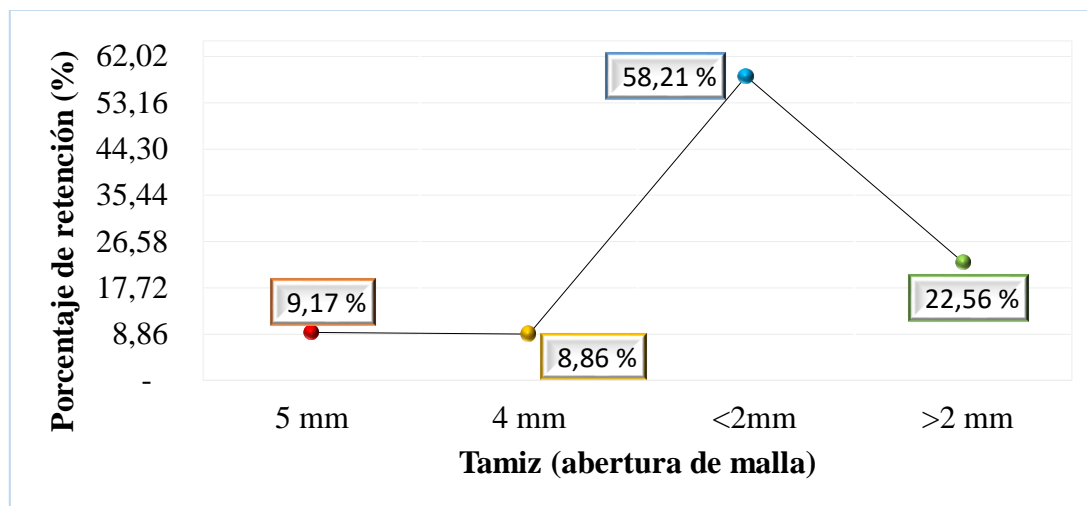
Tabla 4.5

Clasificación granulométrica del bagazo cervecero tipo summer

N°	Muestra (g)	Tamiz (abertura de malla)							
		(5,0) mm		(4,0) mm		(2,0) mm		< (2,0) mm	
		Peso		Peso		Peso		Peso	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
1	50,04	3,67	7,33	3,37	6,73	30,29	60,53	12,30	24,58
2	50,62	5,55	10,96	4,64	9,17	29,70	58,67	10,27	20,29
3	50,05	4,50	9,17	4,51	9,19	28,66	58,43	10,94	22,30
4	50,28	4,83	9,47	4,83	9,47	30,05	58,94	10,05	19,71
5	50,56	4,05	7,96	4,13	8,12	29,36	57,73	11,23	22,08
6	50,29	5,03	9,69	4,99	9,62	29,83	57,49	11,89	22,91
7	50,61	4,87	9,62	5,31	10,49	28,98	57,26	12,03	23,77
8	50,32	4,68	9,30	4,03	8,01	29,45	58,53	11,46	22,77
9	50,24	4,23	8,42	4,86	9,67	28,46	56,65	11,33	22,55
10	50,33	4,97	9,76	4,12	8,09	29,46	57,84	12,56	24,66
$\bar{X} \pm 0,01$	50,53	4,64	9,17	4,48	8,86	29,52	58,21	11,41	22,56

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2 se muestran los valores promedios del porcentaje de bagazo cervecero retenido en cada tamiz en base a datos de la tabla 4.5.

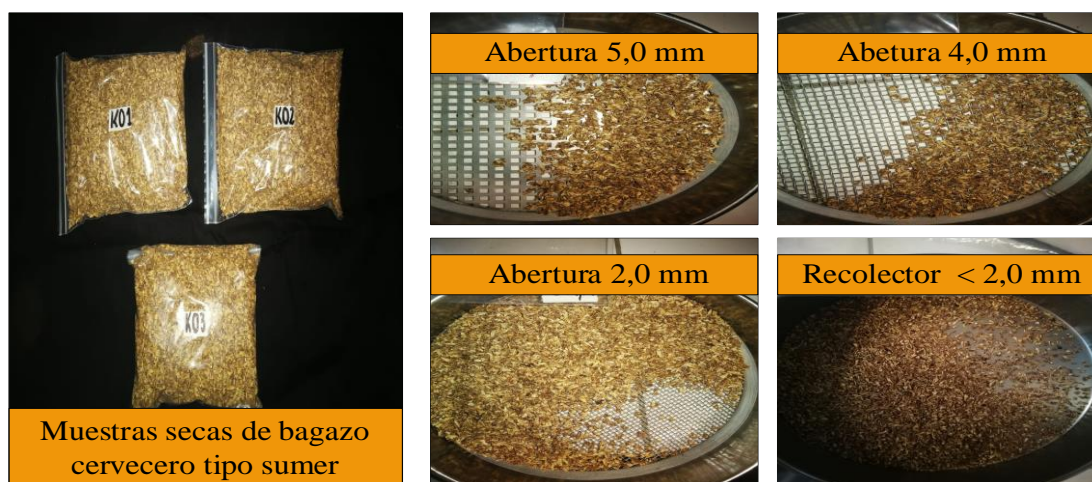


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Porcentaje promedio de bagazo retenido en función de apertura de malla

En la figura 4.2, se observan los porcentajes promedio del bagazo retenido en cada tamiz: Donde el tamiz con abertura de 2 mm retiene mayor cantidad de bagazo

con el 58,21 %, seguido por la muestra en el plato recolector $<2\text{mm}$ que presentó el 22,56% y finalmente los tamices con abertura de malla entre (5 – 4) mm presentaron entre (9,17 – 8,86) % de bagazo. En la figura 4.3, se muestra la clasificación granulométrica del bagazo seco tipo summer.



Fuente: Elaboración propia

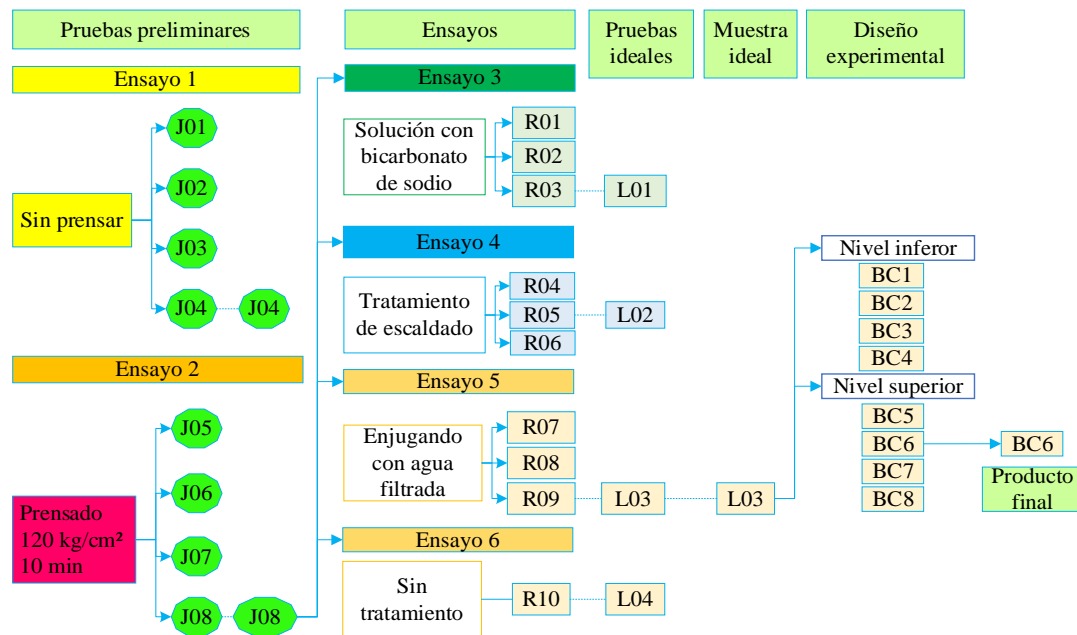
Figura 4.3: Clasificación granulométrica del bagazo seco según la abertura de malla

En la figura 4.3, se muestra la clasificación granulométrica del bagazo seco; donde se utilizó tres tamices con abertura de malla entre (5,0 4,0 y 2,0) mm y el plato recolector para bagazo <2 mm.

4.2.2 Pruebas preliminares de deshidratado del bagazo cervecero summer

En la figura 4.4, se muestra el proceso de deshidratado del bagazo cervecero summer. Para lo cual, se tomó en cuenta dos técnicas de deshidratado (ensayo 1) sin prensar y (ensayo 2) aplicando prensado a fin de obtener una metodología de deshidratado. Entonces, para las pruebas preliminares del (ensayo 1) se tomó en cuenta el método de (Arcia et al., 2018) que consiste en secar el bagazo cervecero de manera directa sin prensar (J01, J02, J03, y J04). Así mismo, para la prueba preliminar del (ensayo 2) se utilizó el método (Martínez, 2020), que consiste en realizar un previo prensado (120 kg/cm^2) al bagazo húmedo (J05, J06, J07 y J08). En ambos ensayos se variaron la temperatura entre (50 – 60) °C y velocidad de aire entre (3 – 5) m/s. Posteriormente, se realizaron ensayos de desodorización al bagazo

cervecero húmedo con el fin de disminuir el aroma a fermento. Para tal efecto, se procedió a realizar el (ensayo 3) con solución de bicarbonato de sodio entre (0,1 – 0,5) %, (ensayo 4) con tratamiento de escaldado entre (60 - 90) °C y para el (ensayo 5) enjugando con agua filtrada por (una, dos y tres) veces.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Proceso de deshidratado para la obtención de harina de bagazo cervecero summer

Para desarrollar la parte experimental, se utilizó la ecuación (2.2) para determinar el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) a partir de los datos obtenidos en el laboratorio, donde se tomó en cuenta la variación del peso en función del tiempo de deshidratado. Para tal efecto, se tomó como dato el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 74,34 % (CEANID, 2023) y la ecuación (2.3) para el cálculo de la masa del sólido seco (m_{ss}).

$$H_{BS} = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

$$m_{ss} = m_i (1 - H_{BH}) \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

m_{SS} = Masa de sólido seco (g)

m_i = Masa inicial (g)

H_{BH} = Contenido de humedad en base húmeda (g de agua/g sólido húmedo)

H_{BS} = Contenido de humedad en base seca (g de agua/g sólido seco)

4.2.2.1 Deshidratado del bagazo cervecero sin prensar para el (ensayo 1)

En la tabla 4.6, se observan los datos obtenidos de la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado del (ensayo1) deshidratado del bagazo sin prensar.

Para tal efecto, se varió la temperatura entre (50 - 60) °C, velocidad de aire entre (3 - 5) m/s y para los cálculos de contenido de humedad en base seca (H_{BS}), se utilizó la ecuación (2.2)

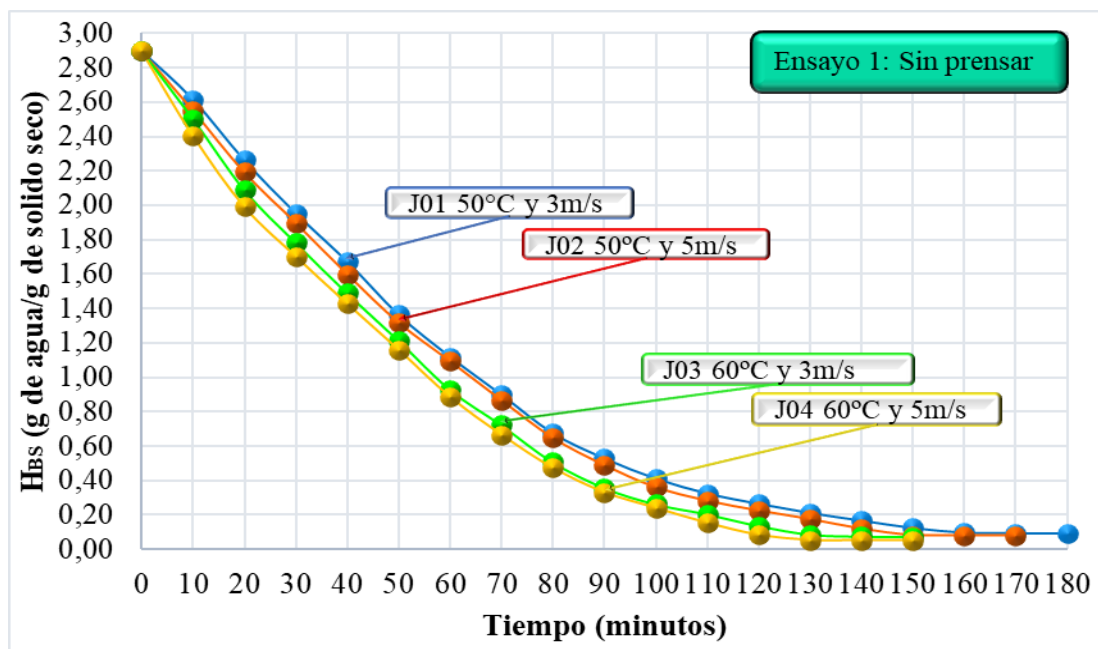
Tabla 4.6

Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 1

Tiempo (min)	Temperatura 50 °C				Temperatura 60 °C			
	J01 (3 m/s)		J02 (5 m/s)		J03 (3 m/s)		J04 (5 m/s)	
	Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}
0	200,07	2,897	200,12	2,897	200,18	2,897	200,78	2,897
10	185,60	2,615	182,34	2,551	179,89	2,502	175,36	2,404
20	167,44	2,262	163,88	2,191	158,64	2,088	154,08	1,991
30	151,60	1,953	148,77	1,897	142,88	1,782	139,20	1,702
40	137,20	1,673	133,45	1,599	127,84	1,489	125,05	1,427
50	121,30	1,363	118,99	1,317	113,67	1,213	111,28	1,160
60	108,75	1,118	107,47	1,093	99,03	0,928	97,15	0,886
70	97,41	0,897	95,82	0,866	88,45	0,722	85,78	0,665
80	85,93	0,674	84,55	0,647	77,38	0,506	75,86	0,472
90	78,45	0,528	76,43	0,488	69,72	0,357	68,54	0,330
100	72,40	0,410	69,84	0,360	64,85	0,263	63,87	0,240
110	67,98	0,324	65,79	0,281	61,89	0,205	59,36	0,152
120	64,88	0,264	62,85	0,224	58,39	0,137	55,80	0,083
130	62,16	0,211	60,30	0,174	55,84	0,087	54,20	0,052
140	59,88	0,166	57,44	0,119	55,23	0,075	54,18	0,052
150	57,68	0,124	55,52	0,081	55,17	0,074	54,16	0,051
160	56,29	0,096	55,48	0,080	-	-	-	-
170	56,12	0,093	55,45	0,080	-	-	-	-
180	56,10	0,093	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5, se muestran las curvas de deshidratado de las muestras (J01, J02, J03, y J04) del (ensayo 1) deshidratado del bagazo sin prensar. Para lo cual, se observa el contenido de humedad en base seca (H_{Bs}) en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.7.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Curvas de deshidratado del bagazo cervecero summer sin prensar

En la figura 4.5, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras (J01 y J02) a temperatura (50 °C), velocidad del aire entre (3 – 5) m/s; con tiempo de 180 minutos (J01) presenta 0,093 (g agua/g sólido seco) y tiempo de 170 minutos (J02) de 0,080 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, las muestras (J03 y J04) a temperatura (60 °C), velocidad de aire entre (3 – 5) m/s: con tiempo de 150 minutos (J03) presenta 0,074 (g agua/g sólido seco) y tiempo de 150 minutos (J04) de 0,051 (g agua/g sólido seco).

4.2.2.2 Deshidratado del bagazo cervecero prensando para el (ensayo 2)

En la tabla 4.7, se observa los datos obtenidos de la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado del (ensayo 2)

deshidratado aplicando prensado. Para tal efecto, se colocó 1000,02g de bagazo cervecero húmedo en la prensa hidráulica, aplicando una presión (120 kg/cm^2) durante 10 minutos; obteniendo 706,94g de bagazo con un contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 62,96 %, el cual se midió utilizando la termobalanza. Asimismo, se tomó muestras de 150g de bagazo prensado para realizar el proceso de deshidratado, donde se variaron la temperatura entre $(50 - 60)^\circ \text{C}$ y velocidad del aire entre $(3 - 5) \text{ m/s}$ y para los cálculos de contenido de humedad en base seca (H_{BS}) se utilizó la ecuación (2.2).

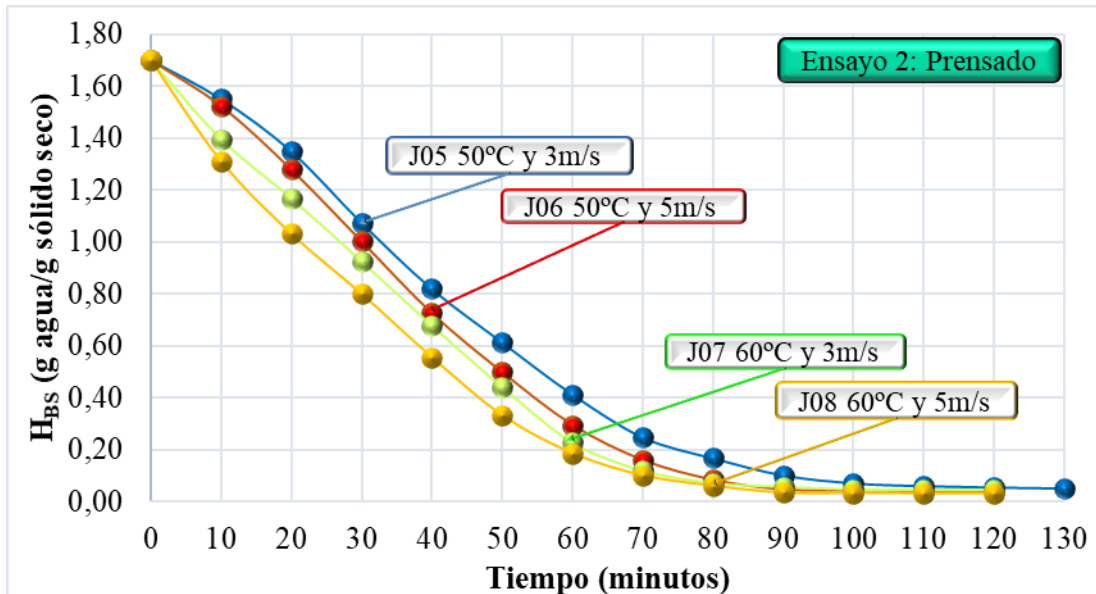
Tabla 4.7

Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 2

Tiempo (min)	Temperatura 50°C				Temperatura 60°C			
	J05 (3 m/s)		J06 (5 m/s)		J07 (3 m/s)		J08 (5 m/s)	
	Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}
0	150,09	1,700	150,02	1,700	150,10	1,698	150,17	1,700
10	141,77	1,550	140,22	1,523	133,22	1,394	128,56	1,311
20	130,55	1,348	126,59	1,278	120,53	1,166	112,99	1,031
30	115,23	1,073	111,23	1,002	107,07	0,924	100,12	0,800
40	101,12	0,819	95,86	0,725	93,33	0,677	86,55	0,556
50	89,66	0,613	83,25	0,498	80,21	0,442	74,12	0,333
60	78,55	0,413	71,96	0,295	68,32	0,228	65,99	0,186
70	69,36	0,248	64,45	0,160	62,33	0,120	61,25	0,101
80	64,89	0,167	60,21	0,084	59,66	0,072	59,02	0,061
90	61,25	0,102	58,12	0,046	58,86	0,058	57,53	0,034
100	59,55	0,071	57,94	0,043	58,38	0,048	57,45	0,033
110	58,96	0,061	57,84	0,041	58,25	0,047	57,41	0,032
120	58,66	0,055	57,82	0,041	58,22	0,046	57,38	0,032
130	58,45	0,051	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.6, se muestran las curvas de deshidratado de las muestras (J05, J06, J07 y J08) del del (ensayo 2) deshidratado del bagazo aplicando prensado. Para lo cual, se observa el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Curvas de deshidratado del bagazo cervecero summer aplicando prensado

En la figura 4.6, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras (J05 y J06) a temperatura (50 °C), velocidad del aire entre (3 – 5) m/s; con tiempo de 130 minutos (J05) presenta 0,051 (g agua/g sólido seco) y tiempo de 120 minutos (J06) presenta 0,041 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, las muestras (J07 y J08) a temperatura (60 °C), velocidad de aire entre (3 – 5) m/s: con tiempo de 120 minutos (J07) presenta 0,046 (g agua/g sólido seco) y tiempo de 120 minutos (J08) presenta 0,032 (g agua/g sólido seco).

En base a datos obtenidos de la tabla (4.6) y tabla (4.7), se pudo observar que la muestra J08 (prensado 120 kg/cm² por 10 minutos, temperatura 60 °C y velocidad de aire 5 m/s), presenta menor contenido de humedad en base seca 0,032 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de 120 minutos. Para lo cual, se empleará las condiciones de la muestra J08 para próximos ensayos.

Así mismo, las muestras secas de bagazo cervecero sin prensar (ensayo 1) y aplicando prensado (ensayo 2), se llevaron a proceso de molienda en un molino de martillos y posteriormente se tamizaron en el tamiz vibratorio durante siete minutos utilizando dos

tamices con aberturas de malla entre (0,5 - 0,25) mm y plato recolector de muestra < (0,25) mm; con la finalidad de determinar el tamaño de partículas del bagazo molido. En la tabla 4.8, se detallan los datos obtenidos de peso (g) y el porcentaje retenido en cada uno de los tamices.

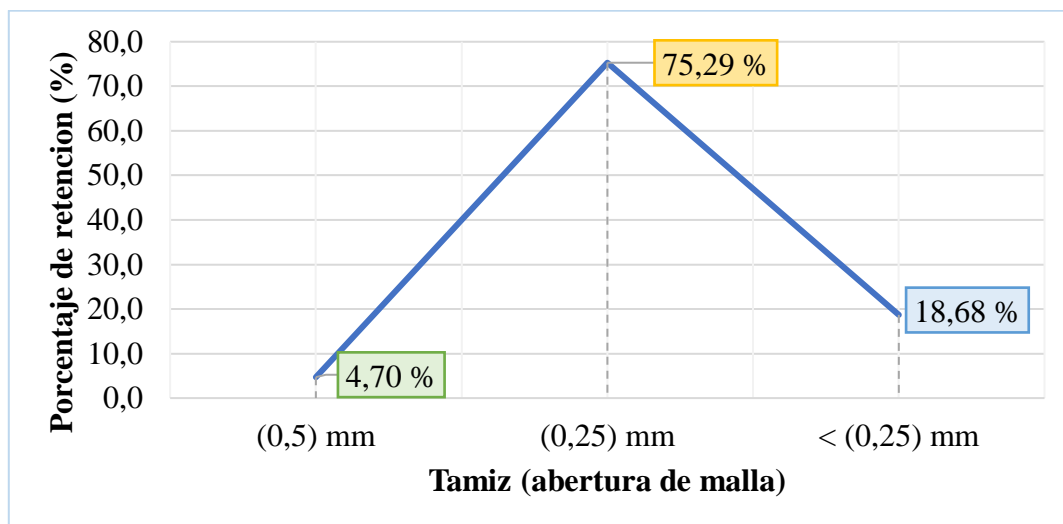
Tabla 4.8

Porcentaje retenido de bagazo cervecero molido en tamices

N°	Muestra (g)	Tamiz (abertura de malla)					
		(0,5) mm		(0,25) mm		< (0,25) mm	
		(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
1	55,25	2,13	3,86	41,21	74,59	11,02	19,95
2	55,03	3,29	5,98	40,89	74,30	10,03	18,23
3	55,06	2,59	4,70	42,03	76,33	9,65	17,53
4	55,04	2,84	5,16	43,24	78,56	8,17	14,84
5	55,01	2,08	3,78	39,97	72,66	12,58	22,87
6	55,09	2,81	5,10	37,48	68,03	14,21	25,79
7	55,07	2,54	4,61	40,05	72,73	11,65	21,15
8	55,13	2,33	4,23	42,85	77,73	9,68	17,56
$\bar{X} \pm 0,01$	55,09	2,58	4,70	40,97	75,29	10,87	18,68

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.7 muestra los valores promedio en porcentaje de harina de bagazo cervecero retenido en cada tamiz, en base a datos de la tabla 4.8.

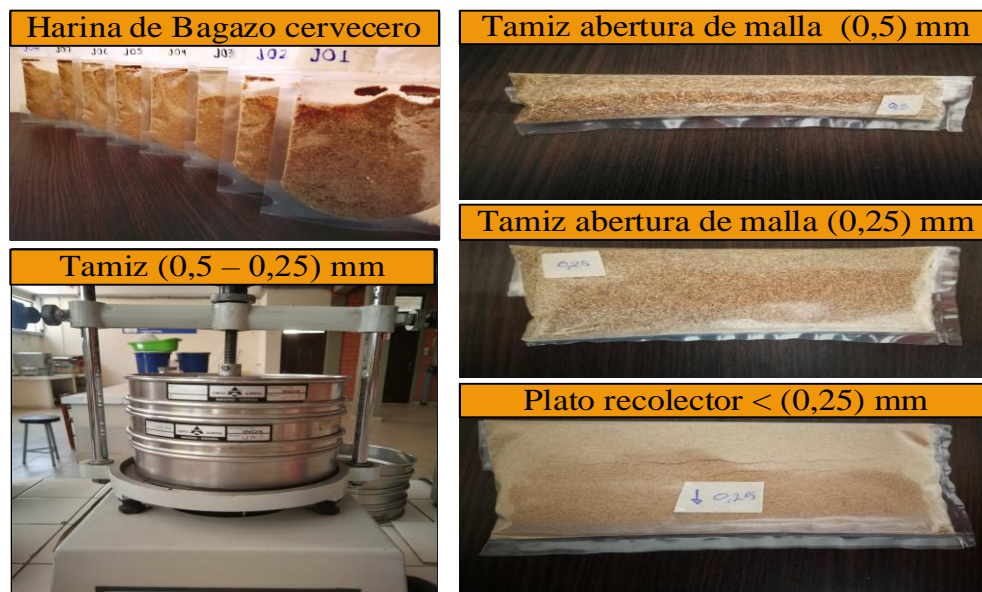


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Porcentaje promedio de retención de harina de bagazo cervecero en cada tamiz

Según la figura 4.7 el tamiz con abertura de malla (0,25) mm retiene mayor cantidad de harina de bagazo cervecero con (75,29) %, seguido por el plato recolector < (0,25) mm con (18,68) % y tamiz con abertura de malla (0,5) mm, que retiene el 4,70 %.

En la figura 4.8, se observa las muestras de harina de bagazo cervecero y el tamaño de partículas retenidas según la abertura de malla de cada tamiz.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Retención de harina de bagazo cervecero según la abertura del tamiz

En base a la figura 4.8 se decidió unir las muestras retenidas del tamiz con abertura de malla (0,25) mm y del plato recolector < (0,25) mm; ya que representan la mayor cantidad de harina de bagazo cervecero y de esta manera aprovechar al máximo este subproducto.

Así mismo, las muestras de harina de bagazo cervecero en base al (ensayo 1) sin prensar y (ensayo 2) aplicando prensado, fueron valoradas de manera subjetiva según el atributo aroma por el personal del Taller de Alimentos. Para la cual, algunos evaluadores percibieron un olor a fermento poco agradable en las muestras; entonces se procedió a realizar ensayos de desodorización al bagazo cervecero húmedo con la finalidad de mejorar la calidad de la harina.

Así mismo, los ensayos con pretratamiento fueron deshidratados en base a las condiciones de la muestra J08 (prensado 120 kg/cm², temperatura 60 °C y velocidad del aire de 5 m/s) ya que presento menor contenido de humedad en base seca 0,032 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de 120 minutos.

4.2.2.3 Deshidratado de bagazo cervecero con solución de bicarbonato de sodio para el (ensayo 3)

En la tabla 4.9, se muestran los datos obtenidos de la variación del contenido de humedad en base seca para el (ensayo 3) deshidratado con solución de bicarbonato de sodio en diferentes concentraciones: R01 (0,1%), R02 (0,25%) y R03 (0,5%) con tiempo de inmersión de 15 minutos. Para luego, ser llevado a proceso de deshidratado en base a la muestra J08 (prensado 120 kg/cm², temperatura 60 °C y velocidad del aire de 5 m/s). Para realizar los cálculos de contenido de humedad en base seca (H_{BS}) se utilizó la ecuación (2.2).

Tabla 4.9

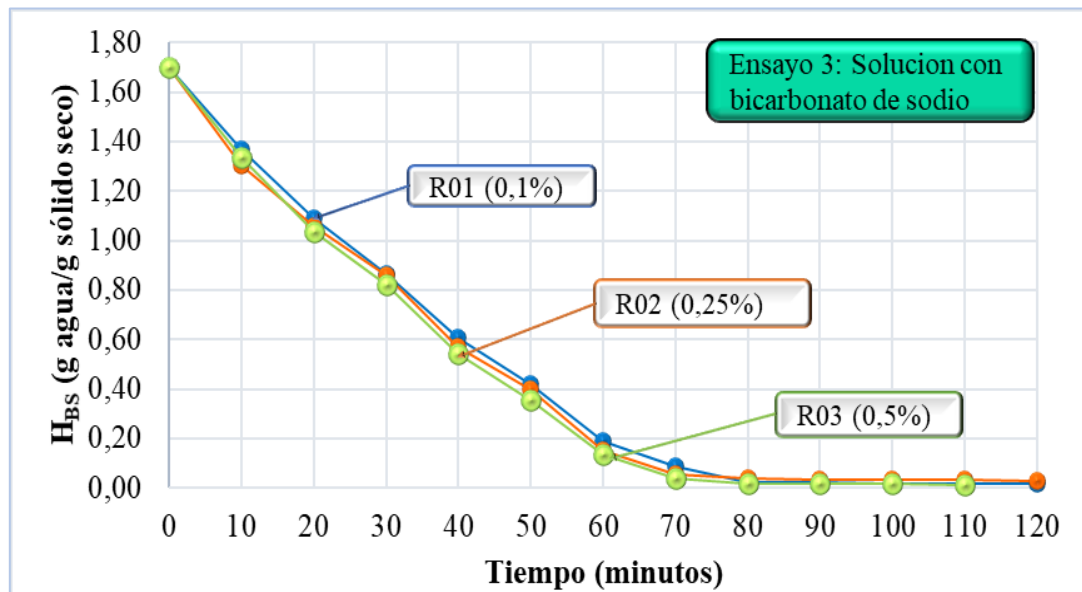
Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 3

Tiempo (min)	Solución de bicarbonato de sodio					
	R01 (0,1) %		R02 (0,25) %		R03 (0,5) %	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	200,06	1,700	200,15	1,700	200,31	1,700
10	175,46	1,368	170,55	1,301	173,25	1,335
20	154,81	1,089	152,48	1,057	150,94	1,034
30	138,25	0,866	137,64	0,857	135,21	0,822
40	118,88	0,604	116,20	0,567	114,58	0,544
50	105,33	0,421	103,56	0,397	100,66	0,357
60	88,06	0,188	85,26	0,150	84,35	0,137
70	80,42	0,085	78,03	0,053	76,99	0,038
80	75,89	0,024	76,91	0,037	75,60	0,019
90	75,63	0,021	76,52	0,032	75,35	0,016
100	75,50	0,019	76,45	0,031	75,30	0,015
110	75,45	0,018	76,40	0,031	75,25	0,014
120	75,42	0,018	76,38	0,030	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.9, se observan las curvas de deshidratado de las muestras (R01, R02 y R03) del (ensayo 3) con solución de bicarbonato de sodio entre (0,1, 0,25 y 0,5) %.

Para lo cual, se observa el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) en función del tiempo de deshidratado en base a datos de la tabla 4.9.

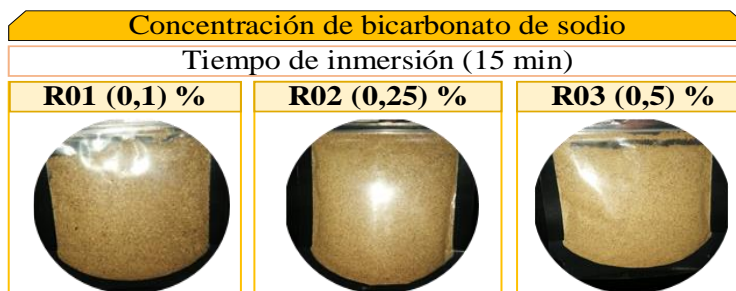


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Curvas de deshidratado con solución de bicarbonato de sodio (ensayo 3)

En la figura 4.9, se puede observar el contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras (R01, R02 y R03). En donde a los 50 minutos, se obtuvieron los siguientes datos: muestra (R01) presenta 0,421 (g agua/g sólido seco), (R02) de 0,397 (g agua/g sólido seco) y (R03) de 0,357 (g agua/g sólido seco). Así mismo, para un tiempo 120 minutos la muestra (R01) presenta 0,018 (g agua/g sólido seco) y (R02) de 0,030 (g agua/g sólido seco) y para un tiempo 110 minutos la muestra (R03) contiene 0,014 (g agua/g sólido seco).

En base a las muestras secas de bagazo cervecero obtenidas del (ensayo 3) que fueron pretratadas en solución de bicarbonato de sodio al 0,1 % (R01), 0,25 % (R02) y 0,5 %, (R03), se llevaron a un proceso de molienda utilizando un molino de martillos y posteriormente se tamizaron en el tamiz vibratorio para una abertura de malla con tamaño de partículas < (0,5) mm. En la figura 4.10. se observa las muestras de harina obtenidas en base al (ensayo 3)



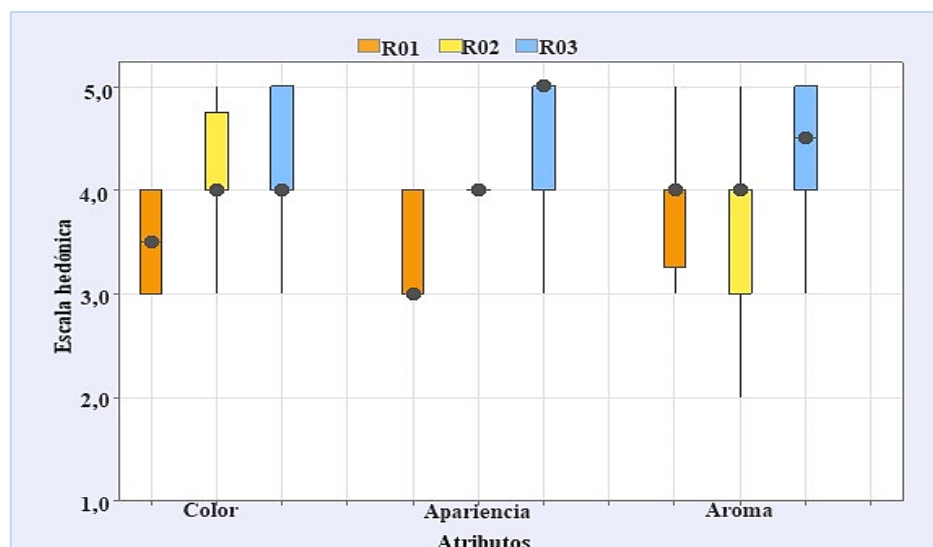
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Harinas obtenidas en base al (ensayo 3)

Según la figura 4.10, se procedió a realizar una evaluación sensorial de las tres muestras de harina (R01, R02 y R03) para los atributos; color, apariencia y aroma; utilizando veinte jueces no entrenados con escala hedónica de cinco puntos, con la finalidad de seleccionar la muestra de harina con mayor preferencia en base a los tratamientos para el (ensayo 3).

4.2.2.4 Estadístico de caja y bigote con tratamiento en solución de bicarbonato de sodio del (ensayo 3)

En la figura 4.11, se muestra el estadístico caja y bigote de las tres muestras de harina (R01, R02 y R03) en función de los atributos: color (tabla C.2.1), apariencia (tabla C.2.4) y aroma (tabla C.2.7) de datos extraídos del (Anexo C) para el (ensayo 3).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Caja y bigote de las muestras de harina para el ensayo 3

En la figura 4.11, observamos que la muestra R03 del atributo aroma tiene una mediana de puntuaciones mayor (4,5) en relación a las demás muestras; por tanto, indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación mayor a (4,0), seguida por la muestra R01 del mismo atributo con una mediana de (4,0) que indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación de (4,0) o menos.

4.2.2.5 Estadístico de Tukey para el atributo color en las muestras de harina del (ensayo 3)

En la tabla 4.10, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.10

Estadístico Tukey para el atributo color				
Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R03	20	4,0	A	
R02	20	4,0	A	
R01	20	3,5		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10 se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R03-R01). Sin embargo, para los tratamientos (R03-R02) no existe diferencia significativa estadística para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.2.6 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia en las muestras de harina del (ensayo 3)

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.11

Estadístico Tukey para el atributo apariencia				
Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R03	20	5	A	
R02	20	4		B
R01	20	3		C

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R03-R02) y (R03-R01) para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.2.7 Estadístico de Tukey para el atributo aroma en las muestras de harina del (ensayo 3)

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.12

Estadístico Tukey para el atributo aroma				
Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R03	20	4,5	A	
R02	20	4,0	A	B
R01	20	4,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R03-R01). Sin embargo, para los tratamientos (R03-R02) y (R02-R01), no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Según la evaluación sensorial realizado y el análisis estadístico de Tukey en las muestras (R01, R02 y R03) del (ensayo 3), se demuestra estadísticamente que la muestra R03 (con solución de bicarbonato de sodio al 0,5 %) obtuvo mayor preferencia por parte de los jueces en función al valor de sus medianas. Así mismo, se cambió la codificación de (R03) a (L01) para ser comparado con las muestras (L02, L03 y L04) con el fin de seleccionar la muestra ideal.

4.2.2.8 Deshidratado de bagazo cervecero con tratamiento de escaldado del (ensayo 4)

En la tabla 4.13, se muestran los resultados obtenidos de la variación del contenido de humedad en base seca del (ensayo 4) deshidratado con tratamiento de escaldado en agua a temperaturas: R04 (60 °C), R05 (70 °C) y R06 (90 °C) con tiempo de inmersión de 10 minutos. Para lo cual, se llevó a cabo el proceso de deshidratado en base a la muestra

J08 (prensado 120 kg/cm², temperatura 60 °C y velocidad del aire de 5 m/s) y para los cálculos de contenido de humedad en base seca (H_{BS}), se utilizó la ecuación (2.2).

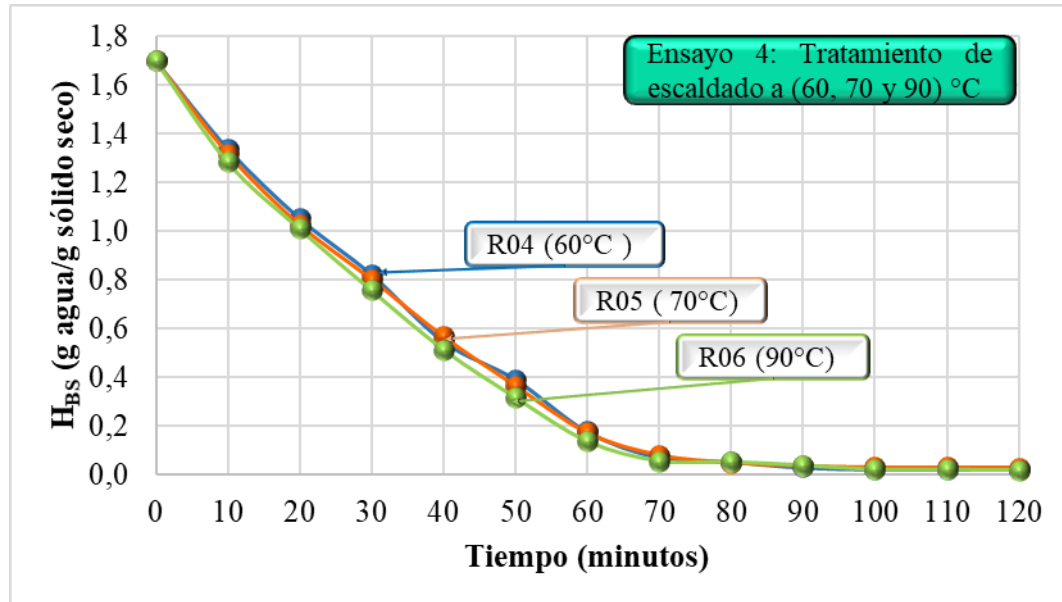
Tabla 4.13

Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 4

Tiempo (min)	Tratamiento de escaldado					
	R04 (60) °C		R05 (70) °C		R06 (90) °C	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	200,18	1,700	200,03	1,700	200,11	1,700
10	173,50	1,340	171,88	1,320	169,25	1,283
20	152,30	1,054	150,23	1,028	148,96	1,010
30	135,25	0,824	133,64	0,804	130,25	0,757
40	114,88	0,549	116,22	0,569	112,23	0,514
50	103,33	0,394	101,25	0,367	97,66	0,318
60	87,45	0,179	86,98	0,174	84,35	0,138
70	79,51	0,072	80,14	0,082	78,36	0,057
80	78,23	0,055	77,89	0,051	78,05	0,053
90	76,48	0,031	76,84	0,037	77,05	0,040
100	75,94	0,024	76,41	0,032	75,78	0,022
110	75,86	0,023	76,40	0,031	75,68	0,021
120	75,83	0,023	76,35	0,030	75,62	0,020

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.12, se observan las curvas de deshidratado de las muestras (R04, R05 y R06) del (ensayo 4) con tratamiento de escaldado en agua a temperatura: R04 (60°C), R05 (70°C) y R06 (90°C). Para lo cual, se observa el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) en base a datos de la tabla 4.13.

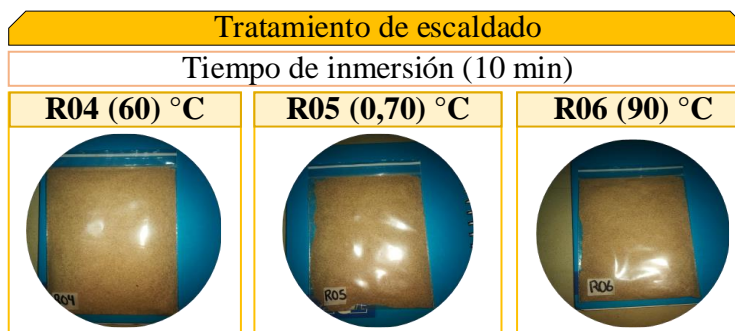


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Curvas de deshidratado variando la temperatura de escaldado del (ensayo 4)

En la figura 4.12, se puede observar el contenido de humedad en base seca en función del tiempo, de las muestras (R04, R05 y R06). En donde a los 30 minutos, se obtuvieron los siguientes datos: muestra (R04) presenta 0,824 (g agua/g sólido seco), (R05) de 0,804 (g agua/g sólido seco) y (R06) de 0,757 (g agua/g sólido seco). Así mismo, para un tiempo 120 minutos la muestra (R04) presenta 0,023 (g agua/g sólido seco), (R05) de 0,030 (g agua/g sólido seco) y (R06) contiene 0,020 (g agua/g sólido seco).

En base a las muestras secas de bagazo cervecero obtenidas del (ensayo 4) que fueron escaldados a temperatura de 60 °C (R04), 70 °C (R05) y 90 °C (R06), se llevaron a un proceso de molienda utilizando un molino de martillos, para luego tamizarlo en el tamiz para una abertura de malla con tamaño de partículas < (0,5) mm. En la figura 4.13. se observa las muestras de harina obtenidas en base al (ensayo 4).



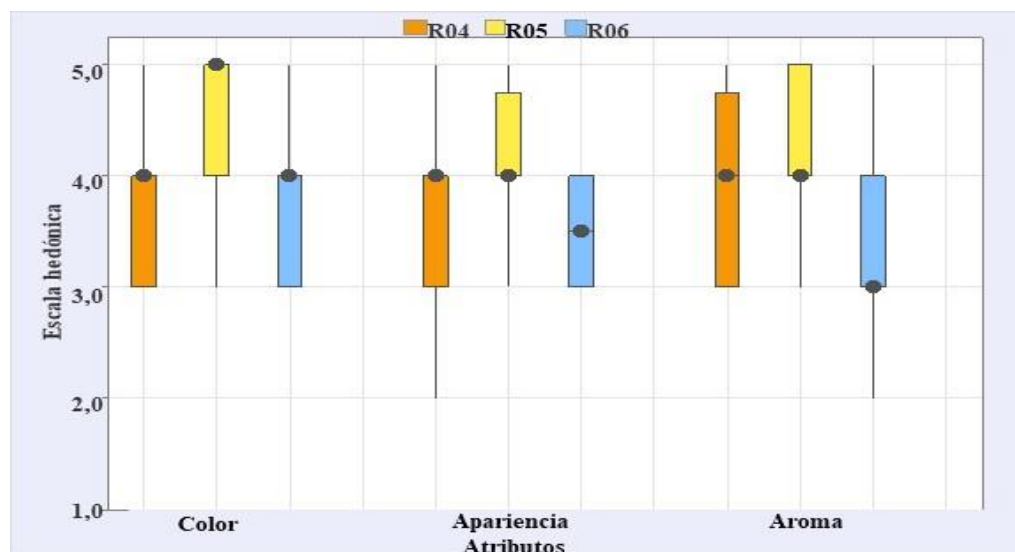
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Harinas obtenidas en base al (ensayo 4)

En base a la figura 4.13, se realizó evaluación sensorial de las tres muestras de harina (R04, R05 y R06) para los atributos; color, apariencia y aroma. Con escala hedónica de cinco puntos utilizando veinte jueces no entrenados, con la finalidad de seleccionar la muestra de harina con mayor preferencia en base a los tratamientos para el (ensayo 4).

4.2.2.9 Estadístico de caja y bigote variando la temperatura de escaldado del (ensayo 4)

En la figura 4.14, se muestra el estadístico caja y bigote de las tres muestras de harina (R04, R05 y R06) en función de los atributos: color (tabla C.2.10), apariencia (tabla C.2.13) y aroma (tabla C.2.16) de datos extraídos del (Anexo C) para el (ensayo 4).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Caja y bigote de las muestras de harina para el (ensayo 4)

En la figura 4.14, se observa que la muestra con mayor relevancia es la R05 con una mediana de puntuaciones de (5,0) del atributo color, por lo tanto, indica que el 50 % de los jueces que evaluaron dieron una puntuación de (5,0) o menos, seguida por la muestra R04 del mismo atributo con una mediana de (4,0), en el cual indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación de (4,0) o menos.

4.2.2.10 Estadístico de Tukey para el atributo color en las muestras de harina del (ensayo 4)

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.14

Estadístico Tukey para el atributo color

Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R05	20	5	A	
R06	20	4		B
R04	20	4		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14 se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R05-R06) y (R05-R04). Sin embargo, para los tratamientos (R06-R04) no existe diferencia significativa estadística para un nivel de significación $\alpha=0,05$.

4.2.2.11 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia en las muestras de harina del (ensayo 4)

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.15

Estadístico Tukey para el atributo apariencia

Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R05	20	4,0	A	
R04	20	4,0	A	B
R06	20	3,5		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.15, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R05-R06). Sin embargo, para los tratamientos (R05-R04) y (R04-R06) no existe diferencia significativa estadística para un nivel de significación $\alpha=0,05$.

4.2.2.12 Estadístico de Tukey para el atributo aroma en las muestras de harina del (ensayo 4)

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.16

Estadístico Tukey para el atributo aroma				
Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R05	20	4	A	
R04	20	4	A	B
R06	20	3		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.16, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R05-R06). Sin embargo, para los tratamientos (R05-R04) y (R04-R06), no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Según la evaluación sensorial realizado y el análisis estadístico de Tukey en las muestras (R04, R05 y R06) del (ensayo 4), se demuestra estadísticamente que la muestra R05 (escaldado a 70 °C), obtuvo mayor preferencia por parte de los jueces en función al valor de sus medianas. Así mismo, se cambió la codificación de (R05) a (L02) para ser comparado con las muestras (L01, L03 y L04) con el fin de seleccionar la muestra ideal.

4.2.2.13 Deshidratado de bagazo cervecero enjugando con agua filtrada del (ensayo 5)

En la tabla 4.17, se muestran los datos obtenidos de la variación del contenido de humedad en base seca del (ensayo 5) enjugando con agua filtrada a temperatura ambiente entre (20 – 25) °C. Para lo cual, se realizó un solo enjuague en la muestra (R07), dos en la muestra (R08) y tres en la muestra (R09), utilizando una relación de 1:1

entre cantidad de bagazo y de agua en cada enjuague. Luego, en base a la muestra J08 (prensado 120 kg/cm^2 , temperatura $60 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad del aire de 5 m/s) se llevó a cabo el proceso de deshidratado y para los cálculos de contenido de humedad en base seca (H_{BS}), se utilizó la ecuación (2.2).

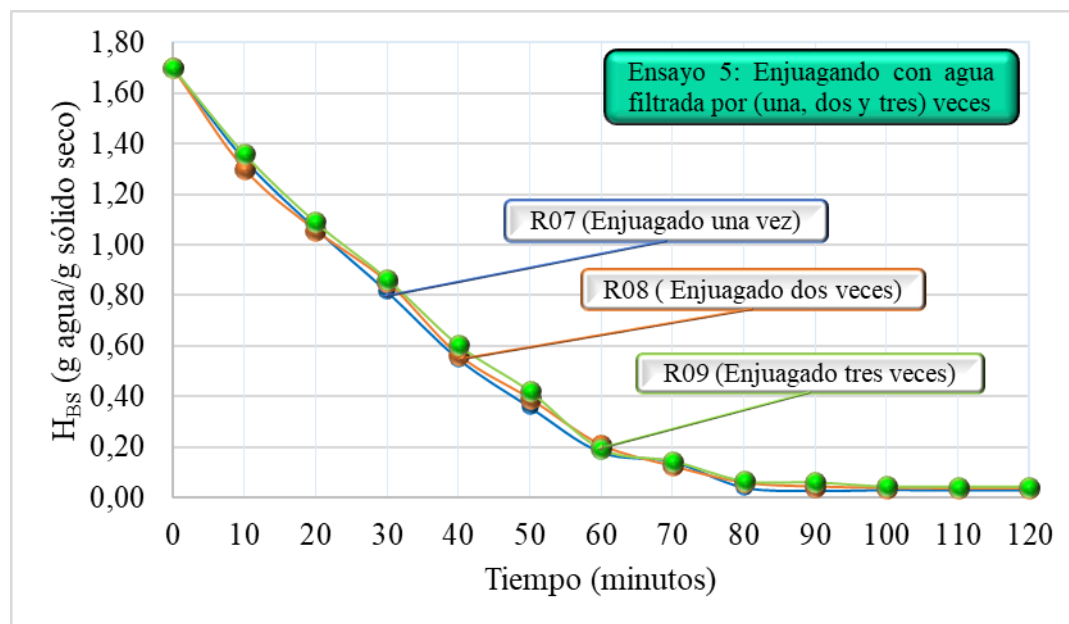
Tabla 4.17

Variación del contenido de humedad en base seca para el ensayo 5

Tiempo (min)	Enjugando con agua filtrada					
	R07 (una vez)		R08 (dos veces)		R09 (tres veces)	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	200,01	1,700	200,03	1,700	200,08	1,700
10	173,21	1,338	170,48	1,301	174,85	1,359
20	152,94	1,064	152,48	1,058	154,81	1,089
30	135,24	0,825	137,46	0,855	138,25	0,865
40	114,85	0,550	116,02	0,566	118,87	0,604
50	100,76	0,360	103,21	0,393	105,33	0,421
60	87,54	0,182	89,64	0,210	88,42	0,193
70	84,78	0,144	83,42	0,126	84,87	0,145
80	77,24	0,043	78,56	0,060	79,02	0,066
90	76,25	0,029	77,35	0,044	78,62	0,061
100	76,51	0,033	76,98	0,039	77,40	0,048
110	76,45	0,032	76,80	0,037	77,38	0,045
120	76,40	0,031	76,77	0,036	77,34	0,044

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.15, se observan las curvas de deshidratado de las muestras (R07, R08 y R09) del (ensayo 5) enjugando con agua filtrada por (una, dos y tres) veces respectivamente. Para lo cual, se observa el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) en función del tiempo de deshidratado en base a datos de la tabla 4.16.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Curvas de deshidratado enjuagando con agua filtrada del (ensayo 5)

En la figura 4.15, se puede observar el contenido de humedad en base seca en función del tiempo, de las muestras (R07, R08 y R09). En donde a los 30 minutos, se obtuvieron los siguientes datos: muestra (R07) presenta 0,825 (g agua/g sólido seco), (R08) de 0,855 (g agua/g sólido seco) y (R09) de 0,865 (g agua/g sólido seco). Así mismo, para un tiempo 120 minutos la muestra (R07) presenta 0,031 (g agua/g sólido seco), (R08) de 0,036 (g agua/g sólido seco) y (R09) contiene 0,044 (g agua/g sólido seco).

En base a las muestras secas de bagazo cervecero obtenidas del (ensayo 5) donde se realizó un solo enjuague en la muestra (R07), dos en la muestra (R08) y tres en la muestra (R09), se llevaron a un proceso de molienda utilizando un molino de martillos para luego tamizarlo en el tamiz vibratorio para una abertura de malla con tamaño de partículas < (0,5) mm. En la figura 4.16. se observa las muestras de harina obtenidas en base al (ensayo 5).



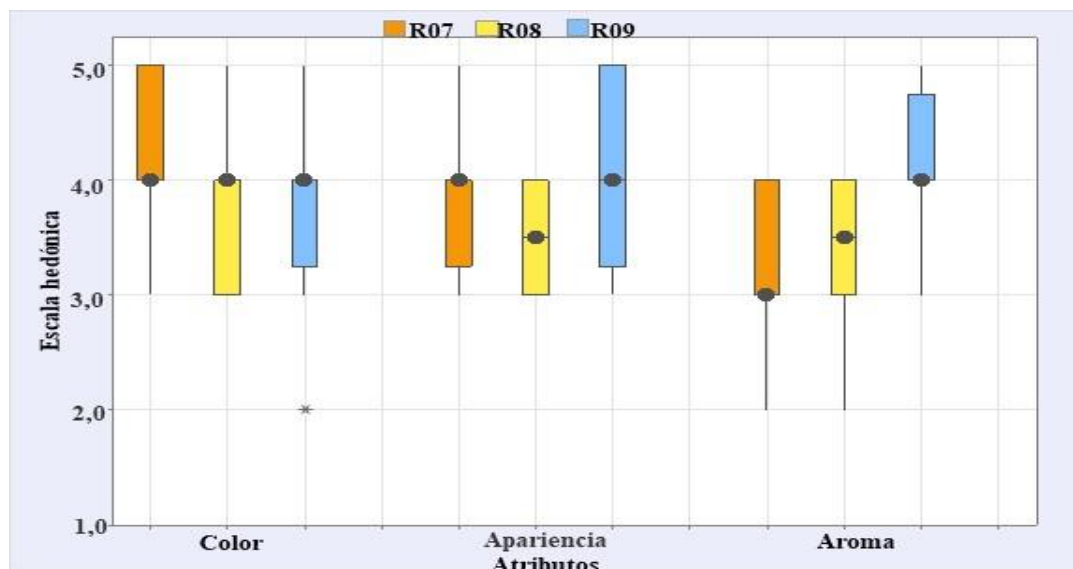
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Harinas obtenidas en base al (ensayo 5)

En base a la figura 4.16, se realizó evaluación sensorial de las tres muestras de harina (R07, R08 y R09) para los atributos; color, apariencia y aroma. Con escala hedónica de cinco puntos utilizando veinte jueces no entrenados, con la finalidad de seleccionar la muestra de harina con mayor preferencia en base a los tratamientos para el (ensayo 5).

4.2.2.14 Estadístico de caja y bigote enjugando con agua filtrada del (ensayo 5)

En la figura 4.17, se muestran el estadístico caja y bigote de las tres muestras de harina (R07, R08 y R09) en función de los atributos: color (tabla C.2.19), apariencia (tabla C.2.22) y aroma (tabla C.2.25) de datos extraídos del (Anexo C) para el (ensayo 5).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Caja y bigote de las muestras de harina para el (ensayo 5)

Según la figura 4.17, observamos que la mediana de puntuaciones con mayor relevancia es de (4,0) en el atributo aroma de la muestra R09 en comparación a las demás muestras. Por lo tanto, indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación de (4,0) o más; seguida de la muestra R08 del mismo atributo con una mediana de (3,5) que indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación de (4,0) o menos.

4.2.2.15 Estadístico de Tukey para el atributo color en las muestras de harina del (ensayo 5)

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.18

Estadístico Tukey para el atributo color

Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R07	20	4	A	
R09	20	4		B
R08	20	4		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R07-R09) y (R07-R08). Sin embargo, para los tratamientos (R09-R08) no existe diferencia significativa estadística para un nivel de significación $\alpha=0,05$.

4.2.2.16 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia en las muestras de harina del (ensayo 5)

En la tabla 4.19, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.19

Estadístico Tukey para el atributo apariencia

Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R09	20	4,0	A	
R07	20	4,0	A	B
R08	20	3,5		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19 se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (R09-R08). Sin embargo, para las muestras (R09-R07) y (R07-R08) no existe diferencia significativa para un nivel de significación $\alpha=0,05$.

4.2.2.17 Estadístico de Tukey para el atributo aroma en las muestras de harina del (ensayo 5)

En la tabla 4.20, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.20

Estadístico Tukey para el atributo aroma

Muestras	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
R09	20	4,0	A	
R08	20	3,5		B
R07	20	3,0		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos R09-R08 y R09-R07. Sin embargo, para las muestras R08-R07 no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Según la evaluación sensorial realizado y el análisis estadístico de Tukey en las muestras (R07, R08 y R09) del (ensayo 5), se demuestra estadísticamente que la muestra R09 (enjuagando tres veces) obtuvo mayor preferencia por parte de los jueces en función al valor de sus medianas. Así mismo, se cambió la codificación de (R09) a (L03) para ser comparado con las muestras (L01, L02 y L04) con el fin de seleccionar la muestra ideal.

En base a los ensayos de desodorización realizados al bagazo cervecero summer, se seleccionaron las muestras (R03, R05 y R09) ya que estadísticamente obtuvieron mayor preferencia por parte de los jueces en función de los atributos color, apariencia y aroma. Así mismo, se cambió la codificación de estas muestras a (L01, L02 y L03)

respectivamente para ser comparado con la muestra sin tratamiento (L04) con la finalidad de seleccionar la muestra final.

4.3 Deshidratado de bagazo cervecero a partir de las muestras ideales y sin tratamiento de desodorización

En la tabla 4.21, se muestra los datos obtenidos de la variación del contenido de humedad en base seca de la muestra L01 (solución de bicarbonato de sodio 0,5%) y L02 (escaldado a 70 °C) en agua. Para luego, llevar a cabo el proceso de deshidratado en base a la muestra J08 (prensado 120 kg/cm², temperatura 60 °C y velocidad del aire de 5 m/s) y para los cálculos de contenido de humedad en base seca (H_{BS}), se utilizó la ecuación (2.2).

Tabla 4.21

Variación del contenido de humedad en base seca de la muestra en solución de bicarbonato de sodio y escaldado

Tiempo (min)	(L01)		(L02)	
	Bicarbonato de sodio al (0,5) %		Escaldado a (70) °C	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	200,20	1,700	200,03	1,700
10	172,40	1,325	174,30	1,353
20	149,89	1,021	151,23	1,041
30	130,25	0,756	132,88	0,793
40	112,84	0,522	115,08	0,553
50	99,65	0,344	102,22	0,380
60	85,34	0,151	86,84	0,172
70	79,89	0,077	80,14	0,082
80	76,45	0,031	76,98	0,039
90	76,30	0,029	76,50	0,033
100	76,18	0,027	75,89	0,024
110	76,11	0,026	75,80	0,023
120	76,10	0,026	75,78	0,023

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se muestra los datos obtenidos de la variación del contenido de humedad en base seca de la muestra L03 (enjugando con agua filtrada) a temperatura ambiente entre (20 - 25) °C y L04 (sin tratamiento). Para lo cual, en base a la muestra

J08 (prensado 120 kg/cm², temperatura 60 °C y velocidad del aire de 5 m/s) se llevó a cabo el proceso de deshidratado y para los cálculos de contenido de humedad en base seca (H_{BS}), se utilizó la ecuación (2.2).

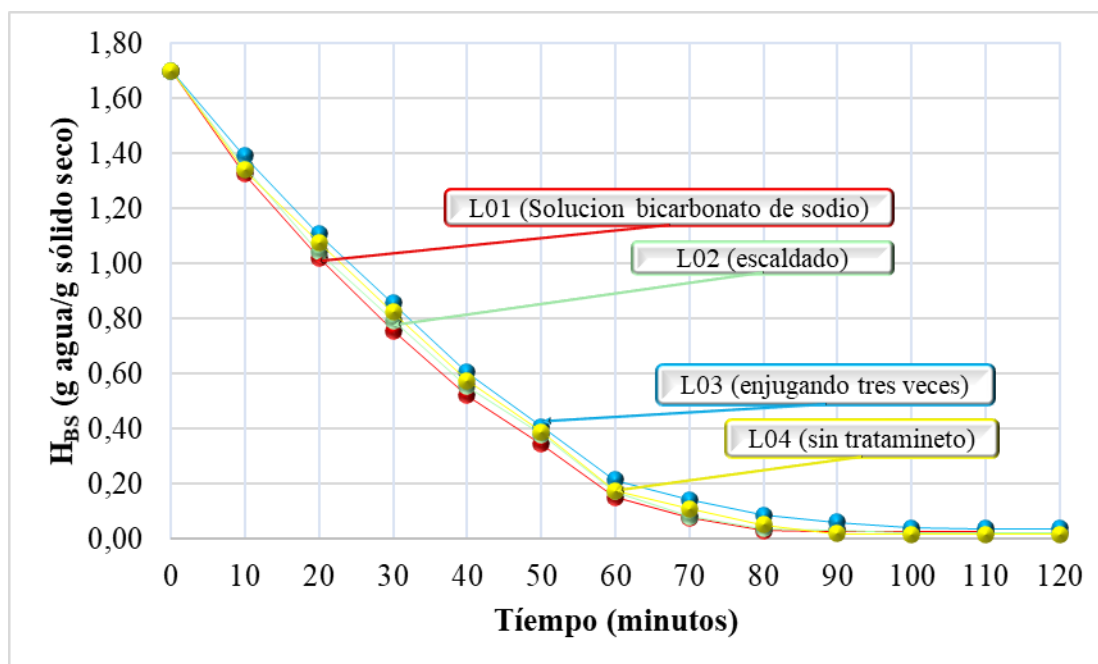
Tabla 4.22

Variación del contenido de humedad en base seca de la muestra enjuagando con agua filtrada y sin tratamiento

Tiempo (min)	(L03)		(L04)	
	Enjuagando (tres veces)		Sin tratamiento	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	200,08	1,700	200,36	1,700
10	177,23	1,391	173,56	1,339
20	156,23	1,108	154,21	1,078
30	137,52	0,856	135,28	0,823
40	119,02	0,606	116,84	0,574
50	104,23	0,406	103,14	0,390
60	89,98	0,214	87,25	0,176
70	84,73	0,143	82,45	0,111
80	80,62	0,088	77,99	0,051
90	78,62	0,061	75,66	0,019
100	77,12	0,041	75,54	0,018
110	76,89	0,038	75,48	0,017
120	76,86	0,037	75,46	0,017

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4,18, se observa las curvas de deshidratado de las muestras con tratamiento; L01(solución de bicarbonato de sodio 0,5 %), L02 (escaldado en agua 70 °C), L03 (enjuagando con agua filtrada) y la muestra L04 (sin tratamiento). Para lo cual se observa el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) en función del tiempo de deshidratado en base a datos de la tabla 4.20 y tabla 4.21.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Curvas de deshidratado de las muestras de bagazo con y sin tratamiento de desodorizado

En la figura 4.18, se puede observar el contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras (L01, L02, L03 y L04). En donde en 50 minutos, se obtuvieron los siguientes datos: muestra (L01) presenta 0,344 (g agua/g sólido seco), (L02) 0,380 (g agua/g sólido seco), (L03) 0,406 (g agua/g sólido seco) y (L04) 0,390 (g agua/g sólido seco). Así mismo, para un tiempo 120 minutos la muestra (L01) presenta 0,026 (g agua/g sólido seco), (L02) 0,023 (g agua/g sólido seco), (L03) 0,037 (g agua/g sólido seco) y (L04) 0,017 (g agua/g sólido seco).

En base a las muestras secas de bagazo cervecero con y sin tratamiento de desodorización: L01(solución de bicarbonato de sodio 0,5 %), L02 (escaldado 70 °C), L03 (enjugando con agua filtrada) y L04 (sin tratamiento), se llevaron a un proceso de molienda utilizando un molino de martillos para luego tamizarlo en el tamiz vibratorio para una abertura de malla con tamaño de partículas < (0,5) mm. En la figura 4.19, se observan las muestras de harina obtenidas a partir de bagazo cervecero con y sin tratamiento de desodorizado.



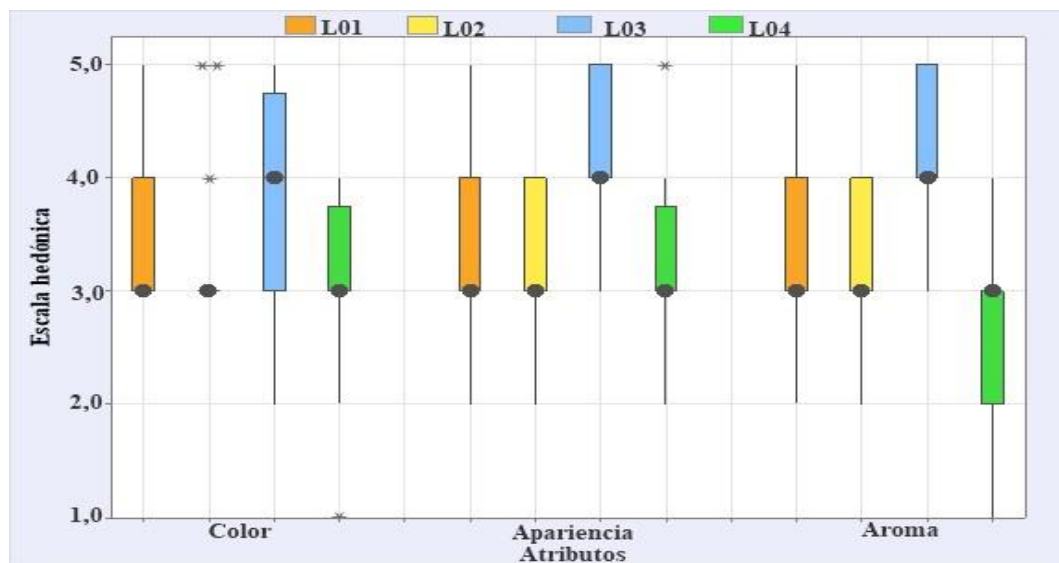
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Harinas obtenidas con y sin tratamiento de desodorizado

En base a la figura 4.19, se realizó evaluación sensorial de las cuatro muestras de harina de bagazo cervecero (L01, L02, L03 y L04) para los atributos; color, apariencia y aroma. utilizando veinte jueces no entrenado con escala hedónica de cinco puntos; con la finalidad de seleccionar la muestra final de harina.

4.3.1 Estadístico de caja y bigote de las harinas con y sin tratamiento de desodorizado

En la figura 4.20, se muestran el estadístico caja y bigote de las muestras de harina (L01, L02, L03 y L04) en función de los atributos: color (tabla C.2.28), apariencia (tabla C.2.31) y aroma (tabla C.2.34) datos extraídos del (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Caja y bigote de las muestras de harina con y sin tratamiento de desodorizado

Según la figura 4.20, observamos que la mediana de puntuaciones con mayor relevancia es de (4,0) en el atributo aroma de la muestra L03 en comparación a las demás muestras. Por lo tanto, indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación de (4,0) o más; seguida de las muestras L02 y L01 del mismo atributo con una mediana de (3,0) que indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación de (3,0) o más.

4.3.2 Estadístico de Tukey para el atributo color en las muestras de harina con y sin tratamiento.

En la tabla 4.23, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.23

Estadístico Tukey para el atributo color

Tratamientos	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
L03	20	4	A	
L01	20	3	A	B
L02	20	3		B
L04	20	3		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (L03-L02) y (L03-L04). Sin embargo, para los tratamientos (L03-L01), (L01-L02), (L01-L04) y (L02-L04) no existe diferencia significativa para un nivel de significación $\alpha=0,05$.

4.3.3 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia en las muestras de harina con y sin tratamiento

En la tabla 4.24, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.24

Estadístico Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
L03	20	4	A	
L02	20	3		B
L01	20	3		B
L04	20	3		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.24 se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (L03-L02), (L03-L01) y (L03-L04). Sin embargo, para las muestras (L02-L01), (L02-L04) y (L01-L04) no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.4 Estadístico de Tukey para el atributo aroma en las muestras de harina con y sin tratamiento

En la tabla 4.25, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.25

Estadístico Tukey para el atributo aroma

Tratamientos	N° de Jueces	Mediana	Agrupación	
L03	20	4	A	
L01	20	3		B
L02	20	3		B
L04	20	3		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.25, se puede observar que existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos (L03-L01), (L03-L02) y (L03-L04). Sin embargo, para las muestras (L01-L02), (L01-L04) y (L02-L04) no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Según la evaluación sensorial realizado y el análisis estadístico de Tukey en las muestras (L01, L02, L03 y L04); se demuestra estadísticamente que la muestra L03 (enjugada con agua filtrada) obtuvo mayor preferencia por parte de los jueces en función al valor de sus medianas; color (4,0), apariencia (4,0) y aroma (4,0). Por lo tanto, se procedió a tomar en cuenta como pretratamiento previo al bagazo cervecero para la obtención de harina.

4.4 Diseño experimental en el proceso de deshidratado del bagazo cervecero

En base a la muestra ideal (L03), se procedió a aplicar de manera experimental el diseño factorial 2^3 en el proceso de deshidratado para la obtención de harina de bagazo cervecero, donde se tomaron en cuenta las variables: temperatura entre (55 - 65) °C, velocidad de aire entre (4 - 6) m/s y presión del prensado (120 – 140) kg/cm². Así mismo, se tomó en cuenta como variable respuesta al contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco).

4.4.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de deshidratado del bagazo cervecero en base a la muestra ideal

En la tabla 4.26, se observan los datos obtenidos del contenido de humedad en base seca de las muestras de bagazo cervecero en función de las variables controladas durante el proceso de deshidratado de datos extraídos del (Anexo E)

Tabla 4.26

Contenido de humedad en base seca de muestras de bagazo cervecero en función de las variables controladas

Combinación de tratamientos	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Y _i)
	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Presión (kg/cm ²)			
	A	B	C			
(1)	55	4	120	0,058	0,067	0,126
a	65	4	120	0,033	0,036	0,069
b	55	6	120	0,067	0,014	0,082
c	65	6	120	0,035	0,019	0,054
ab	55	4	140	0,021	0,097	0,118
ac	65	4	140	0,017	0,025	0,042
bc	55	6	140	0,036	0,031	0,067
abc	65	6	140	0,055	0,011	0,066

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.1 Análisis de varianza del diseño factorial para las muestras de bagazo cervecero

En la tabla 4.27 se muestran los resultados del análisis de varianza del diseño factorial dos al cubo del proceso de deshidratado en función de la variable respuesta contenido

de humedad en base seca (H_{BS}), las mismas fueron obtenidas del programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows de datos extraídos del (Anexo D).

Tabla 4.27

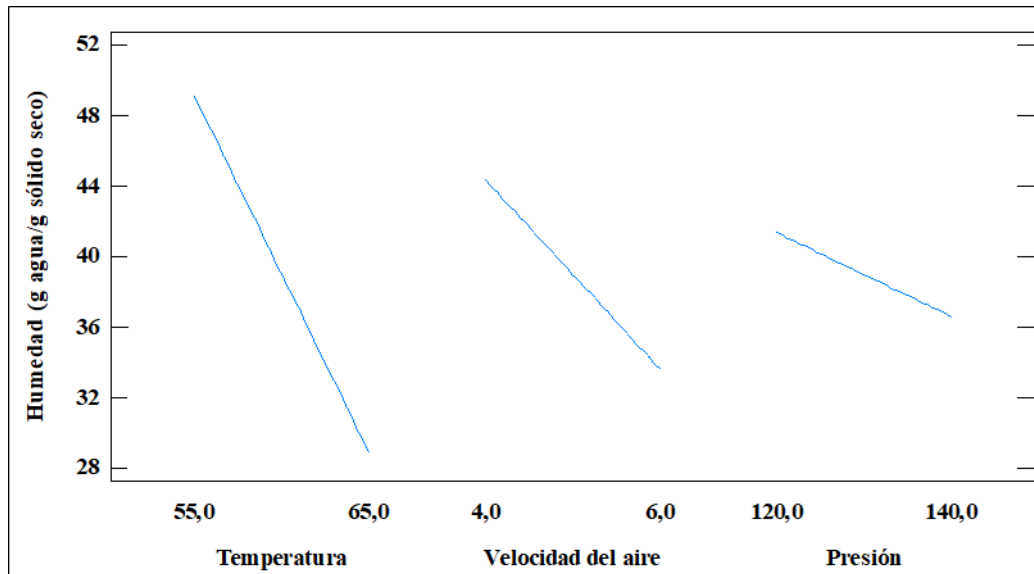
Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de humedad en base seca

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab	Valor-p
A	0,00164	1	0,00164	2,370	5,318	0,162
B	0,00046	1	0,00046	0,670	5,318	0,438
C	0,00009	1	0,00009	0,130	5,318	0,728
AB	0,00068	1	0,00068	0,980	5,318	0,352
AC	0,00000	1	0,00000	0,010	5,318	0,941
BC	0,00006	1	0,00006	0,090	5,318	0,769
ABC	0,00013	1	0,00013	0,190	5,318	0,674
Error	0,00554	8	0,00069	-	-	-
Total	0,00861	15	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.27), se puede observar que; el factor A (temperatura), factor B (velocidad del aire), factor C (presión) e interacciones AB (temperatura – velocidad del aire), AC (temperatura – presión), BC (velocidad del aire – presión) y la interacción de los factores ABC (temperatura – velocidad del aire – presión) no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, de tal manera, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.21, se muestran los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad del aire) y C (presión) con relación a la variable respuesta contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco)

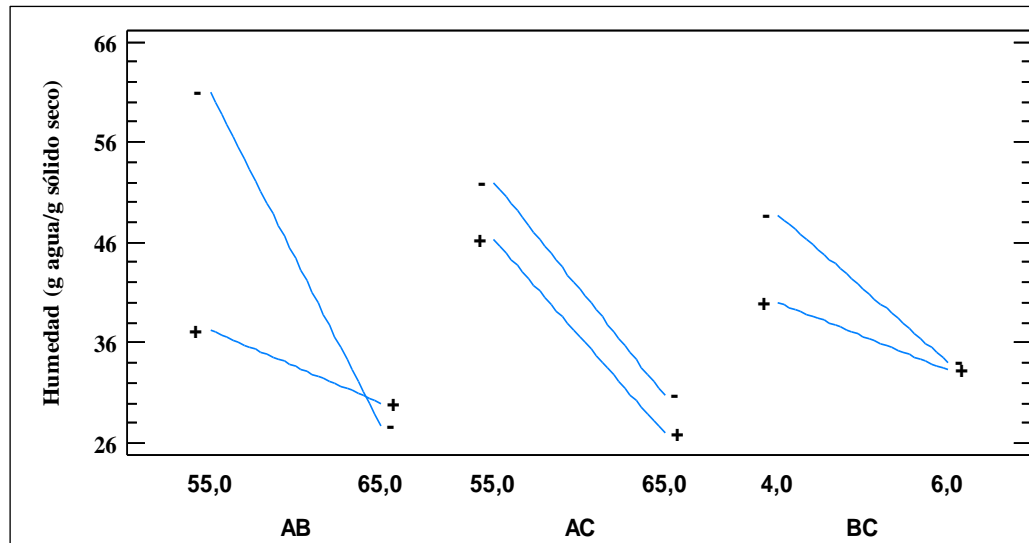


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Efectos principales para el contenido de humedad en base seca

Según la figura 4.21, se puede observar que el factor A (temperatura) entre valores (55,0 - 65,0) °C influye significativamente en el contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en su nivel alto y bajo. Por otro lado, el factor B (velocidad del aire) entre valores (4,0 – 6,0) m/s y el factor C (presión) entre valores (120,0 – 140,0) kg/cm², no inciden significativamente en sus niveles alto y bajo; debido a que la variación del contenido de húmeda en base seca es mínima.

En la figura 4.22, se muestra las interacciones para los factores; AB (temperatura – velocidad de aire), AC (temperatura – presión) y BC (velocidad del aire – presión), en función de la variable respuesta contenido de humedad en base seca.



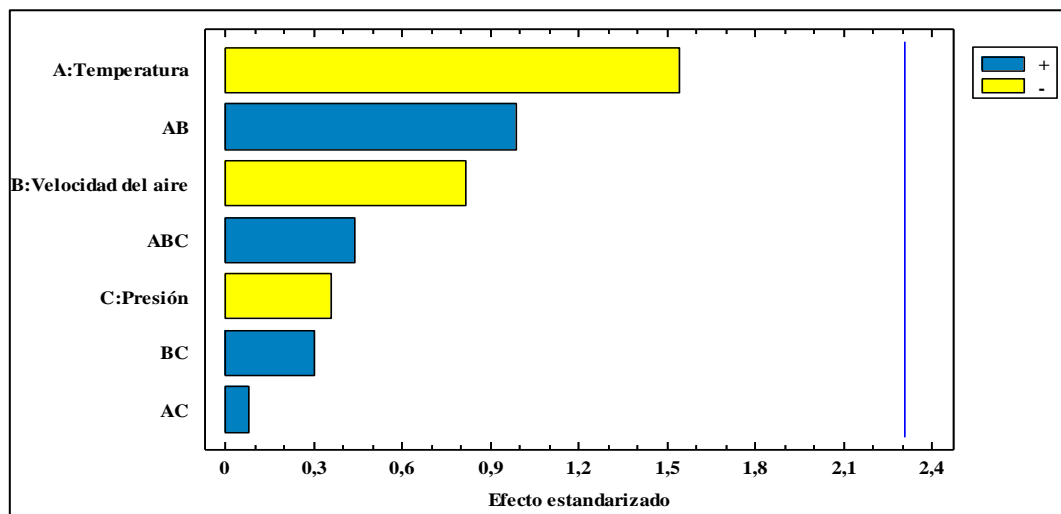
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca

Según la figura 4.22, se puede observar que el contenido de humedad en base seca para la interacción AB es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí, para temperatura de 55,0 °C, el contenido de humedad se ve afectado cuando el factor B (velocidad de aire), se encuentra en su nivel alto y bajo (4,0 – 6,0) m/s. Sin embargo, cuando la temperatura se incrementa a 65 °C el contenido de humedad no afecta significativamente debido a que el contenido de humedad es mínimo cuando se encuentra en su nivel alto y bajo. Así mismo, para la interacción AC para una temperatura de 55 °C el contenido de humedad se ve afectado por el factor C (presión) cuando se encuentra en su nivel alto y bajo. Por otro lado, la interacción BC a velocidad de 4,0 m/s el contenido de humedad se ve afectado cuando el factor C (presión) se encuentra en su nivel alto y bajo entre (120 – 140) kg/cm²; sin embargo, para una velocidad de aire 6,0 m/s el contenido de humedad es mínimo cuando el factor C (presión), se encuentra en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.23, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental. Para tal efecto, el nivel de significancia estadística lo determina el valor referencia de 2,306 y por lo tanto los factores que

exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad

En la figura 4.23, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores A (temperatura), (B) velocidad del aire, C (presión) y las interacciones AB (temperatura – velocidad del aire), AC (temperatura - presión), ABC (temperatura - velocidad del aire - presión) y BC (velocidad del aire - presión); no son estadísticamente significativos debido a que ninguno de los factores superan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.1.2 Coeficiente de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de bagazo cervecero

Según la ecuación (3.2) del modelo de regresión para un diseño 2^k ; en la ecuación (4.1), se observa el modelo de regresión que se ajusta a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de las muestras de bagazo cervecero, de datos extraídos de la tabla D.1.3 (Anexo D).

$$\text{Humedad} = -1,43 + 0,03*A + 0,34*B + 0,02*C - 0,01*A*B - 0,0003*A*C - 0,003*B*C - 0,0001*A*B*C$$

(Ecuación 4.1)

En donde los factores A (temperatura °C), B (velocidad del aire m/s) y C (presión kg/cm²) están especificados en sus unidades originales.

4.4.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial 2³ en el proceso de deshidratado

Para el diseño a nivel experimental en la etapa de deshidratado de las muestras de bagazo cervecero se emplearon ocho muestras de 200,0 gramos, donde las variables tomadas en cuenta se describen en la tabla 4.28.

Tabla 4.28

Variables tomadas en cuenta en el deshidratado de las muestras de bagazo

Muestras	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Presión (kg/cm ²)
BC1	55	4	120
BC2	65	4	120
BC3	55	6	120
BC4	65	6	120
BC5	55	4	140
BC6	65	4	140
BC7	55	6	140
BC8	65	6	140

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.29, se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de bagazo cervecero de datos extraídos de la tabla D.1.7 (Anexo D).

Tabla 4.29

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	55	65	65
Velocidad del aire (B)	4	6	4
Presión (C)	120	140	140

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.29 se observa que los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de bagazo cervecero son: temperatura (65,0 °C),

velocidad del aire (4,0 m/s) y presión (140,0 kg/cm²), donde el valor óptimo del contenido de humedad en base seca es de 0,021 (g agua/g sólido seco) para tiempo de 120 minutos.

En base a resultados del diseño experimental del proceso de deshidratado del bagazo cervecero, se seleccionó los factores de la muestra BC6 (prensado 140 kg/cm², temperatura 65 °C y velocidad del aire 4 m/s) para minimizar el contenido de humedad en las muestras de bagazo en base seca, donde en 120 minutos presento 0,017 (g de agua/g sólido seco).

4.5 Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en el proceso de deshidratado de las muestras de bagazo cervecero

La influencia de las variables sobre el contenido de humedad final del bagazo en base seca (H_{BS}), se determinó a partir de la pérdida de peso que se registró durante el proceso de deshidratado. Para lo cual, la muestra de bagazo sometida a presión de prensado 120,0 (kg/cm²) presenta (62,61 %) de humedad y la muestra prensado a 140,0 (kg/cm²) presenta (60,83 %) de humedad, las cuáles fueron medidas en la termobalanza del laboratorio de la carrera de ingeniería de alimentos de datos extraídos del (Anexo G.2).

En la tabla 4.30, se observa las variables temperatura (A), velocidad del aire (B) y presión del prensado (C), que se utilizaron para disminuir el contenido de humedad en base seca del bagazo cervecero.

Tabla 4.30

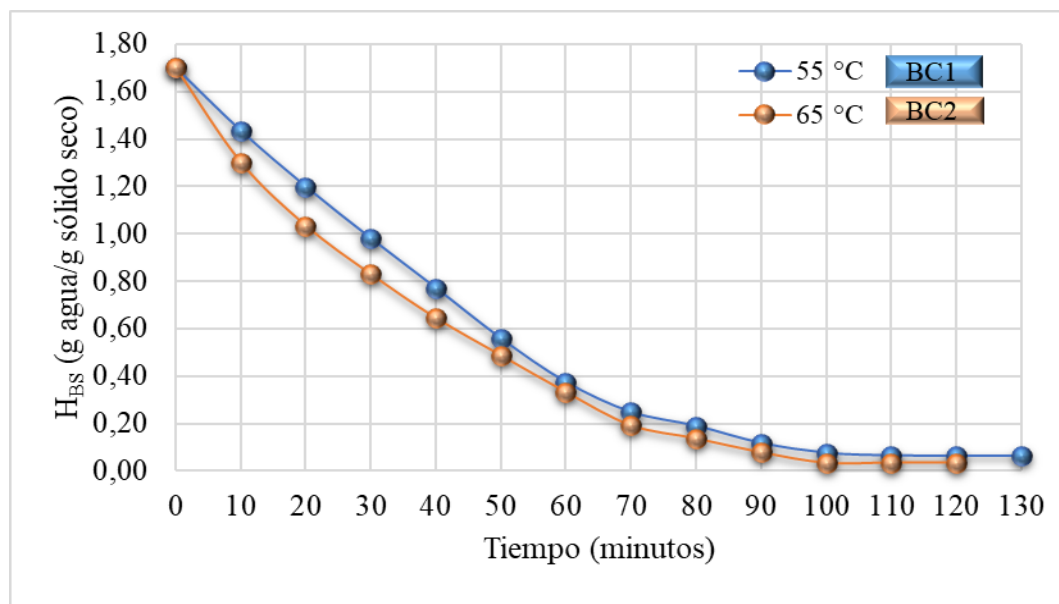
Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en base seca

Características	
Temperatura	A ₁ = 55 °C
	A ₂ = 65 °C
Velocidad del aire	B ₁ = 4 m/s
	B ₂ = 6 m/s
Presión	C ₁ = 120 kg/cm ²
	C ₂ = 140 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

4.5.1 Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C: $B_1 = 4,0$ m/s vs $C_1 = 120,0$ kg/cm²

En la figura 4.24, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC1) y (BC2). Para tal efecto, se varió la temperatura entre (55,0 - 65,0) °C, manteniendo constantes la presión de prensado a C_1 (120,0 kg/cm²) y velocidad del aire B_1 (4,0 m/s). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las cuales se detallan en la tabla E.1 y tabla E.2 (Anexo E).



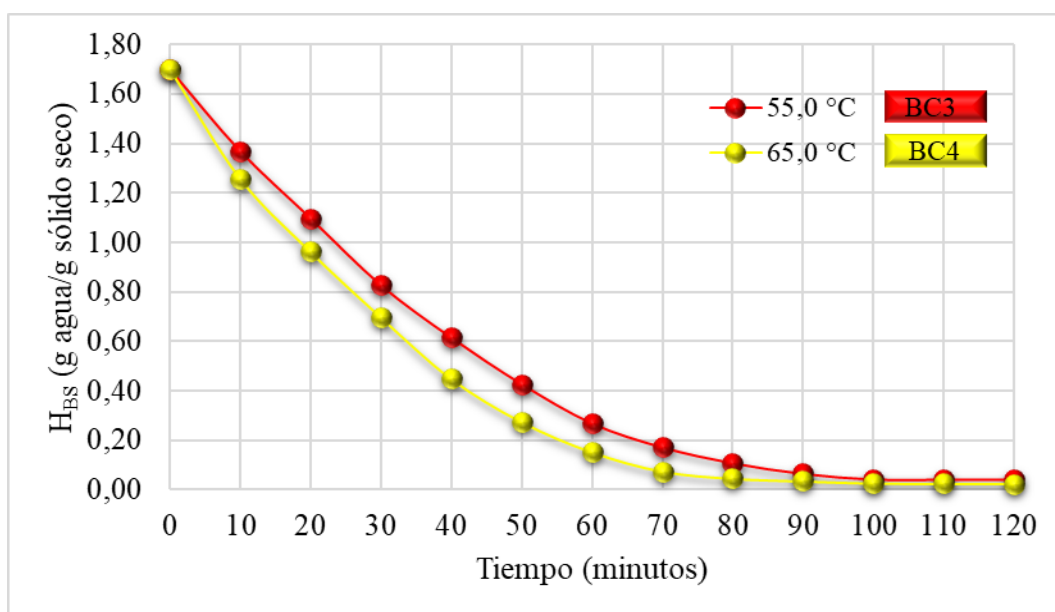
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C a B_1 (4,0 m/s) vs C_1 (120,0 kg/cm²)

En la figura 4.24, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC1) y (BC2), donde al incrementar la temperatura de 55,0 °C (A_1) a 65,0 °C (A_2), el proceso de deshidratado se ve favorecido en la disminución de la humedad final. Para lo cual, la muestra (BC1) sometida a presión de 120 kg/cm², temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,961 (g agua/g sólido seco) y en 130 minutos 0,063 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC2) prensado a 120 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,812 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,034 (g agua/g sólido seco).

4.5.2 Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C: $B_2 = 6,0$ m/s vs $C_1 = 120,0$ kg/cm²

En la figura 4.25, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC3) y (BC4). Para tal efecto, se varió la temperatura entre (55,0 - 65,0) °C, manteniendo constantes la presión de prensado a C_1 (120,0 kg/cm²) y la velocidad del aire B_2 (6,0 m/s). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.3 y tabla E.4 (Anexo E).



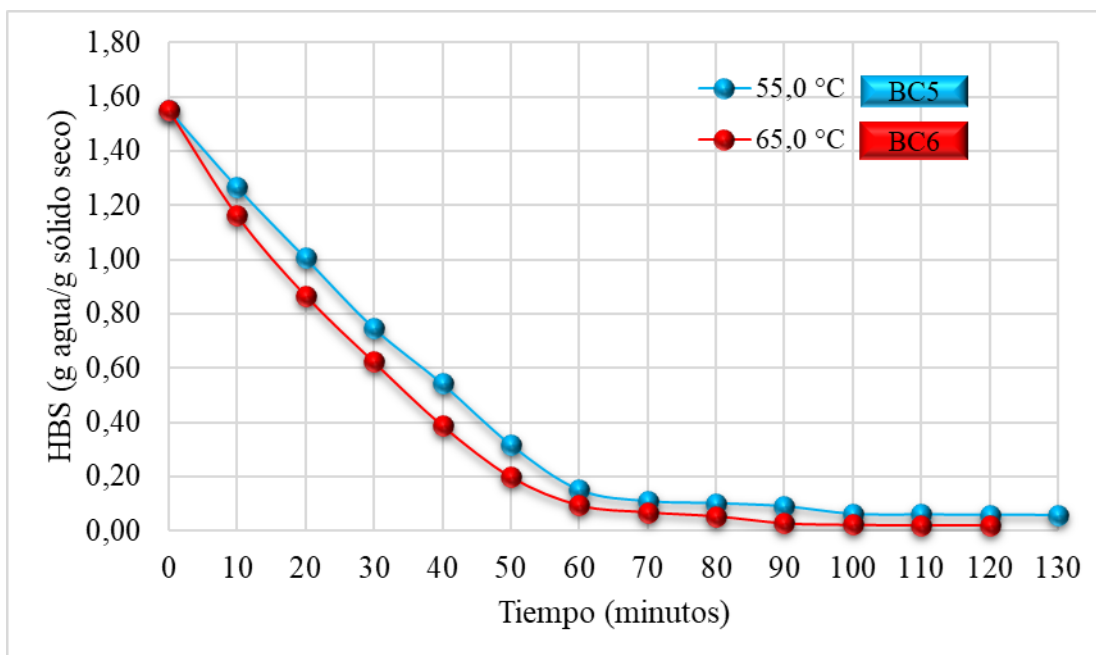
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C a B_2 (6,0 m/s) vs C_1 (120,0 kg/cm²)

En la figura 4.25, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC3) y (BC4), donde al incrementar la temperatura de 55,0 °C (A_1) a 65,0 °C (A_2), el proceso de deshidratado se ve favorecido en la disminución de la humedad final. Para lo cual, la muestra (BC3) sometida a presión de 120 kg/cm², temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,810 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,041 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC4) prensado a 120 kg/cm², temperatura 65,0 °C, velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,681 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,027 (g agua/g sólido seco).

4.5.3 Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C: $B_1 = 4,0$ m/s vs $C_2 = 140,0$ kg/cm²

En la figura 4.26, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC5) y (BC6). Para tal efecto, se varió la temperatura entre (55,0 - 65,0) °C, manteniendo constantes la presión de prensado a C_2 (140,0 kg/cm²) y la velocidad del aire B_1 (4,0 m/s). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.5 y tabla E.6 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

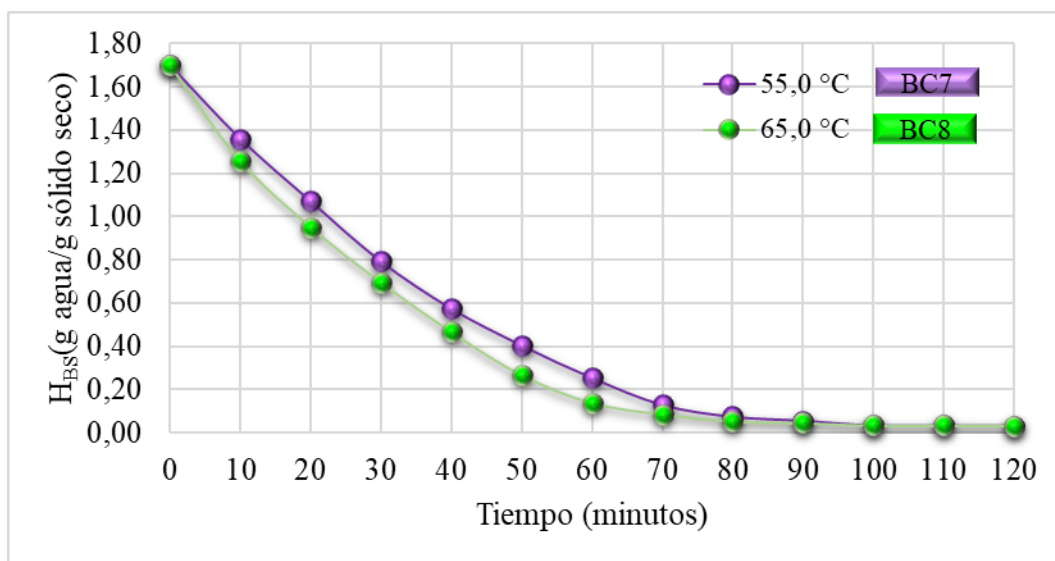
Figura 4.26: Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C a B_1 (4,0 m/s) vs C_2 (140,0 kg/cm²)

En la figura 4.26, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC5) y (BC6), donde al incrementar la temperatura de 55,0 °C (A_1) a 65,0 °C (A_2), el proceso de deshidratado se ve favorecido en la disminución de la humedad final. Para lo cual, la muestra (BC5) sometida a presión 140 kg/cm², temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,747 (g agua/g sólido seco) y en 130 minutos 0,059 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC6) prensado 140 kg/cm²,

temperatura 65,0 °C, velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,622 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,021 (g agua/g sólido seco).

4.5.4 Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C: $B_2 = 6,0$ m/s vs $C_2 = 140,0$ kg/cm²

En la figura 4.27, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC7) y (BC8). Para tal efecto, se varió la temperatura entre (55,0 - 65,0) °C, manteniendo constantes la presión de prensado a C_2 (140,0 kg/cm²) y la velocidad del aire B_2 (6,0 m/s). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.7 y tabla E.8 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (55,0 - 65,0) °C a B_2 (6,0 m/s) vs C_2 (140,0 kg/cm²)

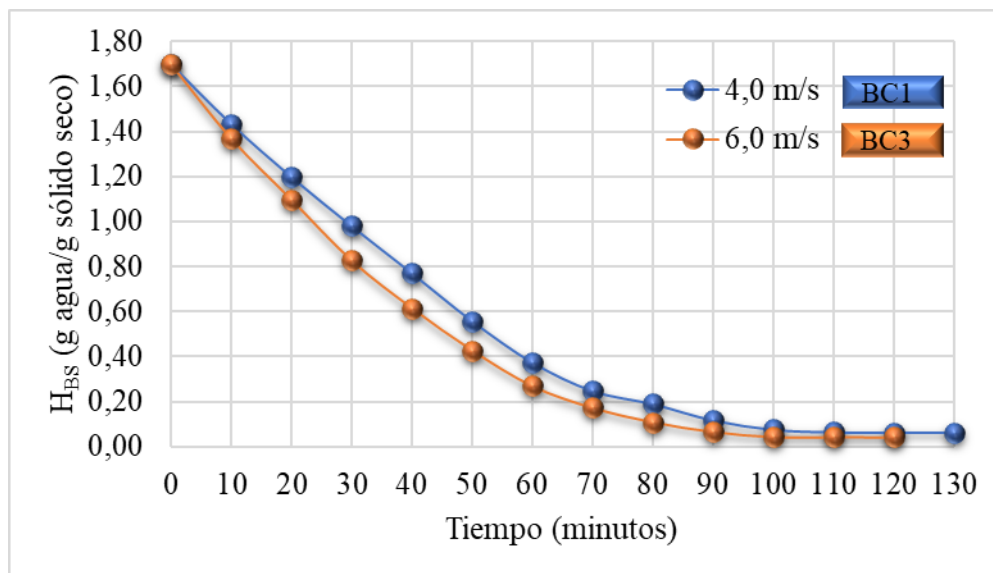
En la figura 4.27, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC7) y (BC8), donde al incrementar la temperatura de 55,0 °C (A_1) a 65,0 °C (A_2), el proceso de deshidratado se ve favorecido en la disminución de la humedad final. Para lo cual, la muestra (BC7) sometida a presión 140 kg/cm², temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,695 (g agua/g sólido seco) y en

120 minutos 0,035 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC8) prensado 140 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,604 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,033 (g agua/g sólido seco).

Según los resultados obtenidos, se observa que cuando se incrementa la temperatura entre A₁ (55,0 °C) a A₂ (65,0 °C) en el proceso de deshidratado, influye en el contenido de humedad en base seca del bagazo, en donde se pudo evidenciar que la muestra (BC6) prensado 140 kg/cm², temperatura 65,0 °C, velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 120 minutos presenta 0,021 (g agua/g sólido seco).

4.5.5 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B₁₂ (4,0 - 6,0) m/s: A₁ (55,0 °C) vs C₁ (120,0 kg/cm²)

En la figura 4.28, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC1) y (BC3). Para tal efecto, se varió la velocidad del aire entre (4,0 - 6,0) m/s, manteniendo constantes la temperatura A₁ (55,0 °C) y la presión de prensado a C₁ (120,0 kg/cm²). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.1 y tabla E.3 (Anexo E).



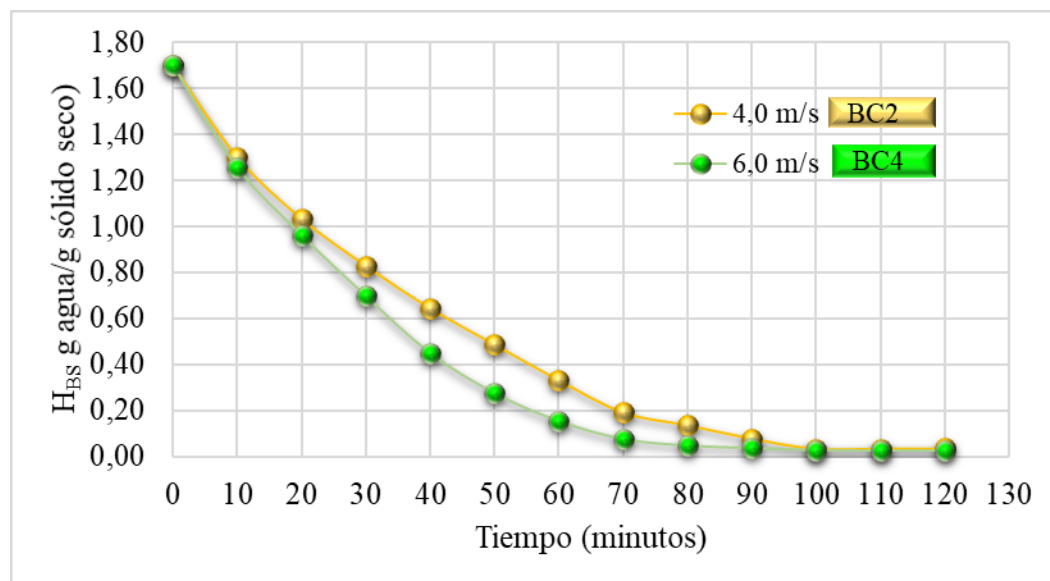
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B₁₂(4,0 - 6,0) m/s: A₁ (55,0 °C) vs C₁ (120,0 kg/cm²)

En la figura 4.28, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC1) y (BC3), donde al incrementar la velocidad del aire de 4,0 m/s (B_1) a 6,0 m/s (B_2), el proceso de deshidratado se ve favorecido en la disminución de la humedad final. Para lo cual, la muestra (BC1) sometida a presión 120 kg/cm^2 , temperatura $55,0 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,961 (g agua/g sólido seco) y en 130 minutos 0,063 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC3) prensado 120 kg/cm^2 , temperatura $55,0 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,810 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,041 (g agua/g sólido seco).

4.5.6 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B_{12} (4,0 - 6,0) m/s: A_2 ($65,0 \text{ }^\circ\text{C}$) vs C_1 ($120,0 \text{ kg/cm}^2$)

En la figura 4.29, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC2) y (BC4). Para tal efecto, se varió la velocidad del aire entre (4,0 - 6,0) m/s, manteniendo constantes la temperatura A_2 ($65,0 \text{ }^\circ\text{C}$) y la presión de prensado a C_1 ($120,0 \text{ kg/cm}^2$). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.2 y tabla E.4 (Anexo E).



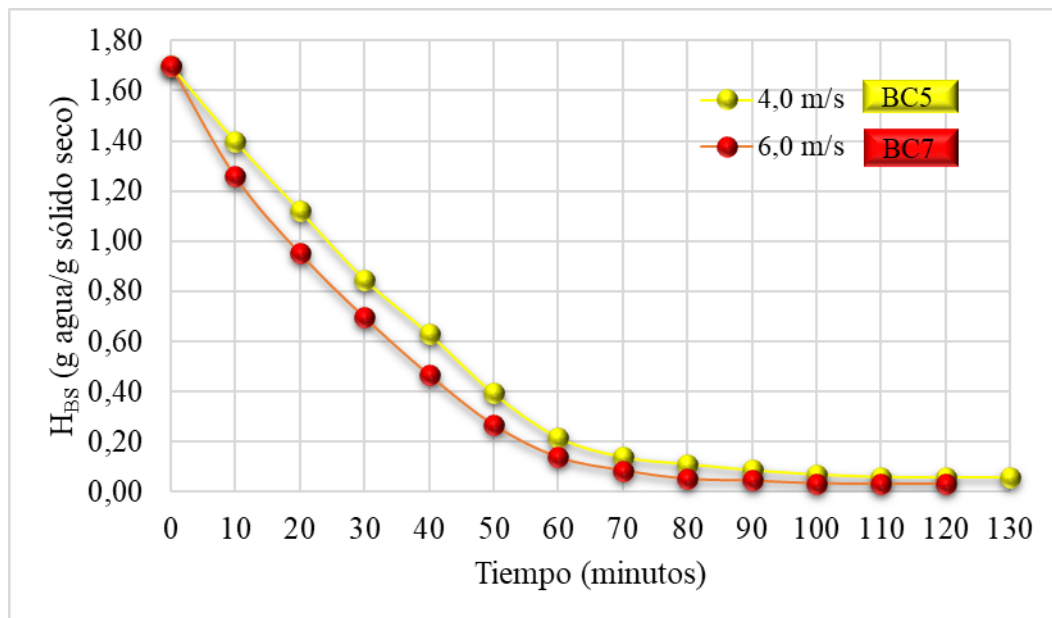
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B_{12} (4,0 - 6,0) m/s: A_2 ($65,0 \text{ }^\circ\text{C}$) vs C_1 ($120,0 \text{ kg/cm}^2$)

En la figura 4.29, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC2) y (BC4), donde al incrementar la velocidad del aire de 4,0 m/s (B₁) a 6,0 m/s (B₂), el proceso de deshidratado se ve favorecido en la disminución de la humedad final. Para lo cual, la muestra (BC2) sometida a presión 120 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,812 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,034 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC4) prensado 120 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,681 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,027 (g agua/g sólido seco).

4.5.7 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B₁₂ (4,0 - 6,0) m/s: A₁ (55,0 °C) vs C₂ (140,0 kg/cm²)

En la figura 4.30, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC5) y (BC6). Para tal efecto, se varió la velocidad del aire entre (4,0 - 6,0) m/s, manteniendo constantes la temperatura A₁ (55,0 °C) y la presión de prensado a C₂ (140,0 kg/cm²). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.5 y tabla E.7 (Anexo E).



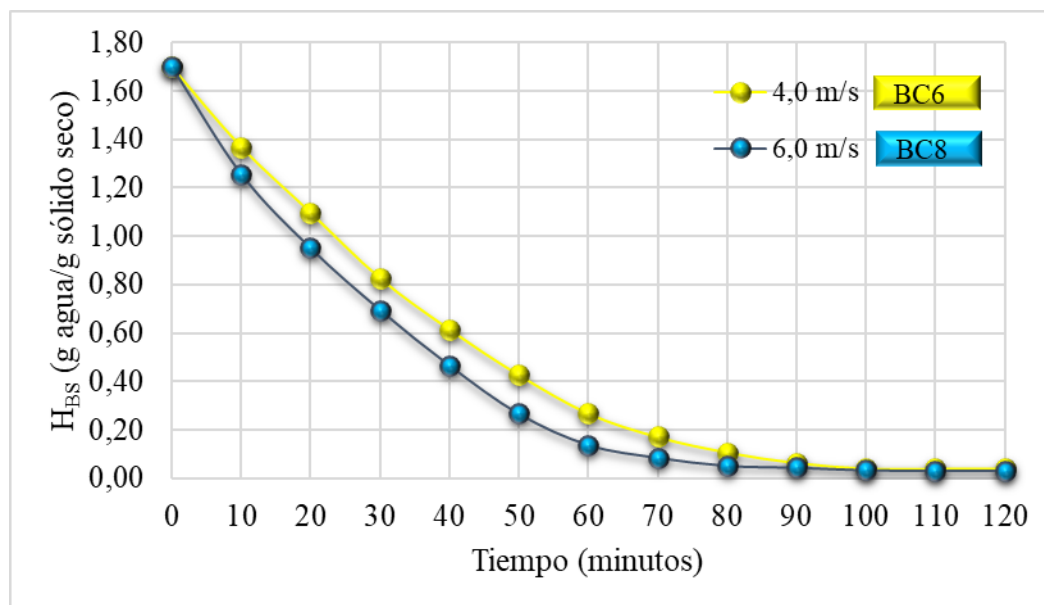
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B₁₂(4,0 - 6,0) m/s: A₁ (55,0 °C) vs C₂ (140,0 kg/cm²)

En la figura 4.30, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC5) y (BC7), donde al incrementar la velocidad del aire de 4,0 m/s (B₁) a 6,0 m/s (B₂), el proceso de deshidratado se ve favorecido en la disminución de la humedad final. Para lo cual, la muestra (BC5) sometida a presión 140 kg/cm², temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,747 (g agua/g sólido seco) y en 130 minutos 0,059 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC7) prensado 140 kg/cm², temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,695 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,035 (g agua/g sólido seco).

4.5.8 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B₁₂ (4,0 - 6,0) m/s: A₂ (65,0 °C) vs C₂ (140,0 kg/cm²)

En la figura 4.31, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC7) y (BC8). Para tal efecto, se varió la velocidad del aire entre (4,0 - 6,0) m/s, manteniendo constantes la temperatura A₂ (65,0 °C) y la presión de prensado a C₂ (140,0 kg/cm²). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.6 y tabla E.8 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

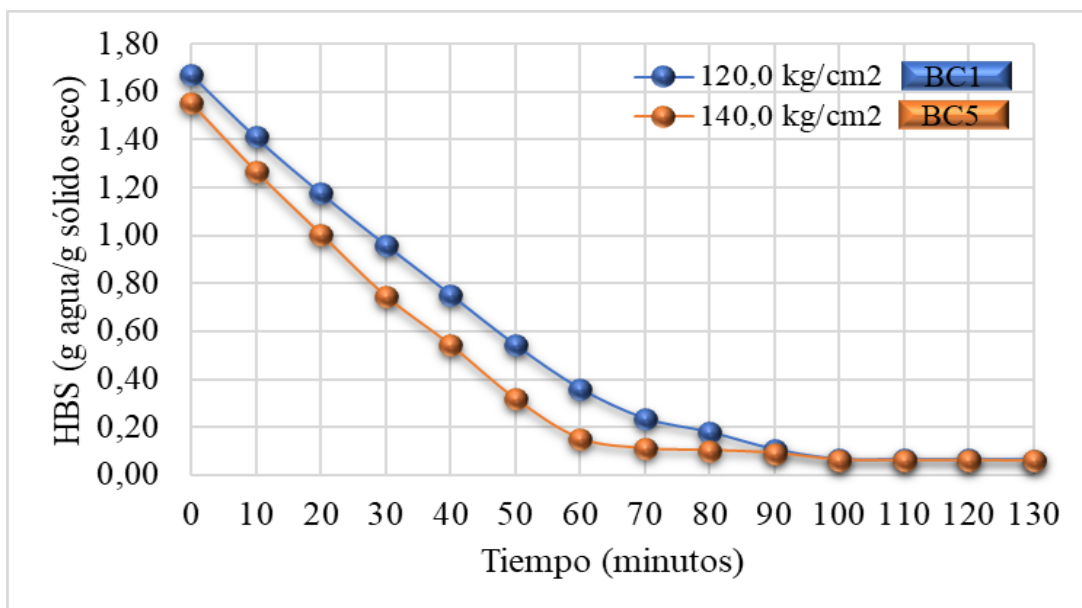
Figura 4.31: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B₁₂(4,0 - 6,0) m/s: A₂ (65,0 °C) vs C₂ (140,0 kg/cm²)

En la figura 4.31, se puede observar el contenido de humedad en base seca de las muestras (BC6) y (BC8), donde al incrementar la velocidad del aire de 4,0 m/s (B_1) a 6,0 m/s (B_2), el contenido de humedad final, para la muestra (BC6) sometida a presión 140 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,622 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,021 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC8) prensado 140 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,604 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,033 (g agua/g sólido seco).

En base a la variación de la velocidad del aire entre A_1 (4,0 m/s) a A_2 (6,0 m/s) en el proceso de deshidratado, la muestra (BC6) prensado 140 kg/cm², temperatura 65,0 °C, velocidad del aire 4,0 m/s y tiempo 120 minutos se vio favorecida en el contenido de humedad final en base seca, presentado 0,021 (g agua/g sólido seco).

4.5.9 Variación del contenido de humedad con la presión C_{12} (120,0 - 140,0) kg/cm²: A_1 (55,0 °C) vs B_1 (4,0 m/s)

En la figura 4.32, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC1) y (BC5). Para tal efecto, se varió la presión del prensado entre (120,0 - 140,0) kg/cm², manteniendo constantes la temperatura A_1 (55,0 °C) y la velocidad del aire B_1 (4,0 m/s). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.1 y tabla E.5 (Anexo E).



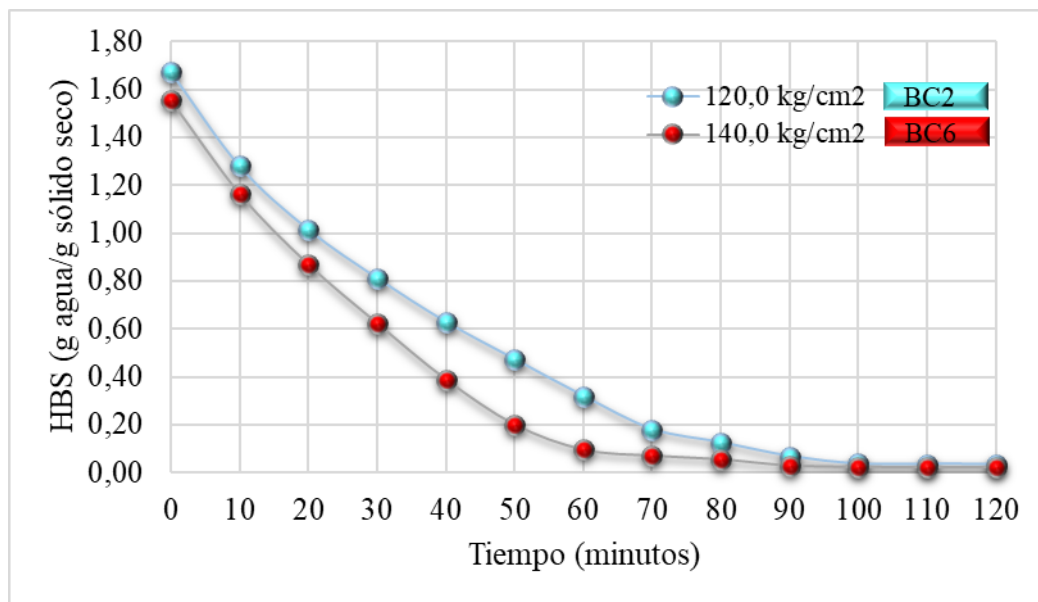
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Variación del contenido de humedad con la presión C_{12} (120,0 - 140,0) kg/cm^2 : A_1 (55,0 °C) vs B_1 (4,0 m/s)

En la figura 4.32, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra (BC1) prensado 120 kg/cm^2 , temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,961 (g agua/g sólido seco) y en 130 minutos 0,063 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC5) prensado 140 kg/cm^2 , temperatura 55,0 °C y velocidad del aire 4,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,747 (g agua/g sólido seco) y en 130 minutos 0,059 (g agua/g sólido seco).

4.5.10 Variación del contenido de humedad con la presión C_{12} (120,0 - 140,0) kg/cm^2 : A_2 (65,0 °C) vs B_1 (4,0 m/s)

En la figura 4.33, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC2) y (BC6). Para tal efecto, se varió la presión del prensado entre (120,0 - 140,0) kg/cm^2 , manteniendo constantes la temperatura A_2 (65,0 °C) y la velocidad del aire B_1 (4,0 m/s). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.2 y tabla E.6 (Anexo E).



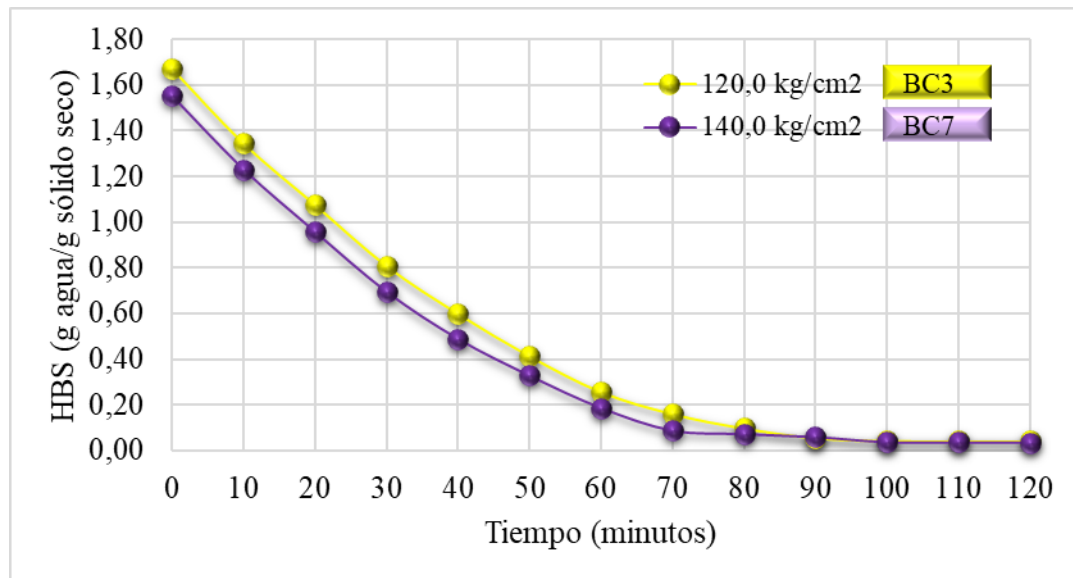
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Variación del contenido de humedad con la presión C_{12} (120,0 - 140,0) kg/cm^2 : A_2 (65,0 $^{\circ}\text{C}$) vs B_1 (4,0 m/s)

En la figura 4.33, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra (BC2) prensado 120 kg/cm^2 , temperatura $65,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y velocidad del aire $4,0\text{ m/s}$; para un tiempo de 30 minutos presenta $0,812\text{ (g agua/g sólido seco)}$ y en 120 minutos $0,034\text{ (g agua/g sólido seco)}$. Por otro lado, la muestra (BC6) prensado 140 kg/cm^2 , temperatura $65,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y velocidad del aire $4,0\text{ m/s}$; para un tiempo de 30 minutos presenta $0,622\text{ (g agua/g sólido seco)}$ y en 120 minutos $0,021\text{ (g agua/g sólido seco)}$.

4.5.11 Variación del contenido de humedad con la presión C_{12} (120,0 - 140,0) kg/cm^2 : A_1 (55,0 $^{\circ}\text{C}$) vs B_2 (6,0 m/s)

En la figura 4.34, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC3) y (BC7). Para tal efecto, se varió la presión del prensado entre (120,0 - 140,0) kg/cm^2 , manteniendo constantes la temperatura A_1 (55,0 $^{\circ}\text{C}$) y la velocidad del aire B_2 (6,0 m/s). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.3 y tabla E.7 (Anexo E).



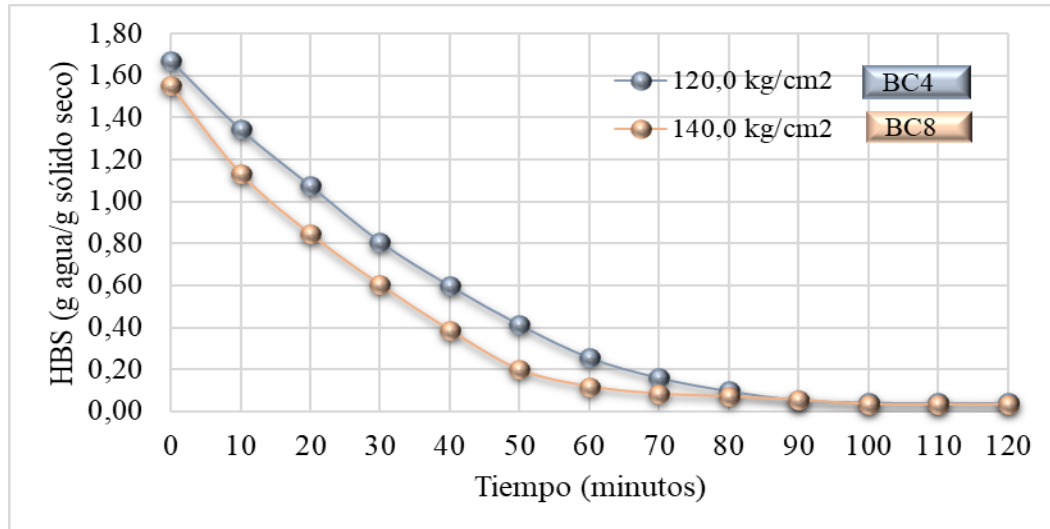
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Variación del contenido de humedad con la presión C_{12} (120,0 - 140,0) kg/cm^2 : A_1 (55,0 °C) vs B_2 (6,0 m/s)

En la figura 4.34, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra (BC3) prensado 120 kg/cm^2 , temperatura $55,0 \text{ °C}$ y velocidad del aire $6,0 \text{ m/s}$; para un tiempo de 30 minutos presenta $0,810 \text{ (g agua/g sólido seco)}$ y en 120 minutos $0,041 \text{ (g agua/g sólido seco)}$. Por otro lado, la muestra (BC7) prensado 140 kg/cm^2 , temperatura $55,0 \text{ °C}$ y velocidad del aire $6,0 \text{ m/s}$; para un tiempo de 30 minutos presenta $0,695 \text{ (g agua/g sólido seco)}$ y en 120 minutos $0,035 \text{ (g agua/g sólido seco)}$.

4.5.12 Variación del contenido de humedad con la presión C_{12} (120,0 - 140,0) kg/cm^2 : A_2 (65,0 °C) vs B_2 (6,0 m/s)

En la figura 4.35, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de deshidratado de las muestras (BC4) y (BC8). Para tal efecto, se varió la presión del prensado entre (120,0 - 140,0) kg/cm^2 , manteniendo constantes la temperatura A_2 ($65,0 \text{ °C}$) y la velocidad del aire B_2 ($6,0 \text{ m/s}$). Así mismo se tomaron datos a intervalos de 10 minutos, las mismas se detallan en la tabla E.4 y tabla E.8 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Variación del contenido de humedad con la presión C₁₂ (120,0 - 140,0) kg/cm²: A₂ (65,0 °C) vs B₂ (6,0 m/s)

En la figura 4.35, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra (BC4) prensado 120 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,681 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,027 (g agua/g sólido seco). Por otro lado, la muestra (BC8) prensado 140 kg/cm², temperatura 65,0 °C y velocidad del aire 6,0 m/s; para un tiempo de 30 minutos presenta 0,604 (g agua/g sólido seco) y en 120 minutos 0,033 (g agua/g sólido seco).

En base a la variación de presión del prensado 120,0 kg/cm² (B₁) a 140,0 kg/cm² (B₂) antes del proceso de deshidratado, la muestra (BC6) prensado 140 kg/cm², temperatura 65,0 °C, velocidad del aire 4,0 m/s y tiempo 120 minutos se vio favorecida en el contenido de humedad final en base seca, presentado 0,021 (g agua/g sólido seco).

4.5 Cinética de deshidratado para el proceso de deshidratado del bagazo cervicero

Los datos obtenidos de la cinética de deshidratado se muestran en la tabla 4.31, donde el proceso de deshidratado se realizó en base a la muestra (BC6); prensado a 140 kg/cm² (presión) durante 10 minutos, temperatura 65 °C y velocidad del aire 4,0 m/s. Los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2016). Así mismo, se

tomó en cuenta la ecuación (2.2) para el cálculo de masa de sólido seco también se tomó en cuenta los siguientes datos:

- Cantidad de materia: 200,07 g
- Contenido de humedad: 62,96 %
- Masa de sólido seco: 74,11 g
- Tiempo de deshidratado: 2,0 horas
- Área de bandeja 0,035 m²

Tabla 4.31

Variación del contenido de humedad y velocidad de deshidratado del bagazo cervecero

Tiempo (minutos)	Peso (g)	H _{BS} (g/g)	H _{BS} media (g/g)	$\Delta\Theta$ (h)	ΔH_{BS} (g/g)	$\Delta H_{BS}/\Delta\Theta$ (g/g*h)	N(g/m ² h)
0	200,07	1,700					
10	168,46	1,273	1,487	0,167	0,427	2,554	5,408
20	147,16	0,986	1,130	0,167	0,287	1,721	3,644
30	126,44	0,706	0,846	0,167	0,280	1,674	3,545
40	110,89	0,496	0,601	0,167	0,210	1,256	2,660
50	96,25	0,299	0,398	0,167	0,198	1,183	2,505
60	85,60	0,155	0,227	0,167	0,144	0,861	1,822
70	80,49	0,086	0,121	0,167	0,069	0,413	0,874
80	78,54	0,060	0,073	0,167	0,026	0,158	0,334
90	77,45	0,045	0,052	0,167	0,015	0,088	0,186
100	76,16	0,028	0,036	0,167	0,017	0,104	0,221
110	75,98	0,025	0,027	0,167	0,002	0,015	0,031
120	75,80	0,023	0,024	0,167	0,002	0,015	0,031

Fuente: Elaboración propia

Donde:

H_{BS} = Contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco)

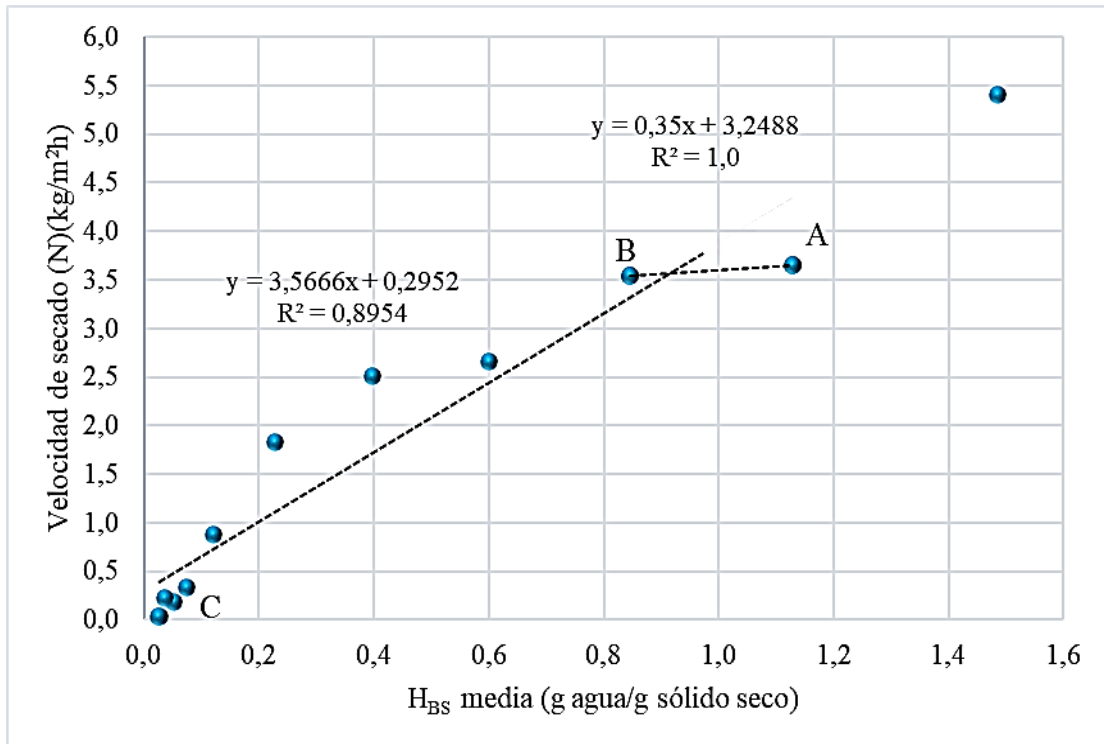
H_{BS} = Contenido de humedad media (g agua/g sólido seco)

ΔH_{BS} = Gradiente de humedad en base seca (g agua/g sólido seco)

$\Delta H_{BS}/\Delta\Theta$ = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo (g agua/g sólido seco * h)

N = Velocidad de deshidratado (g sólido seco/m² * h)

En la figura 4.36, se muestra la cinética de deshidratado en el proceso de deshidratado para la muestra de bagazo cervecero en función del contenido de humedad media en base a datos de tabla 4.40.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Cinética del proceso de deshidratado de la muestra de bagazo cervecero

En la figura 4.36, se observa el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de deshidratado, donde se puede concluir que existen dos tramos distintos:

El tramo (A – B) representa el periodo ante-crítico donde el contenido de humedad de las muestras de bagazo cervecero migra desde el interior hasta su superficie con una velocidad de deshidratado constante hasta alcanzar la humedad crítica, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión R^2 (1,0) se describe en la ecuación 4.3.

$$y = 0,35x + 3,2488$$

Ecuación 4.3

En el tramo (B – C) representa el periodo post-crítico donde la velocidad de deshidratado decrece hasta que el contenido de humedad de las muestras de bagazo alcanza el equilibrio, logrando un deshidratado total en la superficie, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión R^2 (0,8954) se describe en la ecuación 4.4.

$$y = 3,5666x + 0,2952 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

4.6 Caracterización de la harina de bagazo cervecero

Para caracterizar el producto final (harina de bagazo cervecero) se tomaron en cuenta los siguientes análisis: fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes los cuales se detallan a continuación:

4.6.1 Análisis fisicoquímico de la harina de bagazo cervecero

En la tabla 4.32, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de bagazo cervecero de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.32

Análisis fisicoquímicos de la harina de bagazo cervecero

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	3,81
Ceniza	%	1,27
Grasa	%	5,33
Proteína total (Nx6,25)	%	20,10
Fibra	%	10,48
Hidratos de carbono	%	69,49
Valor energético	Kcal/100 g	406,33

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.32, se observan los valores fisicoquímicos de la harina de bagazo cervecero, donde el contenido de humedad 3,81 %; ceniza 1,27 %; grasa 5,33 %; proteína total (Nx6,25) 20,10 %; fibra 10,48 %; hidratos de carbono 69,49 % y valor energético 406,33 kcal/100g.

Según los análisis realizados al bagazo cervecero húmedo (tabla 4.3) y a la harina de bagazo (tabla 4.32), se observa que existe diferencia en la composición fisicoquímica esto se debe a que durante el proceso de deshidratado se concentran sus propiedades como ser proteínas, fibra, hidratos de carbono.

4.6.2 Análisis microbiológicos de la harina de bagazo cervecero

En la tabla 4.33, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de bagazo cervecero de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.33

Análisis microbiológico de la harina de bagazo cervecero

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	$1,0 \times 10^2$
Escherichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^2$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$4,0 \times 10^1$
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.33, se expresan los valores microbiológicos de la harina de bagazo cervecero: Coliformes totales $1,0 \times 10^2$ UFC/g; Escherichia coli $< 1,0 \times 10^2$ (*) UFC/g; Mohos y levaduras $4,0 \times 10^1$ UFC/g. (*) No se observa desarrollo de colonias.

4.6.3 Análisis de micronutrientes de la harina de bagazo cervecero

En la tabla 4.34, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de la harina de bagazo cervecero de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.34

Análisis de micronutrientes de la harina de bagazo cervecero

Microorganismos	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	83,1
Fosforo	mg/100g	31,9

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.34, se expresa el contenido de micronutrientes en la harina de bagazo cervecero: calcio 83,1 mg/100g y fósforo 31,9 mg/100g.

4.7 Control la harina de bagazo cervecero en el almacenamiento

En la tabla 4.35, se muestran los resultados del almacenamiento de la harina de bagazo cervecero. Para tal efecto, se tomó la muestra (BC6) envasado en dos tipos de envase: bolsa de polipropileno (FC1) y papel kraft (FC2). Para lo cual, se controló el contenido de humedad en la termobalanza cada dos días, su metodología aplicada se detalla en el Anexo G.

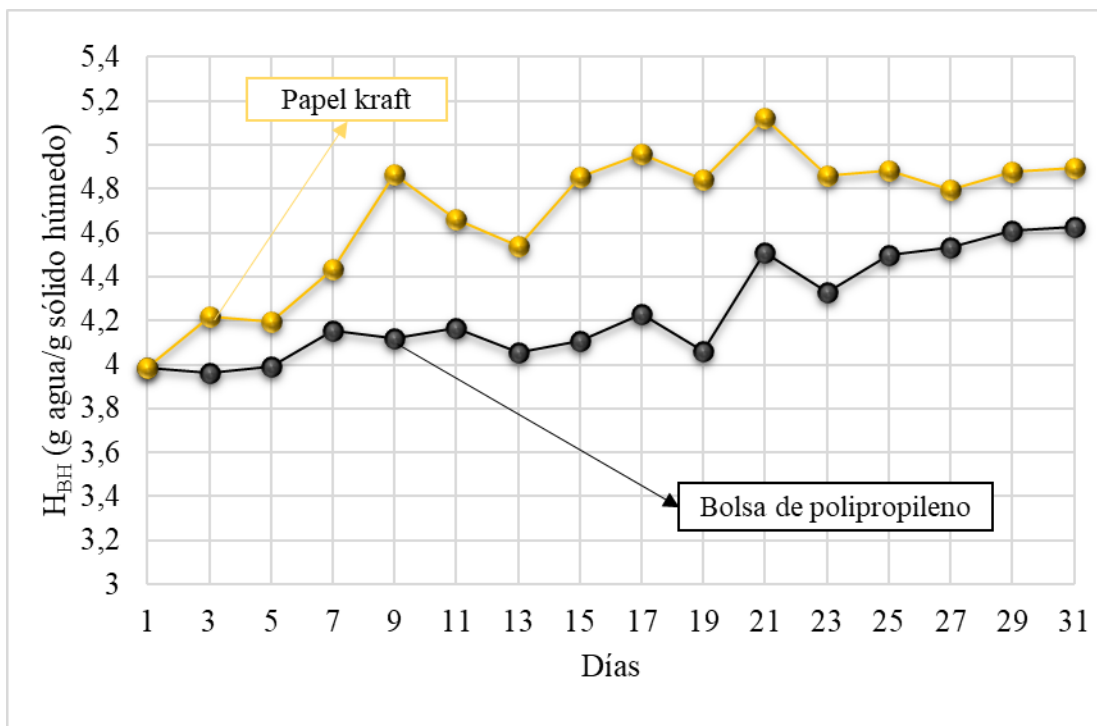
Tabla 4.35

Control de humedad de la harina de bagazo cervecero en el almacenamiento

Días	Envase polipropileno (papel kraft negro)	Papel kraft
	FC1(H _{BH})	FC2 (H _{BH})
1	3,9877	3,9877
3	3,9645	4,2158
5	3,9939	4,1965
7	4,1537	4,4352
9	4,1183	4,8645
11	4,1684	4,6623
13	4,0551	4,5421
15	4,1096	4,8523
17	4,2312	4,9610
19	4,0622	4,8421
21	4,5126	5,1243
23	4,3277	4,8621
25	4,4970	4,8812
27	4,5312	4,7936
29	4,6067	4,8745
31	4,6255	4,8965

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.37, se muestra el control de la harina de bagazo cervecero en el almacenamiento por un periodo de treinta y un días, con la finalidad de observar la variación del contenido de humedad en base a datos de la tabla 4.35.



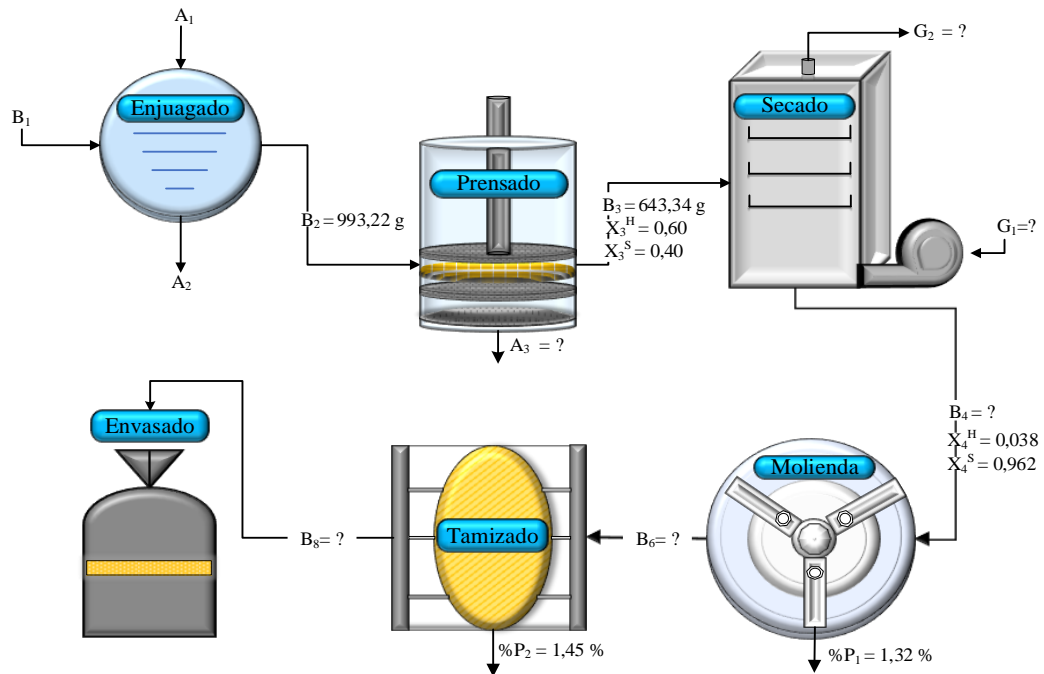
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Control de almacenamiento de la harina de bagazo cervecero

En la figura 4.37, se observa que la muestra (FC1) y FC2) presentan contenido de humedad en base húmeda de 3,9877 (g agua/g sólido húmedo) el primer día; después de quince días (FC1) presenta 4,1096 (g agua/g sólido húmedo) y (FC2) 4,8523 (g agua/g sólido húmedo) y para el día treinta y uno (FC1) presenta 4,6255 (g agua/g sólido húmedo) y (FC2) 4,8965 (g agua/g sólido húmedo). Para lo cual, el envase polipropileno de papel kraft negro (FC1) conserva su contenido de humedad estable, por lo tanto, se tomó como el envase elegido para conservar la harina de bagazo cervecero.

4.8 Balance de materia en el proceso de obtención de harina de bagazo cervecero

El balance de materia del proceso de obtención de harina de bagazo cervecero se realizó para una base de cálculo de 1000,17 g de bagazo húmedo y para su resolución se realizó de acuerdo al diagrama de flujo (figura 4.38).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de harina de bagazo cervecero

Donde:

B_1 = Bagazo cervecero húmedo (g)

X_1^H = Componente de la humedad del bagazo

X_1^S = Componente de sólidos solubles del bagazo

A_1 = Cantidad de agua filtrada para la etapa de enjuagado (g)

A_2 = Cantidad de agua residual con bagazo (g)

B_2 = Cantidad de bagazo enjuagado (g)

X_2^H = Componente de la humedad del bagazo enjuagado

X_2^S = Componente de sólidos solubles del bagazo enjuagado

B_3 = Cantidad de bagazo prensado a la entrada del secador (g)

X_3^H = Componente de la humedad del bagazo prensado

X_3^S = Componente de sólidos solubles del bagazo prensado

A_3 = Cantidad de agua residual con bagazo en la etapa de prensado (g)

B_4 = Cantidad de bagazo deshidratado a la salida del secador (g)

X_4^H = Componente de la humedad del bagazo seco

X_4^S = Componente de sólidos solubles del bagazo seco

m_{SSB_3} = Masa de sólido seco del bagazo prensado (g)

X_{B_3} = Humedad inicial en base seca del bagazo en el proceso de deshidratado (g agua/g sólido seco)

X_{B_4} = Humedad final en base seca del bagazo del proceso de deshidratado (g agua/g sólido seco)

m_{AE} = Cantidad de masa de agua evaporada (g)

B_5 = Cantidad de bagazo molido (g)

P_1 = Cantidad de pérdidas en la etapa de molienda (g)

$\%P_1$ = Porcentaje de pérdidas en la etapa de molienda (%)

B_6 = Cantidad de harina de bagazo cervecero (g)

P_2 = Cantidad de pérdidas en la etapa de tamizado

$\%B_2$ = Porcentaje de pérdidas en la etapa de tamizado (%)

X = Concentración fase sólida (g agua/ g sólido seco)

Y = Concentración fase gaseosa (kg aire seco/h)

G_1 = Cantidad de masa de aire seco de entrada (kg aire seco/h)

G_2 = Cantidad de masa de agua evaporada

H_{B3} = Entalpia del bagazo en la entrada del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

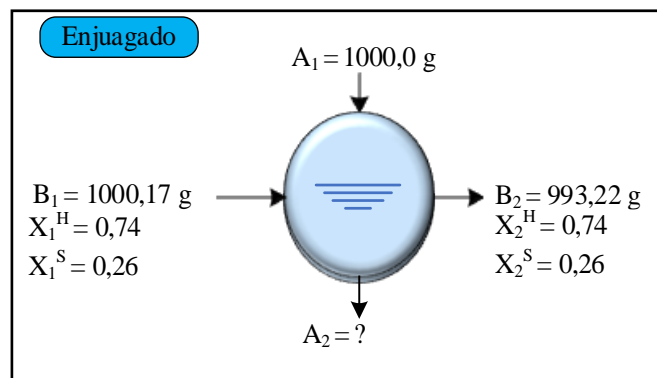
H_{B4} = Entalpia del bagazo en la salida del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

H_{G1} = Entalpia del aire seco de entrada del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

H_{G2} = Entalpia del agua evaporada en la salida del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

4.8.1 Balance general de materia en la etapa de enjuagado

En la figura 4.39, se muestra el balance de materia en la etapa de enjuagado para lo cual se realizó con 1000,17 g de bagazo, con relación 1:1 de bagazo y agua para cada enjuague realizando un total de tres enjuagues.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.39: Etapa de enjuagado

Balance general de materia en la etapa de enjuagado

$$B_1 + A_1 = B_2 + A_2 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Despejando A_2 de la ecuación 4.5:

$$A_2 = B_1 + A_1 - B_2$$

$$A_2 = 1000,17 \text{ g} + 3000,08 \text{ g} - 993,22 \text{ g}$$

$$A_2 = 3006,95 \text{ g de agua residual con bagazo}$$

$$B_1 * X_1^S = B_2 * X_2^S \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Balance de materia parcial por componentes de sólidos solubles del bagazo

Despejando X_2^S de la ecuación 4.6 se obtiene:

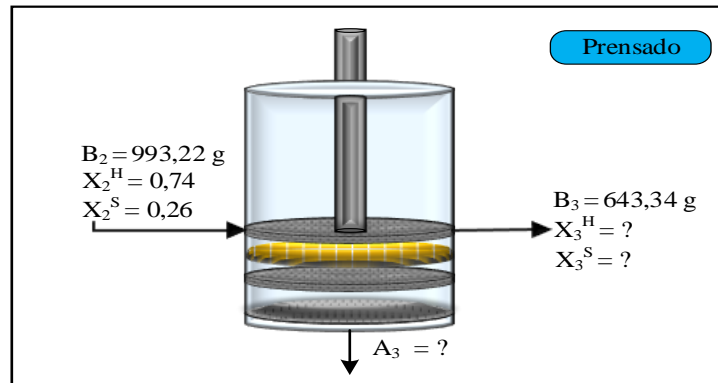
$$X_2^S = \frac{B_1 * X_1^S}{B_2} * 100$$

$$X_2^S = \frac{1000,17 \text{ g} * 0,26}{993,22 \text{ g}} * 100$$

$$X_2^S = 0,26 \text{ sólidos solubles de bagazo enjuagado}$$

4.8.2 Balance general de materia en la etapa de prensado

En la figura 4.40, se muestra la etapa de prensado para lo cual se realizó con 993,22 g de bagazo enjuagado la misma fue sometido a una presión (140 kg/cm²) por 10 minutos.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.40: Etapa de prensado

Balance general de materia en la etapa de prensado

$$B_2 = A_3 + B_3 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Despejando A_3 de la ecuación 4.7:

$$A_3 = B_2 - B_3$$

$$A_3 = 993,22 \text{ g} - 643,34 \text{ g}$$

$$A_3 = 349,88 \text{ g de agua residual con bagazo}$$

Balance de materia parcial por componentes de sólidos solubles del bagazo prensado

$$B_2 * X_2^S = B_3 * X_3^S \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Despejando X_3^S de la ecuación 4.8 se obtiene:

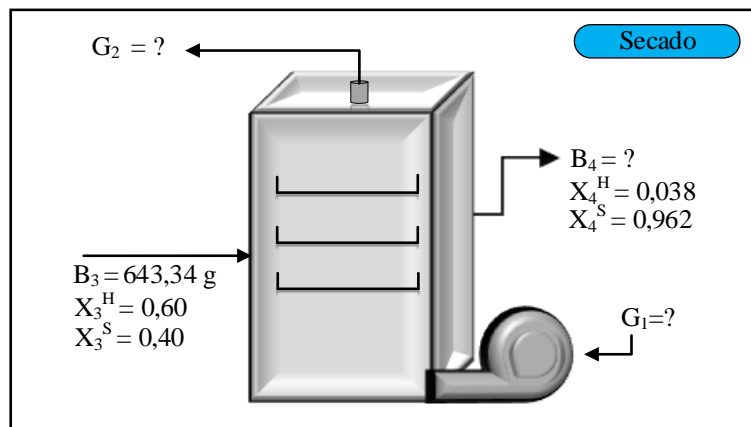
$$X_3^S = \frac{B_2 * X_2^S}{B_3} * 100$$

$$X_2^S = \frac{993,22 \text{ g} * 0,26}{643,34 \text{ g}} * 100$$

$$X_2^S = 0,40 \text{ sólidos solubles de bagazo prensado}$$

4.8.3 Balance general de materia en la etapa de deshidratado

En la figura 4.41, se muestra la etapa de deshidratado del bagazo previamente prensado, se realizó con 643,34 g de bagazo con contenido de humedad en base húmeda 60,0 % y al finalizar el proceso de deshidratado el bagazo seco presento 0,038 % (CEANID, 2023) de humedad en base húmeda.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.41: Etapa de deshidratado

Balance de materia global en la etapa de deshidratado, se tomó en cuenta la ecuación 4.9 citada por (Valiente, 2002).

$$B_3 + G_1 = B_4 + G_2 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Para determinar la masa de sólido seco del bagazo prensado se utilizó la ecuación 4.10 citada por (Valiente, 2002).

$$m_{SS} = B_3 (1 - X_3^H) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Reemplazando variables en la ecuación 4.8 se obtiene:

$$m_{SS_{B3}} = 643,34 (1 - 0,60)$$

$$m_{SS_{B3}} = 257,34 \text{ g sólido de sólido seco}$$

El contenido de humedad inicial en base seca del bagazo cervecero en la etapa de deshidratado, se determinó según la ecuación 4.11 (Valientes, 2002).

$$X_{BS} = \frac{X_{BH}}{1 - X_{BH}} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Reemplazando variables en la ecuación 4.11 se obtiene:

$$X_3 = \frac{0,60}{1-0,60} \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

$$X_{B3} = 1,5 \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

Para calcular el contenido de humedad en base seca al final del proceso de deshidratado se tomó en cuenta la ecuación 4.11.

$$X_{B4} = \frac{0,038}{1-0,038} \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

$$X_{B4} = 0,040 \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

Para determinar la cantidad de masa de agua evaporada en el proceso de deshidratado se utilizó la ecuación 4.12

$$m_{AE} = m_{SSB3}(X_{B3} - X_{B4}) \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Reemplazando variables en la Ecuación 4.12

$$m_{AE} = 257,34 \text{ g sólido seco}(1,5 - 0,040) \text{ g agua/g sólido seco}$$

$$m_{AE} = 375,72 \text{ g de agua evaporada del bagazo}$$

Para determinar la cantidad de masa total del bagazo seco obtenido después del proceso de deshidratado se utilizó la ecuación 4.11

$$B_4 = B_3 - m_{AE} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Reemplazando variables en la ecuación 4.13

$$B_4 = 643,34 \text{ g} - 375,72 \text{ g}$$

$$B_4 = 267,62 \text{ g de bagazo seco}$$

Para determinar la cantidad de masa de aire seco en la etapa de deshidratado, se tomó en cuenta la ecuación 4.14 citada por (Valiente, 2002).

$$B_3 * X_{B3} + G_1 * Y_{G1} = B_4 * X_{B4} + G_2 * Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Donde las variables:

$$G_1 = G_2 = G = \text{Caudal másico del aire (kg aire seco/h)}$$

$$B_3 = B_4 = B = \text{Caudal másico del producto (g sólido seco/h)}$$

$$X = \text{Humedad del producto en base seca (g agua/g sólido seco)}$$

$$Y = \text{Humedad del aire (g agua/kg aire seco)}$$

Reemplazando variables en la ecuación 4.14 se obtiene:

$$B * X_{B3} + G * Y_{G1} = B * X_{B4} + G * Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Agrupando términos semejantes de la ecuación 4.15 se obtiene:

$$B * X_{B3} - B * X_{B4} = G * Y_{G2} - G * Y_{G1} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Factorizando la ecuación 4.16 se obtiene:

$$B(X_{B3} - X_{B4}) = G(Y_{G2} - Y_{G1}) \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejando G de la ecuación 4.17 se obtiene:

$$G = \frac{B(X_3 * X_4)}{Y_{G2} - Y_{G1}} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Según (SENAMHI, 2018) la altura de la ciudad de Tarija es de 1864 msnm; por tanto, los datos fueron introducidos al software Psicrom 4.1.0 de psicrometría y los resultados se muestran en la tabla 4.36 en base a la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del deshidratador de bandejas.

Tabla 4.36

Propiedades Psicométricas del aire

Propiedades	Aire frío	Aire saturado
T _{BS} (°C)	19,15	37,92
T _{BH} (°C)	14,73	29,46
H _R (%)	65,30	56,00
Y (g agua/kg sólido seco)	11,30	29,80
PVP (kpa)	1,45	3,68

Fuente: Elaboración propia

Donde:

PVP = Presión parcial de vapor de agua (kpa)

Y = Humedad absoluta (g agua/kg de aire seco)

T_{BS} = Temperatura de bulbo seco (°C)

T_{BH} = Temperatura de bulbo húmedo (°C)

Para una cantidad de bagazo prensado de 643,34 g la relación de cantidad de bagazo seco (B₄) es 267,62 g.

Por lo tanto, para calcular la cantidad de masa de aire seco se utilizó la ecuación 4.18.

$$G_1 = \frac{267,62 \text{ g sólido seco} (1,5 - 0,040) \text{ (g agua/g sólido seco)}}{(29,80 - 11,30) \text{ g agua/kg aire seco}}$$

$$G_1 = 21,12 \text{ kg de aire seco}$$

Para calcular la masa de agua evaporada, se tomó en cuenta la ecuación 4.19 citada por (Valiente, 2002).

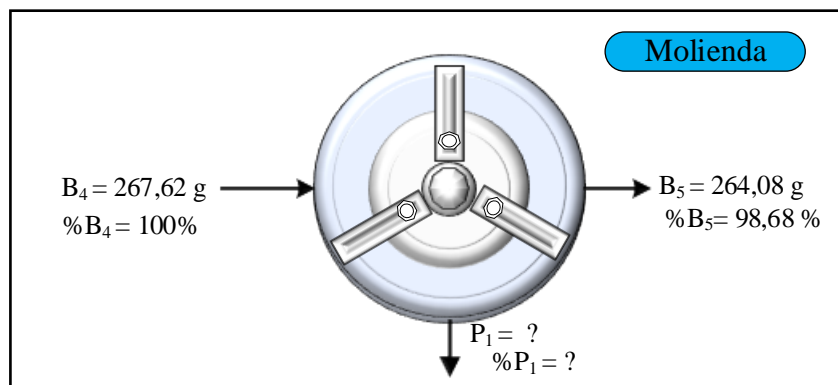
$$G_2 = (X_{B3} - X_{B4}) * m_{SS} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

$$G_2 = (1,5 - 0,040) \text{ g agua/g sólido seco} * 257,34 \text{ g sólido seco}$$

$$G_2 = 375,72 \text{ g de agua evaporada}$$

4.8.4 Balance general de materia en la etapa de molienda

En la figura 4.42, se muestra el balance de materia en la etapa de molienda el cual se realizó con 267,62 g de bagazo seco y terminando el proceso se obtuvo 264,08 g.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.42: Etapa de molienda

Balance general de materia en la etapa de molienda

$$B_4 = B_5 + P_1 \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Despejando P_1 de la ecuación 4.20:

$$P_1 = B_4 - B_5$$

$$P_1 = 267,62 \text{ g} - 264,08 \text{ g}$$

$$P_1 = 3,54 \text{ g perdidas en la etapa de molienda}$$

Cantidad de porcentaje de perdidas en la etapa de molienda

$$\frac{P_1}{\%P_1} = \frac{B_4}{\%B_4}$$

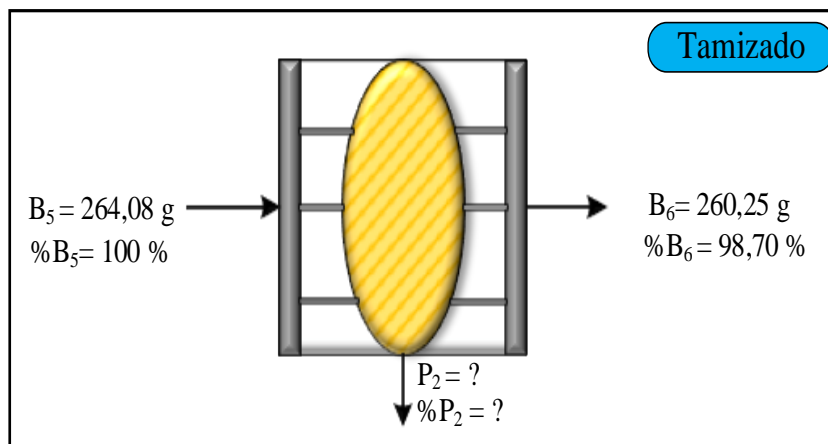
$$\%P_1 = \frac{P_1 * \%B_4}{B_4}$$

$$\%P_1 = \frac{3,64 * 100\%}{267,62}$$

$\%P_1 = 1,32 \%$ perdidas en la etapa de molienda

4.8.5 Balance general de materia en la etapa de tamizado

En la figura 4.43, se muestra el balance de materia en el proceso de tamizado el cual se realizó con 264,08 g de bagazo molido. Utilizando el tamiz con abertura de malla (0,5 mm), una vez terminado el proceso se obtuvo un rendimiento de 98,70 % de harina de bagazo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.43: Etapa de tamizado

Balance general de materia en la etapa de tamizado

$$B_5 = P_2 + B_6$$

Ecuación 4.21

Despejando P_2 de la ecuación 4.17 se obtiene:

$$P_2 = B_5 - B_6$$

$$P_2 = 264,08 \text{ g} - 260,25 \text{ g}$$

$$P_2 = 3,83 \text{ g perdidas en la etapa de tamizado}$$

Cantidad de porcentaje de perdidas en la etapa de tamizado

$$\frac{P_2}{\%P_2} = \frac{B_5}{\%B_5}$$

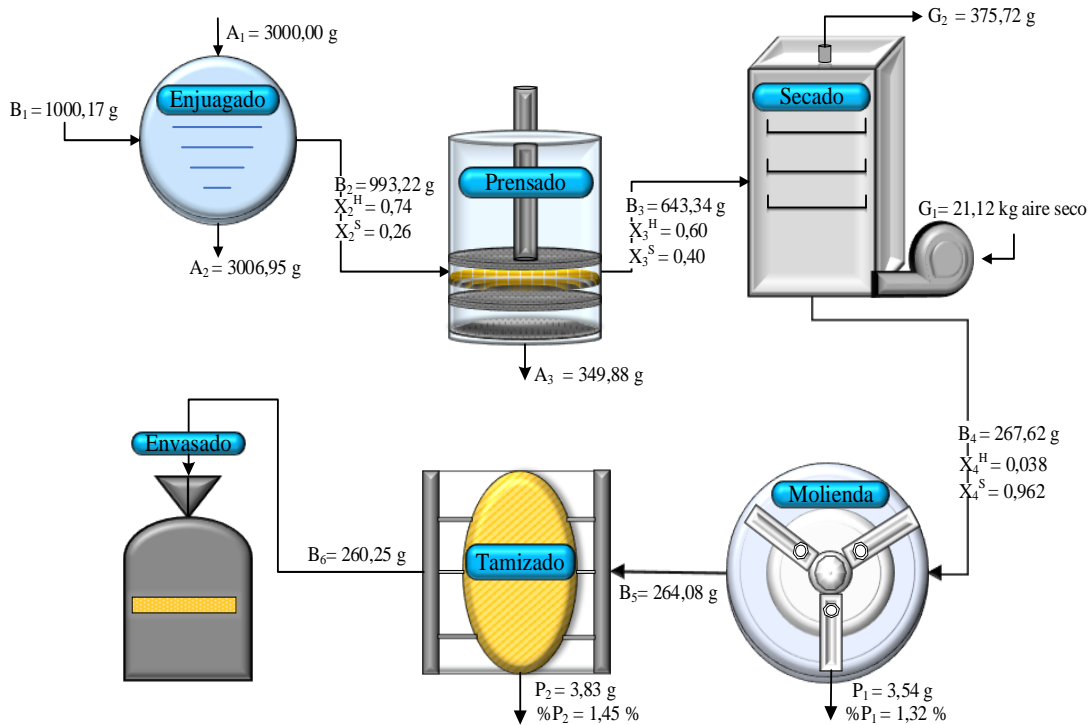
$$\%P_2 = \frac{P_2 * \%B_5}{B_5}$$

$$\%P_2 = \frac{3,83 * 100\%}{264,08}$$

$$\%P_2 = 1,45 \% \text{ perdidas en la etapa de tamizado}$$

4.9 Resumen general del balance de materia en el proceso de obtención de harina de bagazo cervecero

En la figura 4.44, se muestra el resumen general del balance de materia para la obtención de harina de bagazo cervecero.



Fuente: Elaboración propia

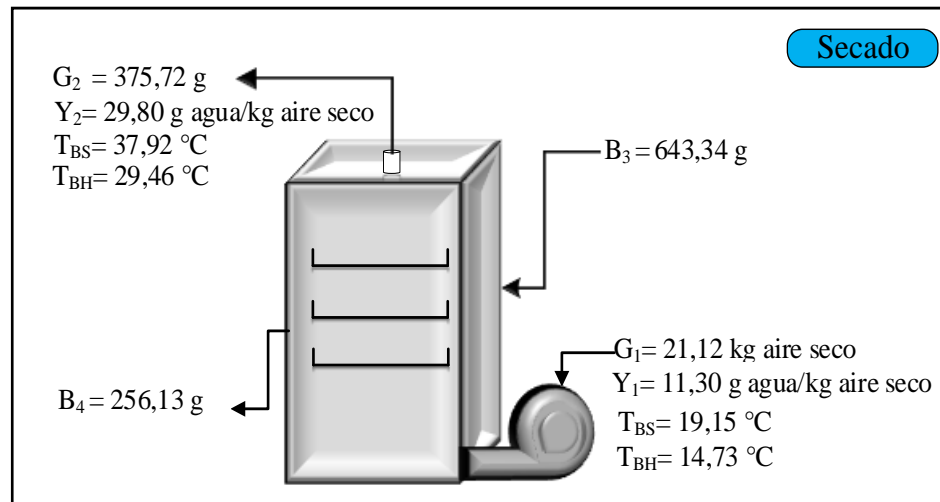
Figura 4.44: Resumen general del balance de materia para la obtención de harina de bagazo cervecero

4.10 Balance de energía para la obtención de harina de bagazo cervecero

El balance de energía para la obtención de harina de bagazo cervecero se realizó en la etapa de deshidratado, molienda y tamizado:

4.10.1 Balance de energía en el proceso de deshidratado

En la figura 4.45, se muestra el balance de energía en la etapa de deshidratado de la muestra enjuagada y prensado (140,0 kg/cm²) de presión.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.45: Balance de energía en la etapa de deshidratado de la muestra de bagazo enjuagado y prensado

Balance combinado de materia y energía en el proceso de deshidratado, se describe en la ecuación 4.22, según (Valiente, 2002):

$$B_3 * H_3 + G_1 * H_{G1} + Q_p = B_4 * H_4 + G_2 * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Donde las variables:

G_1 = Cantidad de masa de aire seco de entrada (kg aire seco/h)

G_2 = Cantidad de masa de agua evaporada (g)

H_{B3} = Entalpía del bagazo a la entrada del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

H_{B4} = Entalpía del bagazo en la salida del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

H_{G1} = Entalpía del aire seco de entrada del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

H_{G2} = Entalpía del agua evaporada en la salida del deshidratador (kJ/kg sólido seco)

Q_p = Calor aportado al sistema (kJ)

B_3 = Cantidad de bagazo prensado a la entrada del secador (g)

B_4 = Cantidad de bagazo deshidratado a la salida del secador (g)

Reemplazando variables en la ecuación 4.22, se obtiene la ecuación 4.23:

$$B * H_3 + G * H_{G1} + Q_p = B * H_4 + G * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Despejando Q_p de la ecuación 4.23 se obtiene la ecuación 4.24:

$$Q_p = B * H_4 + G * H_{G2} - B * H_3 - G * H_{G1} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Ordenando las variables de la ecuación 4.24 se obtiene la ecuación 4.25:

$$Q_p = G(H_{G2} - H_{G1}) + B(H_4 - H_3) \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Para calcular la entalpía del aire a la entrada y salida del deshidratador se toma en cuenta la ecuación 4.26 citada por (Sing & Heldman, 2009).

$$H_a = C_s(T_a - T_o) + Y * L \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Donde:

C_s = Calor húmedo (kj/kg de aire seco °C)

T_a = Temperatura del aire (°C)

T_o = Temperatura de referencia (°C)

Y = Humedad absoluta (g agua/kg aire seco)

L = Calor latente de evaporación del agua (kj/kg de agua)

Para calcular el calor húmedo del aire, se tomó en cuenta la ecuación 4.27 citado por (Singh & Heldman, 2009) en donde el calor específico del aire seco es 1,005 (kj/kg aire seco °C) y el calor específico para el agua 1,88 (kj/kg aire seco °C).

$$C_s = (1,005 + 1,88 * Y) \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Reemplazando datos de la ecuación 4.27 en la ecuación 4.26 se obtiene la ecuación 4.28:

$$H_a = (1,005 + 1,88 * Y) (T_a - T_o) + Y * L \quad \text{Ecuación 2.28}$$

Según (Senamhi, 2018) la altitud de la ciudad de Tarija es 1864 msnm. Entonces, para determinar la presión atmosférica en función de la altura se utilizando la ecuación 4.29:

$$P_{\text{atm}} = 10,3297 \left(\frac{293 - 0,0065 * \text{altitud}}{293} \right)^{5,26} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

$$P_{\text{atm}} = 10,3297 \left(\frac{293 - 0,0065 * 1864}{293} \right)^{5,26}$$

$$P_{\text{atm}} = 8,27 \text{ mH}_2\text{O} = \frac{73,55 \text{ mmHg}}{1 \text{ mH}_2\text{O}} = 608,26 \text{ mmHg presión de Tarija}$$

Ajustando los datos de la ecuación 4.28, a presión de la ciudad de Tarija (608,26 mmHg), se obtiene que el calor específico del aire seco es 0,80 (kJ/kg aire seco °C) y el calor específico del agua 1,50 (kJ/kg agua °C) y por tanto se obtiene la ecuación 4.30:

$$H_a = (0,80 + 1,50 * Y) (T_a - T_o) + Y * L \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Para determinar la entalpia del aire (L) a la entrada del deshidratador se empleó la tabla F.4 (Anexo F) propiedades del agua saturada. Para lo cual, en base a la temperatura de bulbo seco 19,15 °C se determinó la entalpia del aire (L) 2456,4 (kJ/kg agua °C) a la entrada del deshidratador de bandejas; reemplazando datos en la ecuación 4.30:

Donde:

$L = 2456,4 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C a } 19,15 \text{ } ^\circ\text{C de la tabla F.4 (Anexo F)}$

$Y_{G1} = 0,011 \text{ kg agua/kg aire seco}$

$T = 19,15 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Ajustando el valor L (2456,4 kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (608,26 mmHg), se obtiene el valor ajustado es 1965,96 kJ/kg de agua a 19,15 °C.

$$H_{G1} = (0,80 \text{ kJ/kg} + (1,50 \text{ kJ/kg} * 0,011 \text{ kg/kg}))(19,15 - 0) + (0,011 \text{ kg/kg} * 1965,96 \text{ kJ/kg})$$

$$H_{G1} = 37,26 \text{ kJ/kg aire seco}$$

Para determinar la entalpia del aire (L) a la salida del deshidratador se empleó la tabla F.4 (Anexo F) propiedades del agua saturada. Para lo cual, en base a la temperatura de bulbo seco 37,92 °C se determinó la entalpia del aire (L) 2411,7 (kJ/kg agua °C) a la salida del deshidratador de bandejas; remplazando datos en la ecuación 4.30:

Donde:

$$L = 2411,7 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C a } 37,92 \text{ } ^\circ\text{C de la tabla F.4 (Anexo F)}$$

$$Y_{G2} = 0,030 \text{ kg agua/kg aire seco}$$

$$T = 37,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ajustando el valor L (2411,7 kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (608,26 mmHg) se obtiene que el valor ajustado es 1930,19 kJ/kg de agua a 37,92 °C.

$$H_{G2} = (0,80 \text{ kJ/kg} + (1,50 \text{ kJ/kg} * 0,030 \text{ kg/kg}))(37,92 - 0) + (0,030 \text{ kg/kg} * 1930,19 \text{ kJ/kg})$$

$$H_{G2} = 89,95 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

Para calcular la entalpia del bagazo, se tiene la ecuación 4.31.

$$H_p = C_p(T_P - T_o) + X_p C_{PX}(T_P - T_o) \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Donde:

$$C_p = \text{Calor específico del producto (kJ/kg } ^\circ\text{C)}$$

T_P = Temperatura del producto ($^{\circ}\text{C}$)

X_P = Humedad del producto (kg agua/kg sólido seco)

C_{PX} = Calor específico del agua (kJ/kg sólido seco)

Para calcular el calor específico del cualquier tipo de alimento, se tiene la ecuación 4.32, citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_{Pp} = X_c * C_{Pc} + X_p * C_{Pp} + X_f * C_{Pf} + X_a * C_{Pa} + X_w * C_{Pw} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Donde:

$C_{Pc} = 1,424$ (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$) = calor específico de los carbohidratos

$C_{Pp} = 1,549$ (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$) = calor específico de las proteínas

$C_{Pf} = 1,675$ (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$) = calor específico de las grasas

$C_{Pa} = 0,837$ (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$) = calor específico de las cenizas

$C_{Pw} = 4,187$ (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$) = calor específico del agua

X_c = Fracción másica de los carbohidratos

X_p = Fracción másica de la proteína

X_f = Fracción másica de las grasas

X_a = Fracción másica de las cenizas

X_w = Fracción másica del agua

Remplazando valores en la ecuación 4,32 se obtiene la ecuación 4.33:

$$C_{Pp} = X_c * 1,424 + X_p * 1,549 + X_f * 1,675 + X_a * 0,837 + X_w * 4,187 \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Para calcular el calor específico del bagazo cervecero, se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.37 de datos extraídos de la tabla 4.3 (Anexo A.2).

Tabla 4.37***Datos de la composición fisicoquímica del bagazo cervecero***

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	X_c	0,1361
Proteínas	X_p	0,0644
Grasa	X_f	0,0150
Ceniza	X_a	0,0082
Humedad	X_w	0,7434

Fuente: Singh & Heldman, 2009

Por lo tanto, reemplazando datos de la tabla 4.37 en la ecuación 4.33 se obtiene:

$$C_{p_{B3}} = (0,1361 * 1,424 + 0,0644 * 1,549 + 0,0150 * 1,675 + 0,0082 * 0,837 + 0,7434 * 4,187)$$

$$C_{p_{B3}} = 3,438 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.31 y reemplazando datos se obtiene la entalpia del bagazo a la entrada del deshidratador de bandejas:

$$H_{B3} = C_{p_{B3}}(T_{B3} - T_0) + X_{B3}C_{pX}(T_{B3} - T_0)$$

$$H_{B3} = 3,438 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(19,15 - 0)^\circ\text{C} + 1,5 \text{ kg/kg} * 4,187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (19,15 - 0)^\circ\text{C}$$

$$H_{B3} = 186,11 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Para calcular el calor específico de la harina de bagazo cervecero, se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.38 de datos extraídos de la composición fisicoquímica de la harina tabla 4.32 (Anexo A.3).

Tabla 4.38*Datos de la composición fisicoquímica de la harina de bagazo cervecero*

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	X_c	0,6949
Proteínas	X_p	0,2010
Grasa	X_f	0,0533
Ceniza	X_a	0,0127
Humedad	X_w	0,0381

Fuente: Singh & Heldman, 2009

Por tanto, reemplazando datos de la tabla 4.38 en la ecuación 4.33 se obtiene:

$$C_{p_{B4}} = (0,6949 * 1,424 + 0,2010 * 1,549 + 0,0533 * 1,675 + 0,0127 * 0,837 + 0,0381 * 4,187)$$

$$C_{p_{B4}} = 1,56 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, a partir de la ecuación 4.31, reemplazando datos se obtiene la entalpia del bagazo seco a la salida del deshidratador de bandejas:

$$H_{B4} = C_{p_{B4}} (T_{B4} - T_0) + X_{B4} C_{B4} (T_{PX} - T_0)$$

$$H_{B4} = 1,56 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (37,92 - 0)^\circ\text{C} + 0,040 \text{ kg/kg} * 4,187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (37,92 - 0)^\circ\text{C}$$

$$H_{B4} = 65,61 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Tenemos los siguientes datos:

$$H_{B4} = 65,61 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$H_{B3} = 186,11 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$H_{G1} = 37,26 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$H_{G2} = 89,25 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$G = 21,12 \text{ kg aire seco}$$

$$B = 267,62 \text{ g} = 0,267 \text{ kg sólido seco}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.25 se obtiene:

$$Q_p = 21,12 \text{ kg}(89,25 \text{ kJ/kg} - 32,26 \text{ kJ/kg}) + 0,267 \text{ kg}(65,61 \text{ kJ/kg} - 186,11 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_p = 1065,86 \text{ kJ}$$

$$Q_p = 255,81 \text{ kcal}$$

El calor necesario para el proceso de deshidratado de las muestras de bagazo es de 255,81 kcal para obtener una cantidad de 267,62 de bagazo cervecero seco:

4.10.2 Balance de energía en la etapa de molienda

Para el balance de energía en la etapa de molienda se utilizó el molino de martillos con una potencia de 1200 W durante 0,054 horas.

Para determinar la energía eléctrica necesaria se utilizó la ecuación 4.34 (Rodríguez, 2016) Ecuación 4.34

Donde:

E= Energía eléctrica (W/h)

P= Potencia

θ = Tiempo (horas)

Así mismo $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W}$

Reemplazando valores en la ecuación 4.34 se obtiene:

$$E = 1200 \text{ w} * \frac{1 \text{ kcal/h}}{1,163 \text{ W}} * 0,054 \text{ h}$$

E = 55,72 kcal energía eléctrica necesaria para la etapa de molienda del bagazo cervecero seco

4.10.3 Balance de energía en la etapa del tamizado

Para el balance de energía en la etapa de tamizado, se utilizó el tamiz vibratorio con una potencia de 80 W durante 0,12 horas.

Reemplazando valores en la ecuación 4.34 se obtiene:

$$E = 80 \text{ w} * \frac{\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}\right)}{1,163 \text{ W}} * 0,12 \text{ h}$$

$E = 8,25$ kcal energía eléctrica necesaria para la etapa de tamizado

4.10.4 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario en la obtención de harina de bagazo cervecero

Para determinar la cantidad total de calor necesario para la obtención de harina de bagazo cervecero, se utilizó la ecuación 4.35 (Valiente, 2002):

$$Q_T = \sum Q_i \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Donde:

Q_T = Calor total necesario del proceso de obtención de harina de bagazo cervecero

$\sum Q_i$ = Suma de calores involuntarios en el proceso (deshidratado, molienda y tamizado)

Aplicando la ecuación 4.35 se obtiene la ecuación 4.36:

$$Q_T = Q_{\text{deshidratado}} + Q_{\text{molienda}} + Q_{\text{tamizado}} \quad \text{Ecuación 4.36}$$

$$Q_T = 255,81 \text{ kcal} + 55,72 \text{ kcal} + 8,25 \text{ kcal}$$

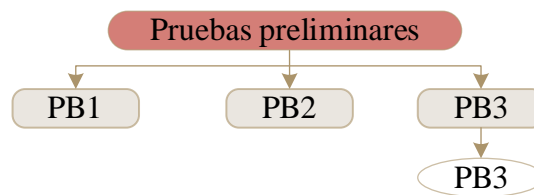
$Q_T = 319,78$ kcal calor necesario para obtener 260,25 g de harina de bagazo

4.11 Aplicación de la harina de bagazo cervecero

Para la aplicación de la harina de bagazo cervecero, se tomó en cuenta pruebas preliminares para la elaboración de pan tipo hamburguesa a base de harina de trigo.

4.11.1 Pruebas preliminares para la elaboración de pan tipo hamburguesa incorporando harina de bagazo cervecero

Para la obtención de pan tipo hamburguesa, se realizaron tres pruebas preliminares sustituyendo parcialmente el porcentaje de harina de trigo, con la finalidad de determinar el comportamiento del mismo en el pan y el grado de aceptabilidad. Para lo cual, se procedió a elaborar tres muestras variando el porcentaje de harina de bagazo, donde la muestra (PB1) presenta 11% de harina de bagazo, (PB2) 15% y (PB3) 5%. La figura 4.46 muestra las pruebas preliminares que se realizaron para encontrar la muestra ideal.

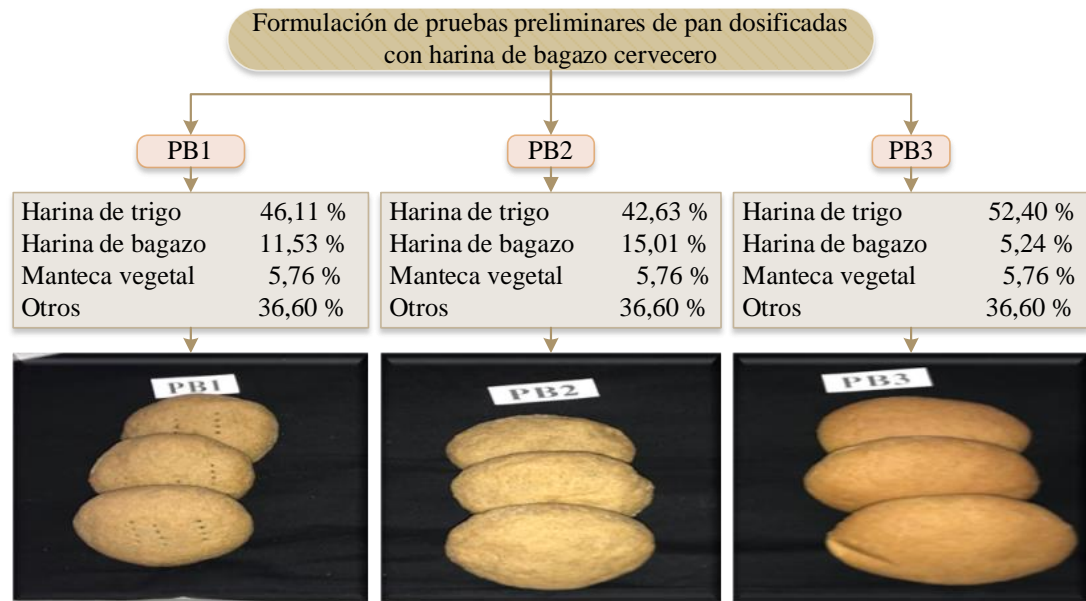


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.46: Pruebas preliminares para la elaboración de pan

4.11.2 Variación porcentual en la formulación de las pruebas preliminares para la elaboración de pan tipo hamburguesa

En la figura 4.47 se muestra la formulación de las tres pruebas preliminares en porcentaje de harina de bagazo, harina de trigo y manteca vegetal utilizados para la elaboración de pan.



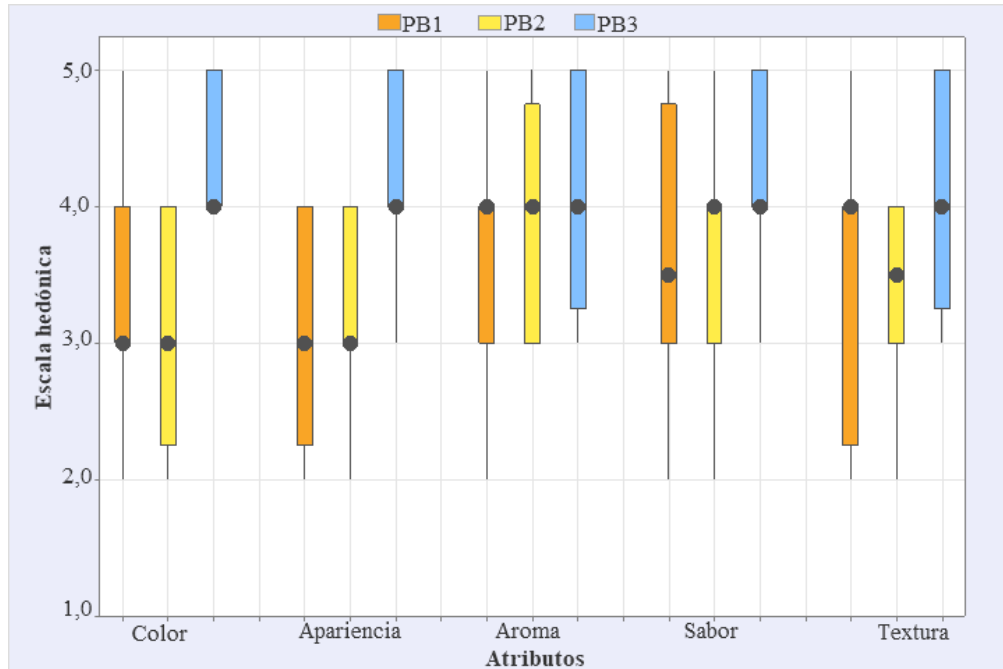
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.47: Formulación de las pruebas preliminares para la elaboración de pan

Con la formulación de la muestra (PB1, PB2 y PB3), se realizaron con jueces no entrenados una evaluación sensorial de escala hedónica de cinco puntos valorando los atributos; color, aroma, sabor, textura y apariencia con la finalidad de obtener la muestra ideal de pan dosificado con harina de bagazo.

4.11.3 Estadístico de caja y bigote para pruebas preliminares para la elaboración de pan

En la figura 4.48, se muestra el estadístico caja y bigote en función de los atributos color, apariencia, aroma, sabor, textura. De las muestras de pan tipo hamburguesa dosificadas con harina de bagazo cervecero.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.48: Estadístico de caja y bigote del pan variando la dosificación

Según la evaluación sensorial realizado y el análisis estadístico de Tukey en las muestras (PB1, PB2 y PB3); se demuestra estadísticamente que la muestra PB3 dosificado con (5,24 %) de harina de bagazo obtuvo mayor preferencia por parte de los jueces en función al valor de sus medianas; color (4,0), apariencia (4,0), aroma (4,0) sabor (4,0) y textura (4,0).

4.12 Análisis fisicoquímicos y minerales del pan con harina de bagazo cervecero

Los análisis fisicoquímicos y minerales del pan con harina de bagazo cervecero, se realizaron en el Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID).

4.12.1 Análisis fisicoquímicos del pan con harina de bagazo cervecero

En la tabla 4.39, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del pan con harina de bagazo cervecero, los datos fueron extraídos de la tabla A.4 del (Anexo A).

Tabla 4.39**Análisis fisicoquímicos en el pan con harina de bagazo cervecero**

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	34,18
Ceniza	%	1,66
Grasa	%	9,70
Proteína total (Nx6,25)	%	10,32
Fibra	%	1,88
Hidratos de carbono	%	44,14
Valor energético	Kcal/100 g	305,14

Fuente: CEANID 2023

En la tabla 4.39, se observan los valores fisicoquímicos del pan con harina de bagazo cervecero, donde el contenido de humedad 34,18 %; ceniza 1,66 %; grasa 9,70 %; proteína total (Nx6,25) 10,32 %; fibra 1,88 %; hidratos de carbono 44,14 % y valor energético 305,14 kcal/100g.

4.12.2 Análisis de micronutrientes del pan con harina de bagazo cervecero

En la tabla 4.40, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes del pan con harina de bagazo cervecero de datos extraídos de la tabla A.4 del (Anexo A).

Tabla 4.40**Análisis de micronutrientes del pan con harina de bagazo cervecero**

Microorganismos	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	55,4
Fosforo	mg/100g	148,0

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.40, se expresa el contenido de micronutrientes en el pan con harina de bagazo cervecero: calcio 55,4 mg/100g y fosforo 148,0 mg/100g.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo experimental obtención de harina de bagazo cervecero y según datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- Realizado el análisis fisicoquímico al bagazo cervecero tipo porter se tiene: humedad 71,30 %; ceniza 0,88 %; grasa 4,80 %; proteína 5,34 %; fibra 2,73 %; hidratos de carbono 14,95 % y valor energético 124,36 Kcal/100g.
- Realizado los análisis microbiológicos del bagazo cervecero tipo porter presenta: Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g; Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g; Mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g; y Salmonella ausencia PA/25g.
- Realizado el análisis fisicoquímico al bagazo cervecero tipo summer se tiene: humedad 74,34 %; ceniza 0,82 %; grasa 1,50 %; proteína 6,44 %; fibra 3,29 %, hidratos de carbono 13,61 % y valor energético 93,65 Kcal/100g.
- Realizado los análisis microbiológicos del bagazo cervecero tipo summer se tiene: Coliformes totales $1,3 \times 10^2$ UFC/g; Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g; mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g; y Salmonella ausencia PA/25g.
- Realizada las curvas de variación del contenido de humedad en función de los ensayos de deshidratado del bagazo cervecero sin prensar (ensayo 1) y aplicando prensado (ensayo 2), se eligió la muestra J08 (prensado 120 kg/cm^2 por 10 minutos, temperatura $60 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de aire 5 m/s) por presentar menor contenido de humedad en base seca $0,032 \text{ (g agua/g sólido seco)}$ para un tiempo de 120 minutos.
- Realizado la evaluación sensorial para elegir el tipo de pretratamiento aplicado en muestras de bagazo cervecero, se pudo determinar que la muestra L03 (enjugada con agua filtrada) obtuvo mayor preferencia por parte de los jueces en los atributos color, apariencia y aroma.

- Realizada las pruebas del diseño factorial 2^3 para las muestras de bagazo con pretratamiento, la muestra BC8 (prensado 140 kg/cm^2 , temperatura $65 \text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad del aire 6 m/s) fue seleccionada ya que la variable respuesta contenido de humedad en base seca $0,011 \text{ (g agua/ g sólido seco)}$.
- En base a la variación de los factores: A temperatura entre valores ($55,0 - 65,0$) $^\circ\text{C}$, B velocidad del aire ($4,0 - 6,0$) m/s y el factor C presión ($120,0 - 140,0$) kg/cm^2 . Se comprobó que las condiciones óptimas para minimizar el contenido de humedad en base seca son: temperatura ($65,0 \text{ }^\circ\text{C}$), velocidad del aire ($4,0 \text{ m/s}$) y prensado a ($140,0 \text{ kg/cm}^2$).
- Realizado el análisis fisicoquímico a la harina de bagazo cervecero se tiene: humedad $3,81 \%$; ceniza $1,27 \%$; grasa $5,33 \%$; proteína total ($\text{Nx}6,25$) $20,10 \%$; fibra $10,48 \%$; hidratos de carbono $69,49 \%$ y valor energético $406,33 \text{ kcal/100g}$. Así mismo, en micronutrientes contiene: $83,1 \text{ mg/100g}$ calcio y $31,9 \text{ mg/100g}$ fósforo.
- En base a los resultados microbiológicos de la harina de bagazo cervecero esta contiene: Coliformes totales $1,0 \times 10^2 \text{ UFC/g}$; Escherchia coli $< 1,0 \times 10^2 \text{ UFC/g}$; Mohos y levaduras $4,0 \times 10^1 \text{ UFC/g}$.
- En base al balance de materia a partir de $1000,17 \text{ g}$ de bagazo húmedo se obtiene $260,25 \text{ g}$ harina. Así mismo, se determinó que la cantidad de calor necesario para el proceso de obtención de harina de bagazo cervecero es de $319,78 \text{ kcal}$.
- Finalmente se realizó la aplicación de la harina de bagazo cervecero en la elaboración de pan mediante tres muestras preliminares (PB1, PB2 y PB3), para identificar la muestra ideal. La aplicación de la evaluación sensorial, determino por la muestra PB3 que tiene una formulación de: $52,40 \%$ de harina de trigo, $5,24 \%$ de harina de bagazo y $5,76 \%$ de manteca vegetal como prueba de aplicación.

5.2 Recomendaciones

- Incentivar la producción de harina de bagazo cervecero mediante la implementación de una planta piloto en la provincia Cercado, con la finalidad de contribuir al desarrollo económico y agroindustrial en Tarija.
- Se recomienda introducir la harina de bagazo cervecero en el mercado local, para ser empleada en diferentes preparaciones culinarias. Así mismo, su elevado contenido en proteínas lo convierte en una opción beneficiosa para aquellos que buscan opciones alimenticias saludables y adaptadas a un estilo de vida enfocado en el bienestar físico.
- La harina de bagazo cervecero puede sustituir parcialmente a la harina de trigo en productos de panificación galletería y pastas, se recomienda elaborar pruebas de sustituciones adecuadas a diferentes productos.