

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Ministerio de Agricultura y Ganadería MAGAP establece que, los principales productores de remolacha (*Beta vulgaris*) en el mundo son Rusia, Francia, Estados Unidos, Polonia, Italia, Canadá y México, son países que tienen una producción importante lo cual distribuyen a diferentes países para ser consumido en frescas, sus propiedades nutricionales la han puesto de moda, en una sociedad cada vez más preocupada por una alimentación saludable y funcional. (Palomo, 2017)

A nivel nacional el departamento de Cochabamba es el principal productor de hortalizas, es así que la remolacha es la más importante dentro del género beta que es cultivada en las regiones de los valles, aunque también en el altiplano en menor proporción. (Torrez, 2005)

Últimamente se ha observado un interés creciente para aumentar los rendimientos de los cultivos principalmente de hortalizas como la remolacha. Los problemas por los cuales se tienen bajos rendimientos a nivel regional pueden deberse a la falta de variedades resistentes a enfermedades, así como la falta de genotipo con alto rendimiento y el manejo inadecuado. (Torrez, 2005)

En el cuadro 1.1, se muestra la Encuesta Nacional Agropecuaria sobre la superficie, producción y rendimiento de remolacha del año 2008 a nivel de Bolivia.

Cuadro 1.1

Superficie, producción y rendimiento de remolacha en Bolivia

Cultivo	Superficie (ha)	Producción (Tm)	Rendimiento (kg/ha)
Remolacha	160	697	4,294

Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria, 2008

“El cultivo de remolacha esta difundido en las provincias y municipios del departamento de Tarija: Cercado, Uriondo y El Puente, pero con menor intensidad en Calamuchita, Carreras, el Valle y el Rio San Juan”. (Duran & Galicchio, 2012. Pág. 78)

“La remolacha presenta alta producción en primavera y verano entre septiembre y abril, y baja producción en otoño e invierno, básicamente por una menor disponibilidad de agua y exposición solar “. (Duran & Galicchio, 2012. Pág. 79)

1.2 Justificación

- Por medio del presente trabajo de investigación, se pretende transformar la remolacha (*Beta vulgaris*) en harina, un producto nutritivo por su alto contenido en compuestos bioactivos, antioxidantes, minerales y anticancerígeno, que aportan efectos beneficiosos para la salud además de ser incorporado dentro del mercado local.
- Actualmente en el mercado local no existe harina a partir de este tubérculo, debido a que la mayoría de las personas lo consume de forma natural en jugos y ensaladas, logrando así un subproducto innovador con valor agregado que contribuya en la salud de las personas.
- La obtención de harina de remolacha podrá ser incorporado en la formulación de nuevos productos alimenticios y ser utilizado como insumo en distintas preparaciones culinarias como ser en repostería, sopas instantáneas, panificación, pastas, etc.
- El presente trabajo tiene como finalidad transformar este tubérculo para coadyuvar en la conservación de vida útil del mismo, ya que sus propiedades nutritivas no son aprovechadas en su totalidad debido a la falta de proyectos de investigación.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados en el siguiente trabajo, se detallan a continuación:

1.3.1 Objetivo general

Plantear una metodología experimental para obtener harina de remolacha (*Beta vulgaris*) mediante el proceso de secado con aire caliente para obtener un producto de calidad para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y micronutrientes de la remolacha con el propósito de conocer su composición nutricional.
- Determinar el tiempo de tratamiento a realizarse en la remolacha para mejorar el color y apariencia en la harina de remolacha.
- Establecer la influencia del tipo y tamaño de corte en el proceso de secado para las muestras de remolacha.
- Identificar las variables del proceso de secado por aire caliente para establecer las condiciones a nivel experimental del secado de remolacha.
- Aplicar el diseño experimental en el proceso de secado, con la finalidad de establecer los factores que tienen mayor influencia en las muestras de remolacha para obtener harina.
- Realizar una molienda y tamizado adecuado para obtener un producto de calidad.
- Realizar un análisis fisicoquímico, microbiológico y micronutrientes de la harina de remolacha.
- Realizar balance de materia y energía en el proceso de secado con el fin de conocer las corrientes de entradas y salidas del proceso.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación de la metodología experimental del proceso de secado por aire caliente para obtener harina de remolacha.

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 de la Ciudad de Tarija.
- **Temporal:** El periodo de tiempo donde se ejecutó el trabajo de investigación fue entre las gestiones 2021 – 2022.

- **Institución:** Las instituciones donde se desarrolló el trabajo de investigación fueron las siguientes: Laboratorio Taller de Alimentos (LTA), Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

1.6 Planteamiento del problema

La remolacha es un tubérculo que tiene poca demanda de consumo, provocando así la pérdida del mismo, dándole poca importancia a sus propiedades nutricionales que son muy importantes en la dieta alimentaria de las personas.

El presente trabajo de investigación busca incorporar la harina de remolacha para la elaboración de nuevos productos alimenticios que contribuya en la salud de las personas por medio de diferentes programas nutricionales de la región; desayunos escolares, canasta alimentaria y otros. Debido a que en el mercado local no existe harina de remolacha, la cual podría ser incorporada en la formulación de distintas preparaciones culinarias como ser en repostería, panificación, sopas y pastas.

En el departamento de Tarija la remolacha no tiene una alternativa de conservación para prolongar su vida útil, por lo cual se desea procesar este tipo de tubérculo en harina, a través de un proceso de secado por aire caliente convirtiendo esta propuesta en un producto innovador.

1.7 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental a ser aplicada a nivel experimental, que permitirá obtener harina de remolacha (*Beta vulgaris*) mediante el proceso de secado con aire caliente para obtener un producto de calidad para la provincia Cercado del departamento de Tarija?

1.8 Hipótesis

Mediante la aplicación del proceso de secado por aire caliente a nivel experimental, se logrará obtener harina de remolacha (*Beta vulgaris*) un producto de calidad para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la remolacha

El origen de la remolacha de mesa se encuentra relacionado con la especie *Beta maritima*, acelga marina o acelga bravía, se cree que tuvo su origen en la época prehistórica en el norte de África creciendo de forma silvestre a lo largo de las costas de Asia y Europa. En estos primeros tiempos, la gente comía exclusivamente las hojas y no las raíces. Los antiguos romanos fueron una de las primeras civilizaciones que cultivaron remolacha para utilizar sus raíces como alimento y como remedio medicinal o fármaco en forma de unguento, contra los dolores de muela y de cabeza. Posteriormente, en el siglo XV el cultivo se encontraba en toda Europa. La popularidad de la remolacha creció en el siglo XIX cuando se descubrió que era una fuente de concentrada de azúcar. Hoy en día los principales productores comerciales de remolacha son Estados Unidos, Rusia, Polonia, Francia y Alemania. (Murillo, 2012)

2.2 Definición de la remolacha

La remolacha es la raíz grande y carnosa que crece en la planta del mismo nombre y que se consume como hortaliza. Su piel superficial es fina y suave, puede ser de varios colores, desde rosáceo violáceo y anaranjado rojizo hasta marronáceo. (Segovia, 2001)

La raíz es de sabor dulce y de color rojo oscuro carmesí con tintes purpúreos, rico en compuestos activos tales como carotenoides, betacianina, folatos, betanina, polifenoles y flavonoides, por lo que su ingesta es considerada un factor en la prevención cáncer. Sin embargo, el alto contenido en humedad, lo hace un alimento perecedero provocando pérdidas, debido a que se consume principalmente fresco. (Váli et al., 2007)

“Se considera una hortaliza de clima fresco, pero crece satisfactoriamente en climas calientes, resisten medianamente las heladas y requiere una temperatura alrededor de 21 °C durante el crecimiento”. (FAO, 2019. Pág. 62)

2.3 Clasificación taxonómica de la remolacha de mesa

En el cuadro 2.1, se muestra la clasificación taxonómica de la remolacha de mesa.

Cuadro 2.1***Clasificación taxonómica de la remolacha de mesa***

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsita
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Subfamilia	Chenopodiaceae
Género	Beta
Especie	<i>Beta vulgaris</i>
Nombre común	Remolacha

Fuente: James, 1983

2.4 Composición fisicoquímica de la remolacha de mesa (*Beta vulgaris*)

En la tabla 2.1, se muestra la composición fisicoquímica de la remolacha en 100 gramos.

Tabla 2.1***Composición fisicoquímica de la remolacha***

Componentes	Cantidad	Unidad	Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	37,00	kcal	Hierro	0,80	mg
Agua	89,20	g	Magnesio	15,00	mg
Proteínas	1,30	g	Zinc	0,40	mg
Hidratos de carbono	6,40	g	Tiamina	0,03	mg
Fibra	3,10	g	Riboflavina	0,05	mg
Cenizas	1,10	g	Niacina	0,30	mg
Potasio	300,00	mg	Vitamina B6	0,05	mg
Sodio	84,00	mg	Vitamina C	10,00	mg
Calcio	23,00	mg	Vitamina E	84,00	mg
Fósforo	31,00	mg	Calcio	23,00	mg

Fuente: INS, 2009

2.5 Propiedades nutritivas de la remolacha de mesa

La remolacha es una hortaliza baja en grasas, rica en azúcares y en aporte de fibras, sin olvidar su aporte en antioxidantes, vitaminas hidrosolubles del grupo B (B1, B2, B3, B6 y B9) y vitamina C, precursores de la vitamina A, como los carotenos y diferentes minerales como el hierro, potasio, fósforo, magnesio, calcio y sodio. (Amara, 2020)

La vitamina B2 o riboflavina, se relaciona con la producción de anticuerpos, glóbulos rojos y colabora en la producción de energía, la vitamina B3 o niacina colabora con el

funcionamiento del sistema digestivo, la vitamina B6 participa en el metabolismo celular y el funcionamiento del sistema inmunológico. (Eroski, 2010)

Entre los antioxidantes destacan unos compuestos fenólicos, los flavonoides, potentes anticancerígenos, por lo que su ingesta regular dentro de una alimentación equilibrada ayuda a prevenir la aparición de cáncer. Estos compuestos tienen un gran poder antioxidante, incluso cuando se consume cocida. (Somolinos, 2017)

2.6 Descripción del cultivo de remolacha de mesa (*Beta vulgaris*)

“La remolacha es una planta herbácea bianual, aunque para el consumo de su raíz carnosa se cultiva como anual”. (Morales, 1995. Pág. 4)

El primer año se forma una roseta de hojas con superficie lisa o rugosa y de peciolo largos, la parte superior de su raíz tiene una forma alargada, redondeada y aplastada, de color rojizo a amarillento. Es carnoso y acuoso en su estado comestible, al cortar se puede observar capas concéntricas (Joomia, 2021). En el cuadro 2.2, se muestra la descripción del cultivo de remolacha de mesa.

Cuadro 2.2

Descripción del cultivo de remolacha de mesa

Raíz	La raíz comercial es un engrosamiento de la parte baja del tallo.
Tallo	El crecimiento es de 1 – 3 cm de alto, en la etapa reproductiva alcanza de 80 – 120 cm de alto.
Hojas	Son unas láminas ovaladas sobre el tallo de color verde a morado.
Flores	Aparecen en las ramificaciones del tallo, se agrupan formando un glomérulo generalmente de 2 a 6 las semillas.

Fuente: Morales, 1995

2.7 Variedades de remolacha

En la figura 2.1, se muestran las variedades de remolacha.



Fuente: Leyva, 2019

Figura 2.1: Variedades de remolacha

2.8 Importancia de la remolacha de mesa en la industria alimentaria

En la actualidad la remolacha se consume en fresco como en jugos, cocidos en conservas. En la industria alimentaria es empleada como colorante natural sustituyendo a los colorantes sintéticos para la elaboración de gelatinas, confituras, yogurt, helados,

industria cárnica, caramelos y galletas, el cual es aceptado por la Comunidad Económica Europea y E.E.U.U. clasificándolos con el código E162 conocido como rojo de remolacha. (Gonzales et al., 2010)

2.9 Beneficios nutricionales de la remolacha de mesa

Según (Chinchilla, 2013) las principales propiedades nutricionales que nos brinda la remolacha son las siguientes:

- Es importante para las mujeres en estado de gestación, ya que contiene folato y ácido fólico para prevenir deformaciones del feto.
- Posee un alto contenido de fibra soluble e insoluble, hidratos de carbonos que dan lugar a una de las hortalizas más ricas en azúcar.
- Es diurético por su alto contenido en potasio y bajo en sodio para la eliminación del exceso de líquidos del organismo.
- Es laxante para combatir el estreñimiento y ayuda a tratar las infecciones en la vejiga urinaria.

La remolacha reduce la presión arterial, ayuda a mejorar el rendimiento deportivo, además es antiinflamatorio y desintoxicante. Es muy importante en la dieta alimentaria y sobre todo en las personas que sufren anemia, enfermedades en la sangre por su alta concentración de hierro, vitaminas C y B, potasio y caroteno. (Palomo, 2017)

Contiene betanina, un componente que sirve como aliado en la lucha contra el cáncer de piel y el hígado, ayuda a desintoxicar el hígado y deshacerse del estrés oxidado, para tener un corazón sano, retrasa el envejecimiento, la aparición de la demencia y otros problemas neurológicos, también favorece a un crecimiento capilar fuerte gracias a los carotenoides que nutren el cabello. (Martin, 2018)

Otra importancia de consumir esta hortaliza se debe al contenido de compuestos bioactivos que incluyen nitrato, ácido ascórbico (vitamina C), carotenoides, polifenoles y betalaínas, que son los elementos alimentarios que influyen en la actividad celular y en los mecanismos fisiológicos, produciendo efectos beneficiosos para la salud. (Clifford et al., 2017)

2.10 Harina de tubérculos

“La harina es un polvo fino que se obtiene a partir de tubérculos deshidratados y molidos, ricos en almidón y en otros componentes como proteínas, azúcares minerales y vitaminas”. (Gallegos & Umaña, 2011. Pág. 100)

Los cultivos andinos son estacionales y es necesario almacenar o transformar estos productos a través de operaciones como el secado o deshidratación para mejorar su disponibilidad y conservación. El uso de harinas de tubérculos representa una alternativa para recuperar cultivos y reconocer que su potencial nutricional podría ser una contribución importante al mercado mundial de alimentos, además se presenta como una gran ventaja en la industria alimentaria, debido a que puede utilizarse en la formulación de una gran variedad de productos de panificación, pasta, sopas, formulaciones para comidas de lactantes y snack (Guerra, 2014). En la figura 2.2, se muestra la clasificación de las harinas de raíces y tubérculos en dos categorías.

Clasificación de harinas de raíces y tubérculos	
Harina de raíces y tubérculos fina Es la harina que no menos del 90% en peso pasa con facilidad por un tamiz con orificios de 0,60 mm de apertura.	Harina de raíces y tubérculos gruesa Es la harina que no menos del 90% en peso pasa por un tamiz con orificios de 1,20 mm de apertura.

Fuente: Codex Alimentarius, 1995

Figura 2.2: Clasificación de las harinas de raíces y tubérculos

2.11 Proceso de secado 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., 2002)

2.11.1 Secado por aire caliente

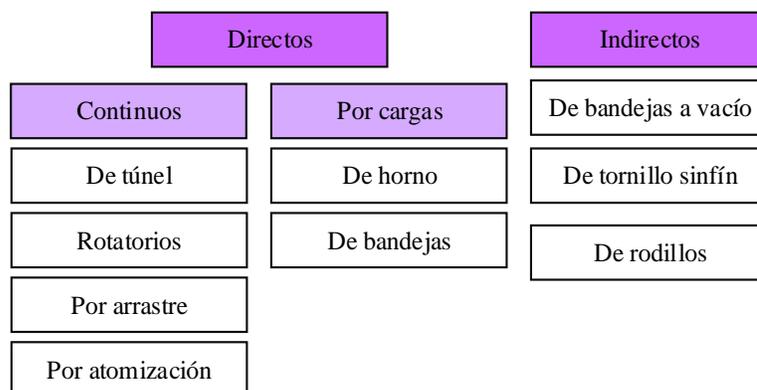
El proceso empieza cuando un alimento se pone en contacto con aire caliente de una temperatura y humedad dadas, este último proporciona el calor latente necesario para

que el agua del producto pase a vapor. De esta manera el vapor de agua abandona al 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, que se encarga de arrastrarlo. (Aguado et al., 2002)

Para lograr un buen secado, los productos deben tener suficiente espacio entre las partes que la componen. Las temperaturas de secado oscilan entre los (38 – 71) °C, aseguran 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 secado completo. (Almada et al., 2005)

2.11.2 Tipos de secadores

En la figura 2.3, se muestran los tipos de secadores de forma directa e indirecta.



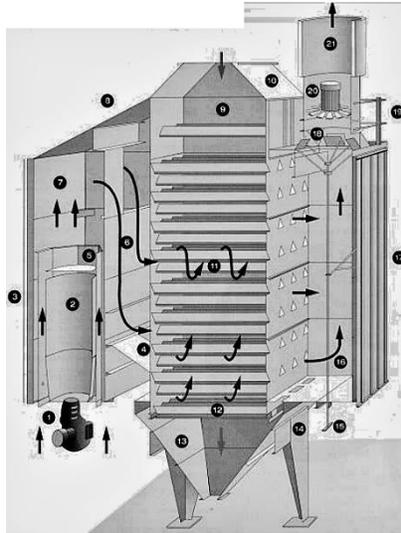
Fuente: Casp & Abril, 2003

Figura 2.3: Tipos de secadores

2.11.2.1 Secador de bandejas por 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 de un 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 se distribuya el calor uniformemente (Maupoey et al., 2016). En la figura 2.4, se muestra el secador de bandejas por aire caliente.



Fuente: Maupoey et al., 2016
Figura 2.4: Secador de bandejas

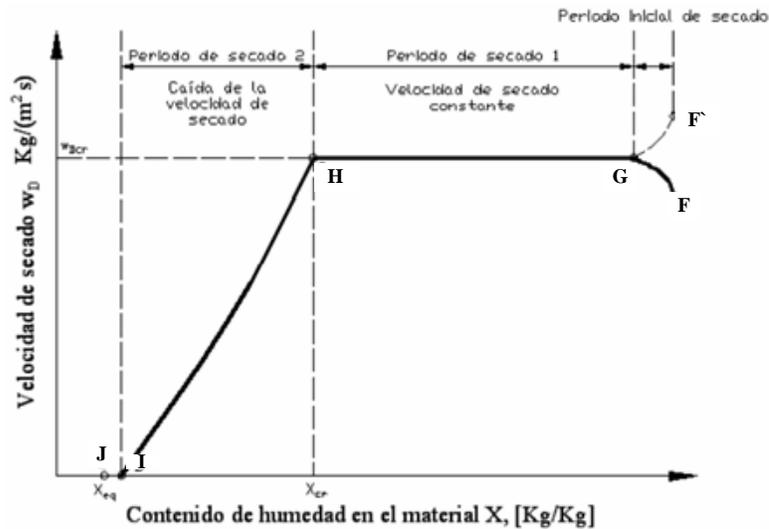
2.12 Cinética de secado

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 del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, de la influencia que tienen 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 velocidad 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 secado, de acuerdo con la ecuación 2.1.

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

En la figura 2.5, se muestra el tramo horizontal proporcionado por la velocidad constante y los tramos de velocidad decreciente.



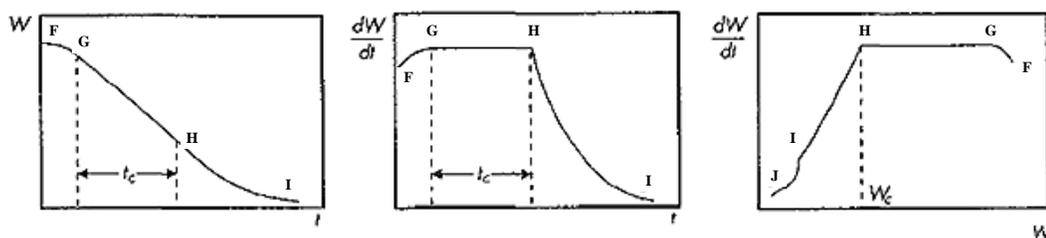
Fuente: Rodríguez, 2014

Figura 2.5: Cinética de secado

En la figura 2.5, se muestra una curva de velocidad de secado en la que los puntos F y F' representa el inicio de secado para un material frío y caliente. El punto G representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. El tramo de la curva G – H es conocido como periodo de velocidad constante de secado, está asociado con la eliminación de agua no ligada al producto y termina cuando la humedad se reduzca al contenido de humedad crítico. (Rodríguez, 2014)

2.12.1 Curvas de secado

De acuerdo con (Aguado et al., 2002) indica que la representación de la humedad de un 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 2.6, se muestran las etapas del secado de un alimento con aire caliente.



Fuente: Aguado et al., 2002

Figura 2.6: Etapas de secado de un alimento con aire caliente

En la figura 2.6, se muestran las variaciones típicas de la humedad de un alimento y su velocidad de secado frente al tiempo, la tercera gráfica informa como varia la velocidad de secado conforme se reduce la humedad del sólido. El proceso de secado está dividido en periodos para la velocidad de secado, los cuales se describen a continuación:

Periodo de estabilización (Tramo F – G): 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. (Aguado et al., 2002)

Periodo de velocidad constante (Tramo G – H): 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 crítica” del producto. (Aguado et al., 2002)

Periodo de velocidad decreciente (Tramo H – I): Comienza con la velocidad de 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, controlado por la difusión del alimento. (Aguado et al., 2002)

Periodo segundo de velocidad decreciente (Tramo I – J): 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. (Aguado 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 bulbo seco

De acuerdo con (Aguado 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 sería su bulbo”.

2.13.2 Temperatura bulbo húmedo

De acuerdo con (Aguado et al., 2002) afirma que se determina mediante un termómetro cuyo bulbo será recubierto por un trapo permanentemente saturado con agua, al circular el aire insaturado a través del termómetro húmedo tiende a ganar humedad, con lo que la temperatura medida disminuye. Esta situación se compensa por cesión 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 (Aguado et al., 2002) afirma que es la temperatura a la cual se satura la mezcla aire – vapor de agua conforme se enfría a 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 del intercambio de aire con el producto es: en el periodo de estabilización, mientras más pequeño 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, 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 (Brennan 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, muchos de estos componentes están fuertemente hidratados. El agua presente en los alimentos no se encuentra en estado puro, sino que forma parte de disoluciones del sólido afectando la conducta durante el proceso de secado y en la calidad del producto final.

2.14.1 Actividad de agua en 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 de humedad en base húmeda es la cantidad de agua por unidad de masa de muestra húmeda”, como se describe en la ecuación (2.1).

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

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.

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

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

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 al 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 en contacto ambos

medios a una temperatura dada se alcanza un equilibrio entre la presión de vapor del 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) 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 necesaria para que este deje de comportarse como higroscópico”.

2.14.1.7 Contenido de humedad desligada

Según (Henley, 1988. Pág. 10) indica que “es la diferencia entre 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 antecrítico 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 de 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 los 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 sólidos en los 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. (Brennan et al., 1998)

2.14.3 Densidad y porosidad

Si las velocidades iniciales de secado son altas, las capas externas de las piezas se tornan rígidas y su volumen se fija antes, al continuar 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. (Brennan et al., 1998)

2.14.4 Retracción del alimento

De acuerdo con (Brennan 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 esta relacionada con la cantidad de agua eliminada haciéndose 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 (Brennan 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 a las elevadas temperaturas de secado, los cuales inducen a complejo cambios físicos y químicos en la capa superficial.

2.15 Tratamientos para evitar el pardeamiento enzimático en las muestras de remolacha

Los tratamientos que se realizan para evitar el pardeamiento enzimático en las muestras de remolacha fueron las siguientes:

2.15.1 Tratamiento químico

Los tratamientos químicos permiten obtener frutas y hortalizas mínimamente procesadas con mayor estabilidad microbiológica, conservar sus características fisiológicas, fisicoquímicas y mejorar la calidad sensorial, facilita la separación o eliminación del agua.

- **Ácido cítrico:** “Previene la oxidación de verduras procesadas, detiene el proceso de deterioro del sabor y el color debido a su acción antioxidante natural, presente en la mayoría de frutas cítricas”. (Infantes, 2015. Pág. 7)
- **Ácido ascórbico:** “Como agente reductor o antioxidante, retarda o inhibe la reacción de pardeamiento enzimático, actuando sobre la enzima o el sustrato”. (Infantes, 2015. Pág. 8)
- **Sorbato de potasio:** Es una sal de ácido sórbico que se utiliza como conservante en la mayoría de los alimentos, ya que inhibe el crecimiento de moho. Se encuentra comúnmente en productos de panadería, jarabes, vinos, helados y mermeladas. (Weler, 2016)

2.15.2 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico de los alimentos, tiene como finalidad la destrucción de los microorganismos a través de calor.

- **Escaldado:** Consiste en someter el alimento hasta una temperatura predeterminado durante un tiempo también predeterminado, es una operación previa de suma importancia en los procesos de conservación para enlatados, congelación o deshidratación de productos sólidos. (Brennan et al., 1998)

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del trabajo de investigación “Obtención de harina de remolacha (*Beta vulgaris*) mediante proceso de secado por aire caliente”, se realizó en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) y en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería Alimentos (LACIA), perteneciente a la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Tipos de intervención en la parte experimental

La metodología que se utilizó para la obtención de resultados experimentales del presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

- Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la remolacha.
- Análisis físico e índice de madurez de la remolacha en el proceso de acondicionamiento.
- Análisis factorial 2³ en el proceso de secado por aire caliente
- Cinética de secado en el proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de remolacha.
- Análisis organoléptico en el proceso de secado
- Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la harina de remolacha.
- Operacionalización de las variables en el proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de remolacha.

3.3 Paradigma investigativo

Según (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 lo tanto, el tipo de paradigma que sustentará al presente trabajo de investigación será de un paradigma positivista con el objeto de comprobar una hipótesis.

3.3.1 Paradigma positivista

Este paradigma con el método hipotético - deductivo de referente, persigue la verificación rigurosa de proposiciones generales (hipótesis) a través de la observación empírica y el experimento en muestras de amplio alcance, y desde una aproximación cuantitativa, con el fin de verificar y perfeccionar leyes. Su finalidad es explicar, predecir, verificar y controlar los fenómenos. (Sánchez, 2013)

3.3.2 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 tipo de investigación a ser implementado será una investigación experimental aplicada.

3.4 Enfoque de investigación

El enfoque cuantitativo propone que el estudio sobre los fenómenos requiere ser científico, es decir, susceptible de ser adquirido a través de la aplicación del método científico y sustentar que todos los fenómenos se podían medir, a esta corriente se le llamo positivismo que es el dato observable. (Vega et al., 2014)

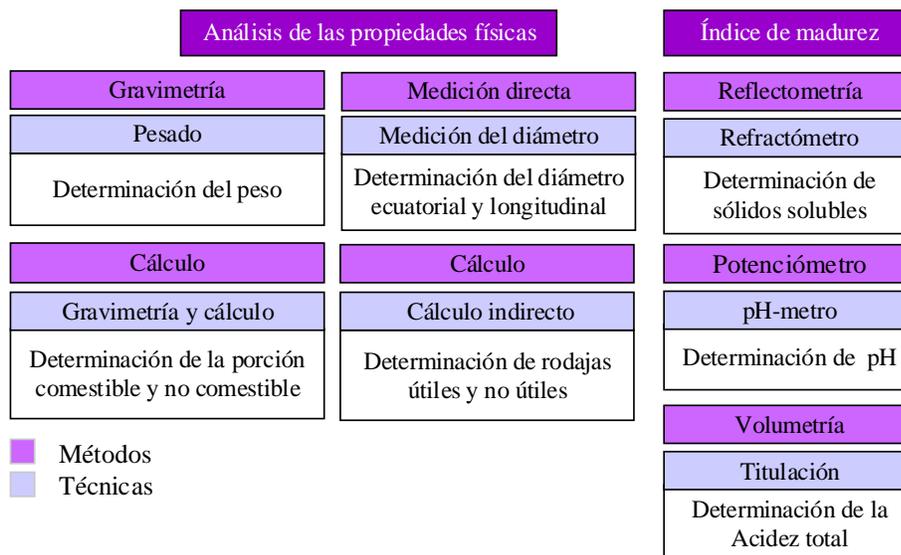
El enfoque que se llevará a cabo en el presente trabajo de investigación, será de un enfoque cuantitativo, porque es secuencial y probatorio que depende de los resultados experimentales del laboratorio que serán medidos por medio de instrumentos.

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

Según (Hernández et al., 2018. Pág. 93) “se entiende por método científico la cadena ordenada de pasos basados en un aparato conceptual determinado y en reglas que permiten avanzar en el proceso de conocimiento de lo conocido a lo desconocido”.

3.5.2 Análisis físico e índice de madurez de la remolacha en el proceso de acondicionamiento

En la figura 3.2, se muestran los métodos y técnicas que se utilizaron para determinar el análisis físico e índice de madurez de la remolacha (*Beta vulgaris*).

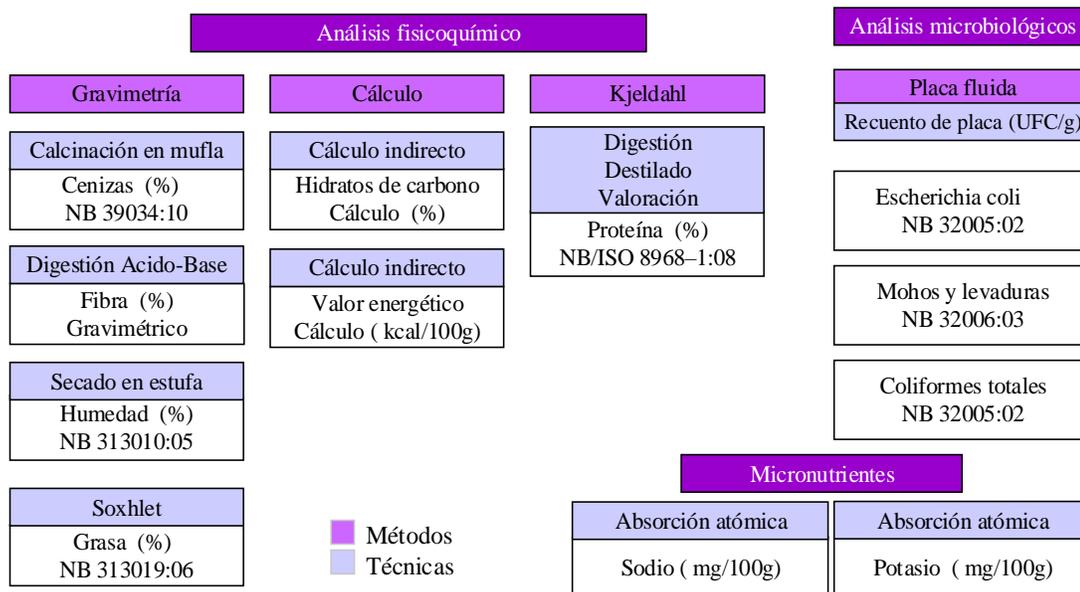


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2: Métodos y técnicas para el análisis físico e índice de la remolacha

3.5.3 Análisis fisicoquímico y microbiológico para la harina de remolacha

En la figura 3.3, se muestran los métodos y técnicas que se utilizaron para determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes en la harina de remolacha.



Fuente: CEANID, 2021

Figura 3.3: Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes en la harina de remolacha

3.6 Equipos, instrumentos de laboratorio, material de laboratorio y utensilios de cocina utilizados en el proceso de secado

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:

3.6.1 Equipos

En la figura 3.4, se muestran los equipos utilizados para “Obtención de harina de remolacha (*Beta vulgaris*) mediante proceso de secado por aire caliente” los cuales se detallan en el (Anexo H).

<p>Molino eléctrico modelo 0298A21</p> <ul style="list-style-type: none"> Tensión 220 V Potencia 1000 W Velocidad 17.000 rpm 	<p>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>Selladora eléctrica marca ALFONSIN</p> <ul style="list-style-type: none"> Tensión 220 V Frecuencia 50 Hz Potencia 500 W
<p>Secador de bandejas marca Esztergon</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>Cocina industrial marca DAKO</p> <ul style="list-style-type: none"> Potencia 3.0 KW Gas GNP Presión 2.8 Kpa 	<p>Cortadora de hortalizas modelo Polinox</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad máxima 100 kg Voltaje 220 V

Equipos de secado
 Especificaciones técnicas

Fuente: LTA, 2022

Figura 3.4: Equipos en el proceso de secado por aire caliente

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.5, se muestran los instrumentos utilizados para la “Obtención de harina de remolacha (*Beta vulgaris*) mediante proceso de secado por aire caliente” los cuales se detallan en el (Anexo H).

<p>Thermo – hygrometer marca EHDIS</p> <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 	<p>Anemómetro marca HT – 4000</p> <ul style="list-style-type: none"> Rango velocidad de aire: 0,4 - 25m/s. Humedad del aire: 20 – 80 %RH.
<p>Balanza digital modelo PS4500.R2</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad máxima: 450 g. Capacidad mínima: 0,5 g Temperatura permitido: 10 - 40°C. 	<p>Termo balanza marca RADWAG</p> <ul style="list-style-type: none"> Temperatura máxima 250°C. Capacidad máxima de pesado 60 g.
<p>Tamiz vibratorio marca ORTO ALRESA</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de 7 tamices. Velocidad de agitación: 0- 3.500 rpm Capacidad máxima de pesado: 2 kg. 	<p>pHmetro marca Horiba LAQUA</p> <ul style="list-style-type: none"> Rango de temperatura: -30,0 - 130 °C Rango de pH: -2.00 a 19.99 pH
<p>Refractómetro marca KRUSS DR301-95</p> <ul style="list-style-type: none"> Medición automática. Escala permitido de 0 - 100 °Brix. 	<p>Bureta digital marca DIGITRATE PRO</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad máxima 50ml. Precisión de ± 0,2%,

Instrumentos en el proceso de secado
 Especificaciones técnicas

Fuente: LTA, 2022

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

3.6.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio que son necesarios para realizar el presente trabajo de investigación, se muestran en el (Anexo H) y se detallan a continuación:

- **Termómetro:** de alcohol con una capacidad de (0 – 100) °C.
- **Espátula:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Cronómetro:** tamaño pequeño de plástico.
- **Mortero:** tamaño mediano de porcelana.
- **Bandejas:** tamaño (65 x 65) cm de aluminio; (35 x 35) cm de aluminio.
- **Probeta:** capacidad de 50 ml de vidrio.
- **Pipeta:** capacidad 10 ml de vidrio.
- **Erlenmeyer:** capacidad 100 ml de vidrio.
- **Vaso de precipitación:** capacidad 100 ml de vidrio.

3.6.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que son necesarios para realizar el presente trabajo de investigación, se muestran en el (Anexo H) y se detallan a continuación:

- **Picador de verduras:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Colador:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Fuentes:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Cuchillo:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Ollas:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Jarra graduada:** volumen de 4 litros de plástico.
- **Tabla de picar:** tamaño mediano de plástico.

3.7 Aditivos de uso alimentario

Los aditivos de uso alimentario que se utilizaron para realizar el presente trabajo de investigación, se detallan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1*Aditivos de uso alimentario*

Aditivo	Marca	Procedencia	Estado
Ácido ascórbico	Solquifar	Boliviana	Sólido
Ácido cítrico	Biopak	Argentina	Sólido
Sorbato de potasio	Solquifar	Boliviana	Sólido

Fuente: Elaboración propia

3.8 Reactivos químicos de laboratorio

Los reactivos químicos utilizados para la determinación del índice de madurez de la remolacha, se detallan en la tabla 3.2.

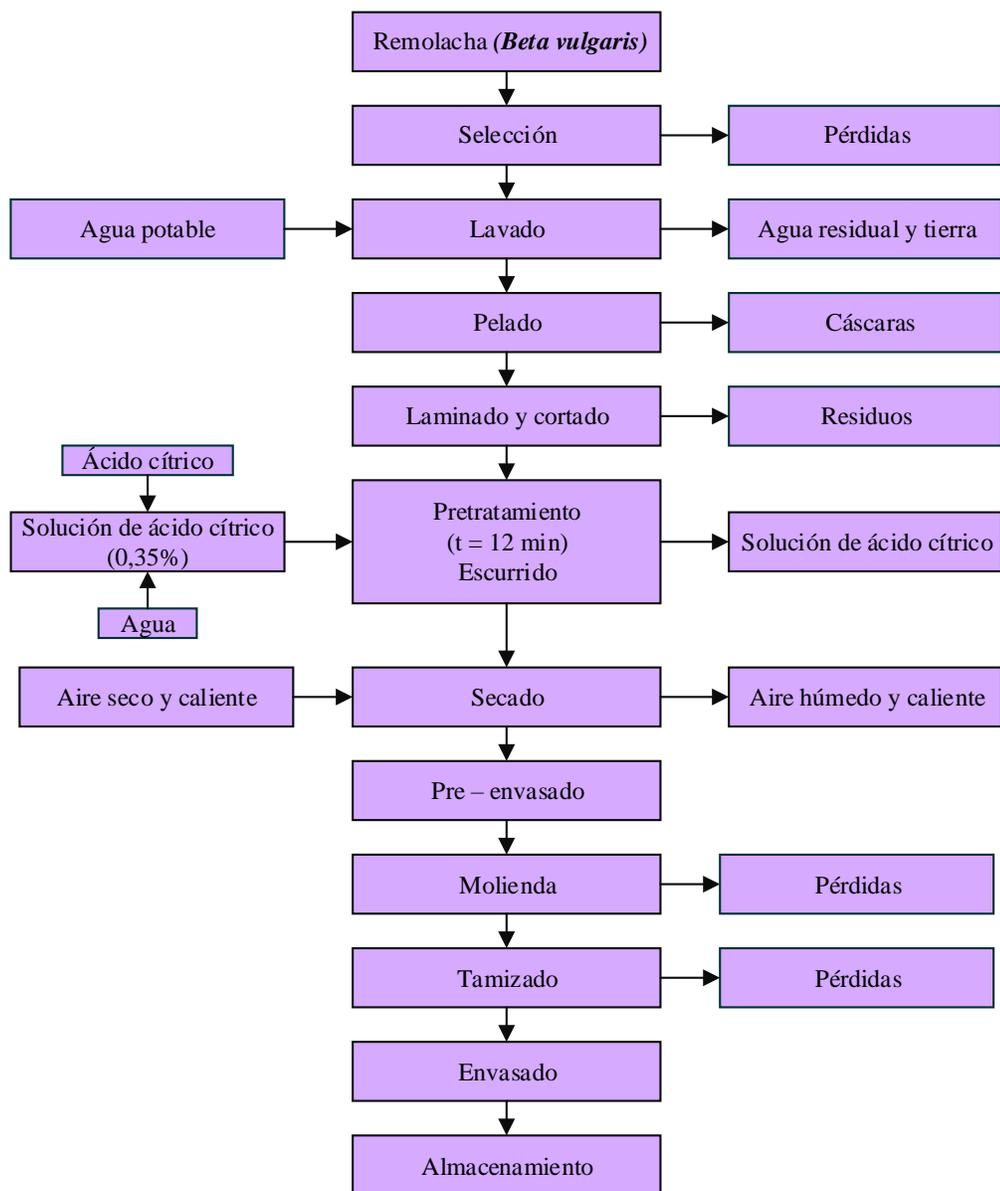
Tabla 3.2*Reactivos químicos de laboratorio*

Reactivo	Concentración	Procedencia	Estado	Marca
Hidróxido de sodio	0,1 N	Argentina	Líquido	Biopak
Azul de bromotimol	0,1 %	Argentina	Líquido	Biopak

Fuente: Elaboración propia

3.9 Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de remolacha

En la figura 3.6, se muestra el diagrama de flujo a nivel experimental del proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de remolacha.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de remolacha

3.9.1 Descripción del diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de remolacha

Las operaciones del proceso de secado por aire caliente a nivel experimental para la obtención de harina de remolacha, se detallan a continuación:

Remolacha (*Beta vulgaris*)

La remolacha que se utilizó en la parte experimental fue adquirida del mercado Campesino de la ciudad de Tarija, procedente del Valle perteneciente al municipio de Uriondo. En la figura 3.7, se muestra la remolacha.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.7: Remolacha

Selección

En esta etapa se realizó una selección manual, donde se clasificó la remolacha de acuerdo a su tamaño con el fin de homogenizar el tamaño del corte y separar las que no son aptas para el proceso. En la figura 3.8, se muestra la selección de remolacha.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8: Selección

Lavado

Este proceso se realizó utilizando agua potable, con la finalidad de eliminar tierra, impurezas y residuos adheridos en la superficie de la cáscara del tubérculo. En la figura 3.9, se muestra la limpieza de remolacha.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Lavado

Pelado

Se realizó de manera manual con un cuchillo de acero inoxidable, consiste en separar la porción no comestible (cascará) de la porción comestible. En la figura 3.10, se muestra el pelado de remolacha.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Pelado

Laminado y cortado

En esta operación, se utilizó la laminadora de hortalizas para la obtención de rodajas de remolacha y con un picador de hortalizas se realizó el corte juliana, obteniendo un corte de (0,1 – 0,3) cm. En la figura 3.11, se muestra el corte juliana de remolacha.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11: Laminado y cortado

Pretratamiento

El pretratamiento, se realizó con el fin de evitar el pardeamiento en el proceso de secado, el cual consistió en preparar una solución con ácido cítrico con una concentración de (0,35%), una vez preparada la solución se procedió a introducir las muestras mediante inmersión por un tiempo de 12 minutos en el pretratamiento. En la figura 3.12, se muestran el pretratamiento para las muestras de remolacha.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.12: Pretratamiento para las muestras de remolacha

Escurrido

Seguido del pretratamiento, se procedió a colocar las muestras en un colador de acero inoxidable con el fin de eliminar el exceso de solución de ácido cítrico residual. En la figura 3.13, se muestran el escurrido del pretratamiento de las muestras de remolacha.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Escurrido del pretratamiento de las muestras

Secado

Para el proceso de secado, primero se debe realizar ajustes para condiciones de trabajo en el secador de bandejas, que consiste en poner en funcionamiento el equipo, hasta alcanzar la temperatura de secado entre (50 – 60) °C en un tiempo de 15 min. Posteriormente, se efectuó el funcionamiento del generador de aire con las condiciones de velocidad de aire al secador entre (4,5 – 5,5) m/s, con el fin de introducir aire seco y/o eliminar el aire húmedo del equipo. Después de realizar el ajuste de los equipos para el proceso de secado, se procedió a introducir la bandeja milimétrica (35 x 35) cm, con las muestras de remolachas ya escurridas; durante esta etapa se hizo un seguimiento de la pérdida de peso cada 10 minutos hasta alcanzar peso constante en un tiempo aproximado de (5 – 6) horas. En la figura 3.14 se muestra el proceso de secado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14: Secado

Pre – envasado

Después del proceso de secado, se procedió a retirar las bandejas con las muestras de remolacha seca para que exuden y enfríen a temperatura ambiente de (20 – 25) °C, seguidamente son colocadas en bolsas de polipropileno de alta densidad, con el fin de que las muestras no entren en contacto con la humedad del ambiente. En la figura 3.15, se muestra las muestras secas pre – envasadas.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15: Pre – envasado

Molienda

El proceso de molienda consistió en introducir las muestras secas al molino electrónico con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas y homogenizar las muestras hasta alcanzar la granulometría adecuada para harinas. En la figura 3.16, se muestra el proceso de molienda.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.16: Molienda

Tamizado

Seguido del proceso de molienda, se procedió a tamizar las muestras en polvo por medio de un tamiz vibratorio para conseguir la granulometría para el producto. En la figura 3.17, se muestra el proceso de tamizado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.17: Tamizado

Envasado

Una vez finalizado el proceso del tamizado se procedió a envasar las muestras de harina de remolacha en bolsas de polipropileno de alta densidad con cierre hermético, con el fin de protegerlas contra la humedad del ambiente y agentes extraños que puedan contaminar al producto. En la figura 3.18, se muestra el envasado de la harina.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.18: Envasado

Almacenamiento

El producto obtenido será almacenado en condiciones de temperatura ambiente; con la finalidad de prolongar su tiempo de vida útil. En la figura 3.19, se muestra el almacenamiento de la harina.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.19: Almacenamiento

3.10 Evaluación sensorial del proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de remolacha

La evaluación sensorial requiere del conocimiento de los aspectos psicológicos y fisiológicos, se definen como un mecanismo nervioso complejo, que empieza en un aparato receptor externo y termina en la corteza cerebral. Las características organolépticas de los alimentos, constituyen el conjunto de estímulos que interactúan con los receptores del analizador. El receptor transforma la energía que actúa sobre él, en un proceso nervioso que se transmite a través de los nervios centrípetos, hasta los sectores corticales del cerebro, donde se producen las diferentes sensaciones: color, forma, tamaño, aroma, textura y sabor (Espinosa, 2007). En la figura 3.20, se detallan

las evaluaciones sensoriales que se realizaron durante el proceso de secado para la obtención de harina de remolacha.

Evaluación sensorial	Tratamientos	Códigos	Atributos	Test
Prueba inicial	Ácido ascórbico	Q01-Q02	Color-Apariencia	Evaluación subjetiva por motivo de covid
	Ácido cítrico	Q03-Q04	Color-Apariencia	
	Sorbato de potasio	Q05-Q06	Color-Apariencia	
	Escaldado	Q07-Q08	Color-Apariencia	
	Sin tratamiento	Q09-Q10	Color-Apariencia	
Prueba preliminar	Ácido ascórbico	R01-R02-R03-R04	Color-Apariencia	Test 1 (Anexo B)
	Ácido cítrico	R05-R06-R07-R08	Color-Apariencia	Test 2 (Anexo B)
	Sorbato de potasio	R09-R10-R11-R12	Color-Apariencia	Test 3 (Anexo B)
	Escaldado	R13-R14-R15-R16	Color-Apariencia	Test 4 (Anexo B)
	Sin tratamiento	R17-R18	Color-Apariencia	Test 5 (Anexo B)
Prueba ideal	Ácido ascórbico	S01	Color-Apariencia	Evaluación subjetiva por motivo de covid
	Ácido cítrico	S02	Color-Apariencia	
	Sorbato de potasio	S03	Color-Apariencia	
	Escaldado	S04	Color-Apariencia	
	Sin tratamiento	S05	Color-Apariencia	
Diseño experimental	Ácido cítrico	TC1-TC5	Color-Apariencia	Test 6 -7 (Anexo B)
	Sin tratamiento	T01-T05	Color-Apariencia	Test 8 -9 (Anexo B)
Muestra final	Ácido cítrico	TC5	Color-Apariencia	Test 7 (Anexo B)

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20: Evaluación sensorial de las muestras para la obtención de harina de remolacha

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 en dos niveles. A éstos se les conoce como experimentos factoriales 2^k . Es frecuente que los niveles 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 cada uno de los demás factores, lo que da un total de 2^k combinaciones de tratamientos. 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). Este diseño factorial corresponde a la ecuación 3.1.

$$2^k \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Dónde:

2 = Número de niveles
 k = Número de variables

De acuerdo con (Gutiérrez & De la Vara, 2018) es un 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:

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C$$

Dónde: (Ecuación 3.2)

β = Coeficiente de regresión
 X_A, X_B, X_C = Valor codificado del factor de diseño

3.11.2 Diseño experimental en el proceso de secado para las muestras de remolacha

El diseño experimental en el proceso de secado para las muestras de remolacha en el secador estuvo conformado por tres variables: temperatura, velocidad del aire y corte, donde se aplicó de acuerdo a la ecuación 3.3:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ Tratamientos} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

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

- Temperatura de secado (A) = 2 niveles
- Velocidad del aire (B) = 2 niveles
- Corte (C) = 2 niveles

En la tabla 3.3, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo) a ser aplicado en el proceso de secado por aire caliente conformado por tres variables: temperatura (A), velocidad del aire (B) y corte (C).

Tabla 3.3

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

Variables	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura (A)	°C	50,0	60,0
Velocidad del aire (B)	m/s	4,5	5,5
Corte (C)	cm	0,1	0,3

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.4, se muestra la matriz de diseño factorial aplicada en el proceso de secado por aire caliente conformado por tres variables: temperatura (A), velocidad del aire (B) y corte (C).

Tabla 3.4

Matriz del diseño factorial aplicado en el proceso de secado por aire caliente

Combinación de tratamientos	Factores			Interacciones				Variable respuesta	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	H _{BS}	H _{BS}
(1)	- 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	- 1	H _{BS1}	H _{BS1}
A	+ 1	- 1	- 1	- 1	- 1	+ 1	+ 1	H _{BS2}	H _{BS2}
B	- 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	H _{BS3}	H _{BS3}
C	- 1	- 1	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	H _{BS4}	H _{BS4}
AB	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	- 1	H _{BS5}	H _{BS5}
AC	+ 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	H _{BS6}	H _{BS6}
BC	- 1	+ 1	+ 1	- 1	- 1	+ 1	- 1	H _{BS7}	H _{BS7}
ABC	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	H _{BS8}	H _{BS8}

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

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

3.12 Operacionalización de las variables para la obtención de harina de remolacha mediante el proceso de secado por aire caliente

En la figura 3.21, se muestra la operacionalización de las variables para la obtención de harina de remolacha mediante el proceso de secado por aire caliente.

Hipótesis	Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	
Mediante la aplicación del proceso de secado por aire caliente para la obtención de harina de remolacha, permitirá la elaboración de un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.	Variable independiente	Proceso de secado por aire caliente	Es un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido y seco. (Cabrera, 2004)	Peso (g)	
				Longitud ecuatorial - longitudinal	
				Propiedades físicas	Porción comestible y no comestible
				Rodajas útiles y no útiles	
				Control °Brix	(°Brix)
				Control pH	–
				Control de acidez	%
				Índice de madurez	°Brix/% Acidez
				Temperatura	(50,0 – 60,0)°C
				Velocidad del aire	m/s
				Tipo de corte	Julianas
				Corte	(0,1 – 0,3) cm
				Contenido de humedad	(kg agua/kg sólido seco)
	Tiempo de secado	(5 – 7) Horas			
	Cinética de secado	kg sólido seco/m ² h			
	Variable dependiente	Harina de remolacha	Es un polvo fino que se obtiene a partir de tubérculos deshidratados y molidos. (Gallegos & Umaña, 2011).	Humedad	(%)
				Hidratos de carbono	(%)
				Proteínas	(%)
				Grasas	(%)
				Fibras	(%)
Valor energético				(kcal/g)	
Escherichia coli				(UFC/g)	
Mohos y levaduras				(UFC/g)	
Coliformes totales				(UFC/g)	
Análisis organoléptico	(Color – Apariencia)				

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21: Operacionalización de las variables para la obtención de harina de remolacha mediante el proceso de secado por aire caliente

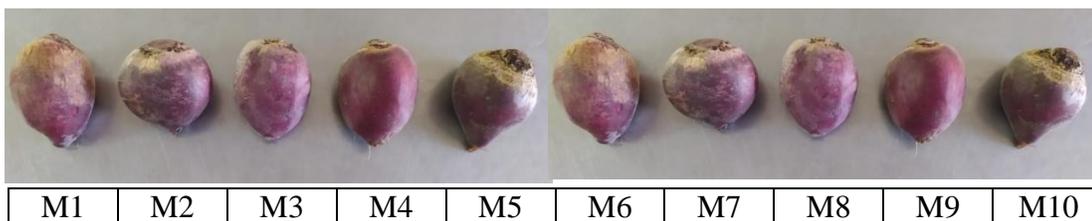
CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la remolacha

Para caracterizar la remolacha (*Beta vulgaris*), se tomaron en cuenta las siguientes propiedades físicas e índice de madurez, análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de los cuales, se detallan a continuación:

4.1.1 Propiedades físicas de la remolacha

En la figura 4.1, se observan las diez muestras de remolacha (*Beta vulgaris*) de las cuales fueron tomadas al azar y aleatoriamente para determinar peso total, diámetro longitudinal (DL) y ecuatorial (DE), porción comestible (PC), porción no comestible (PNC), rodajas útiles (RU) y rodajas no útiles (RNU).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Muestras de remolacha

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos de las propiedades físicas de la remolacha realizado en el Laboratorio Taller de Alimentos.

Tabla 4.1

Propiedades físicas de la remolacha

Muestras	Peso total (g)	DL (cm)	DE (cm)	PC (%)	PNC (%)	RU (%)	RNU (%)
M1	154,85	7,70	5,63	88,10	11,90	90,91	9,09
M2	155,03	6,51	6,50	88,20	11,80	87,50	12,50
M3	122,43	4,90	6,12	88,20	11,80	88,89	11,11
M4	169,54	6,23	7,08	88,38	11,62	89,19	10,81
M5	149,60	6,50	6,12	89,85	10,15	88,10	11,90
M6	191,55	8,68	6,39	87,63	12,37	93,75	6,25
M7	178,60	6,71	6,53	89,60	10,40	86,11	13,89
M8	131,43	6,52	6,02	87,34	12,66	85,71	14,29
M9	162,31	6,21	6,81	88,98	11,02	86,49	13,51
M10	173,90	7,55	7,15	89,60	10,40	93,02	6,98
Promedio	158,92	6,75	6,43	88,59	11,41	88,97	11,03

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se puede observar el promedio de los resultados obtenidos de las propiedades físicas de la remolacha (*Beta vulgaris*), que presenta: peso total 158,92 g; diámetro longitudinal 6,75 cm; diámetro ecuatorial 6,43 cm; porción comestible 88,59%; porción no comestible 11,41 %; rodajas útiles 88,97 % y rodajas no útiles 11,03 %.

4.1.2 Índice de madurez de la remolacha

Según (Domene, 2014) indica que es un parámetro indirecto que determina a partir de la cuantificación del contenido total de sólidos soluble (°Brix) y la acidez valorable; su importancia es grande al ser un indicativo para determinar la calidad organoléptica de frutos, es decir, conociendo su valor podemos estimar la calidad del sabor del fruto o como nos alejamos del mismo. En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del índice de madurez que se realizaron en diez muestras de remolacha.

Tabla 4.2

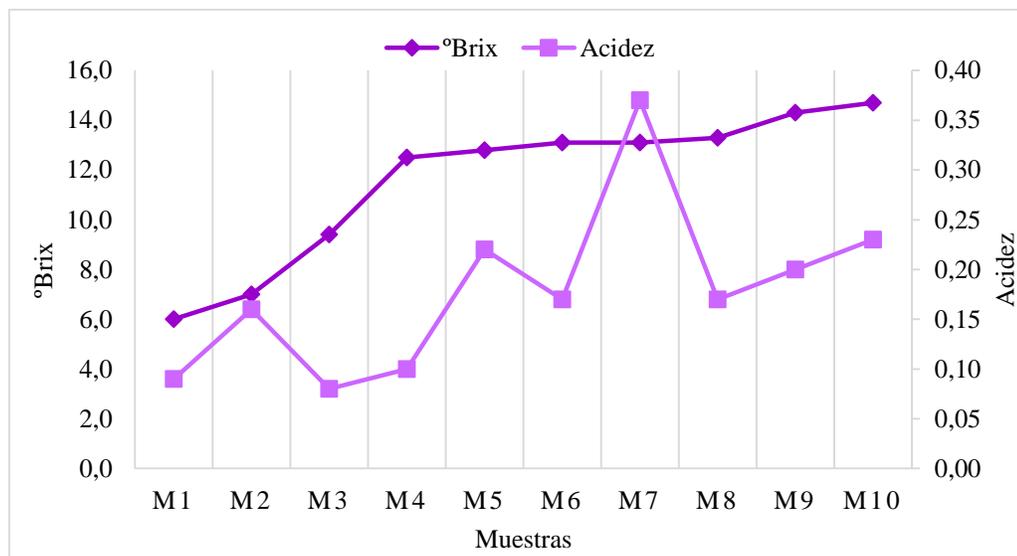
Índice de madurez de la remolacha

Muestra	pH	°Brix	Acidez (%)	$IM = \frac{°Brix}{Acidez (\%)}$
M1	6,59	6,00	0,09	66,67
M2	6,65	7,00	0,16	43,75
M3	6,61	9,40	0,08	117,50
M4	6,73	12,50	0,10	125,00
M5	6,32	12,80	0,22	58,18
M6	6,70	13,10	0,17	77,06
M7	6,69	13,10	0,37	35,41
M8	6,15	13,30	0,17	78,24
M9	6,43	14,30	0,20	71,50
M10	6,52	14,70	0,23	63,91
Promedio	6,54	11,62	0,18	64,92

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.2, se puede observar el valor promedio del índice de madurez de la remolacha, que presenta: pH 6,54; °Brix 11,62; acidez 0,18 %; e índice de madurez óptimo de 64,92 °Brix/porcentaje de ácido cítrico.

En la figura 4.2, se observa la variación de los (°Brix) y porcentaje de acidez en función de las muestras de remolacha y en base a los datos de la tabla 4.2.

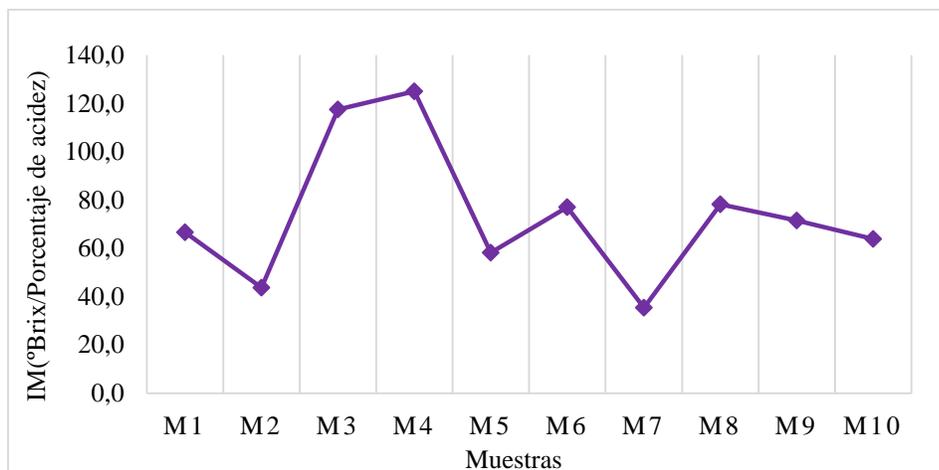


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Variación de (°Brix) en relación acidez en las muestras de remolacha

Según la figura 4.2, se puede observar que los °Brix inicialmente para las muestras M1 hasta M4, existe un incremento entre (6,00 – 12,50) °Brix, y sucesivamente para las muestras M5 hasta M10, se indica un incremento entre (12,80 – 14,70) °Brix. Así mismo, el factor acidez las muestras M1, M3 y M4 presenta inicialmente una acidez entre (0,08 – 0,10) % en ácido cítrico, para las muestras M2, M6, M8 y M9, presenta un aumento de (0,16 – 0,20) % en ácido cítrico y finalmente las muestras M5, M7 y M10, se observa un incremento entre (0,22 – 0,37) % en ácido cítrico.

Según (Télez & Narváez, 2007. Pág. 55) indica que las muestras deben estar dentro del rango entre (30 – 170) °Brix/porcentaje en ácido cítrico para las muestras de remolacha. En la figura 4.3, se observa el índice de madurez en función de las muestras de remolacha y en base a los datos de la tabla 4.2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Índice de madurez en función de las muestras de remolacha

En la figura 4.3, se puede observar que el IM para las muestras M3 y M4, presentan mayor madurez entre (117,50; 125,00) sin embargo a partir de las muestras M6, M8, M9 y M10, con un IM entre (77,06; 78,24; 71,50; 63,91) seguido de las muestras M1, M2, M5 y M7, con un IM entre (66,67; 43,75; 58,18; 35,41). Para tal efecto, dentro del índice de madurez óptimo de 64,92 se encuentra las muestras M1, M10 y M9.

4.1.3 Análisis fisicoquímico de la remolacha

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la remolacha de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A)

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímicos de la remolacha

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	88,26
Ceniza	%	1,04
Grasa	%	0,06
Proteína	%	1,23
Fibra	%	0,48
Hidratos de carbono	%	8,81
Valor energético	Kcal/100 g	40,70

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.3, se expresan los valores fisicoquímicos de la remolacha (*Beta vulgaris*) contiene: ceniza 1,04 %; fibra 0,48 %; humedad 88,26 %; grasa 0,06 %; proteína 1,23%; hidratos de carbono 8,81 % y valor energético 40,70 kcal/100g.

4.1.4 Análisis microbiológicos de la remolacha

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la remolacha de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A).

Tabla 4.4

Análisis microbiológicos de la remolacha

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	5,2x10 ²
Escherichia coli	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	2,3x10 ²
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.4, se expresan los valores microbiológicos de la remolacha (*Beta vulgaris*) contiene: Coliformes totales 5,2x10² UFC/g; Escherichia coli <1,0x10¹UFC/g (*); Mohos y levaduras 2,3x10² UFC/g.

4.1.5 Análisis de micronutrientes de la remolacha

En la tabla 4.5, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de la remolacha de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A).

Tabla 4.5

Análisis de micronutrientes de la remolacha

Micronutrientes	Unidad	Resultado
Potasio	mg/100g	316,0
Sodio	mg/100g	147,0

Fuente: CEANID, 2022

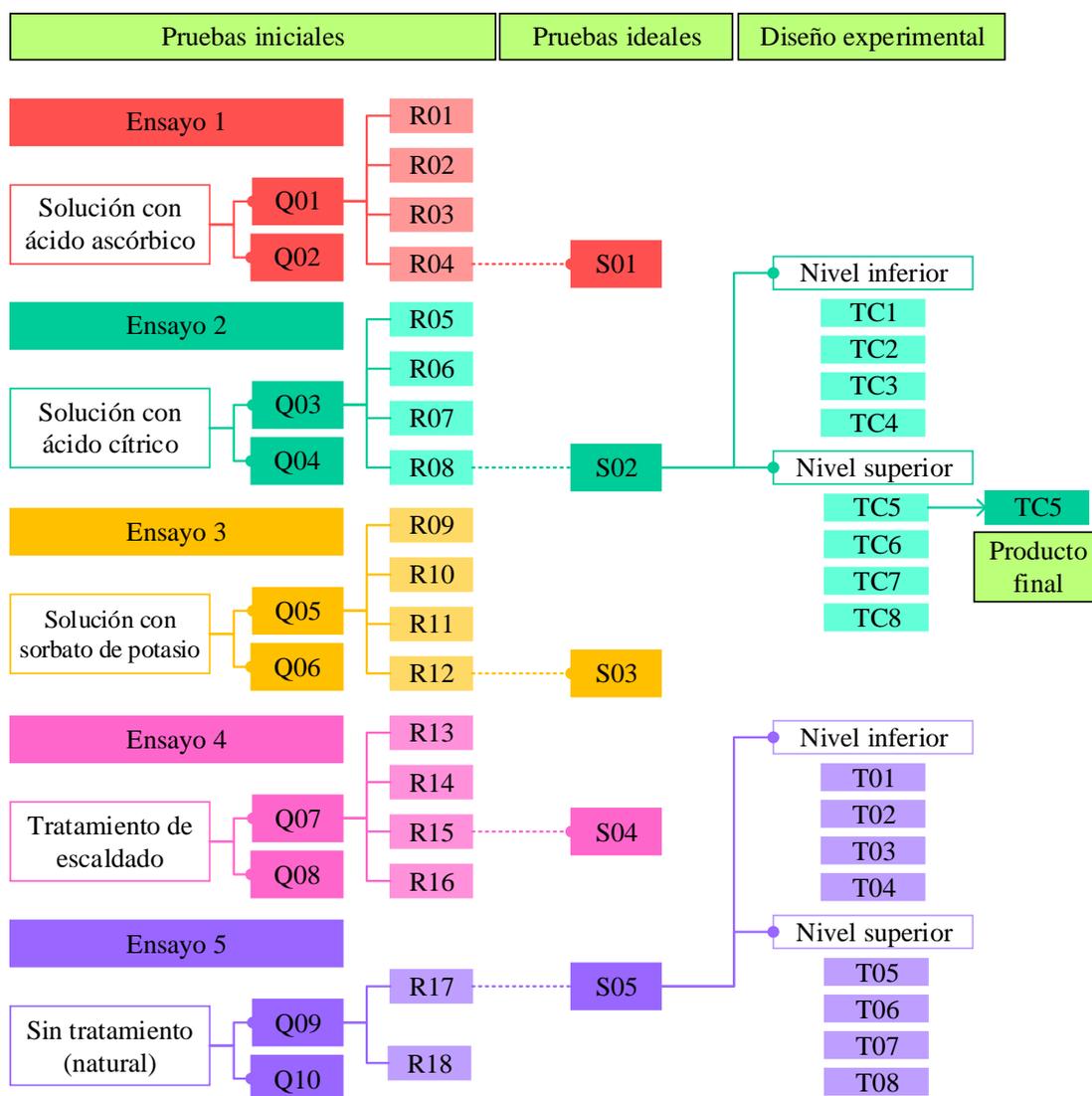
En la tabla 4.5, se expresan los valores micronutrientes de la remolacha (*Beta vulgaris*) que contenido de potasio 316,0 mg/100g de muestra y sodio 147,0 mg/100g de muestra.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de secado para la obtención de harina de remolacha

Para la caracterización de las variables del proceso de secado con aire caliente para obtener harina de remolacha, se procedieron a realizar los siguientes pasos:

4.2.1 Pruebas experimentales para el proceso de secado para la obtención de harina de remolacha

En la figura 4.4, se muestra el desarrollo del presente trabajo de investigación obtención de harina de remolacha, donde se procedió a realizar cinco ensayos iniciales con dos tipos de cortes: julianas (Q01, Q03, Q05, Q07 y Q09) y rodajas (Q02, Q04, Q06, Q08 y Q10); con el fin de determinar el tipo de corte adecuado para el proceso de secado. Para tal efecto, se procedió a realizar el ensayo 1 (solución con ácido ascórbico al 0,1%), ensayo 2 (solución con ácido cítrico al 0,1%), ensayo 3 (solución con sorbato de potasio al 0,1%); estas soluciones a 35 °C y para el ensayo 4 (escaldado a 90 °C); con tiempo de inmersión de 15 minutos para todos los tratamiento y para el ensayo 5 sin tratamiento (natural); con la finalidad de obtener las mejores muestras en función de los tratamientos de secado para obtener harina de remolacha.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Proceso de secado para la obtención de harina de remolacha

Para desarrollar la parte experimental, se tomó en base la ecuación (2.2) para determinar el contenido de humedad en base seca (H_{BS}) en laboratorio en función de los datos de pruebas experimentales, tomando en cuenta la variación del peso en función del tiempo de secado para determinar el tipo de corte para cada ensayo. Para tal efecto, se tomó como dato el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.3) para el cálculo de la masa del sólido seco (m_{ss}). Tomando en cuenta las condiciones de secado de temperatura 55 °C y velocidad de aire 5 m/s.

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

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

Donde:

m_{SS} = Masa del sólido seco (kg)

m_i = Masa inicial (kg)

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

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

4.2.2.1 Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 1 con solución de ácido ascórbico

En la tabla 4.6, se muestran los resultados obtenidos del ensayo 1 con solución de ácido ascórbico al 0,1 % con un tiempo de inmersión de 15 minutos variando el tipo de corte: julianas (Q01) tiempo de secado de 300 minutos y rodajas (Q02) tiempo de secado de 420 minutos; tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

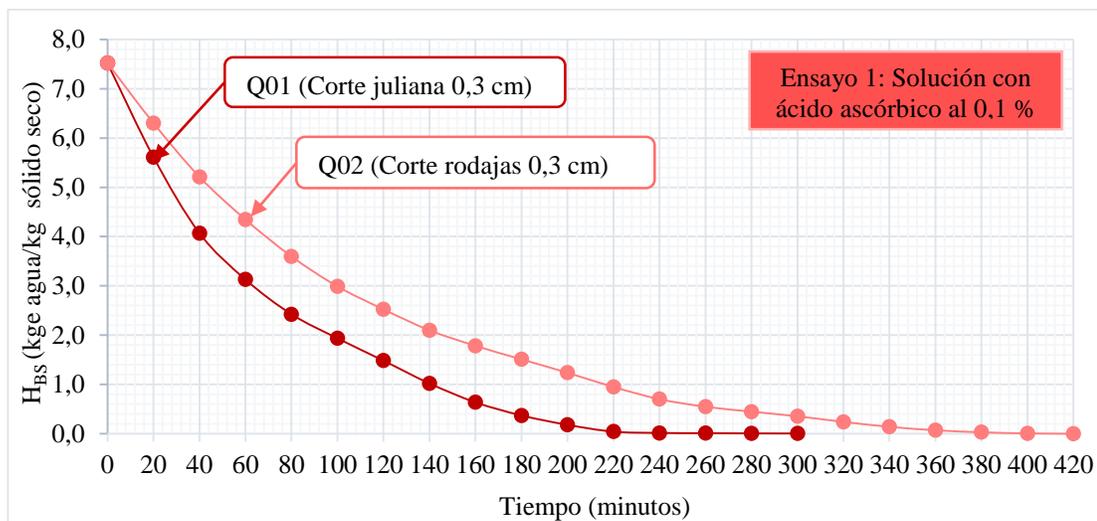
Tabla 4.6

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

Tiempo (min)	Corte juliana (Q01)		Corte rodajas (Q02)		Tiempo (min)	Corte juliana (Q01)		Corte rodajas (Q02)	
	Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}		Peso (g)	H_{BS}	Peso (g)	H_{BS}
0	150,27	7,518	160,57	7,518	220	18,43	0,045	36,76	0,950
20	116,65	5,612	137,65	6,302	240	17,97	0,019	32,11	0,703
40	89,43	4,069	117,08	5,211	260	17,88	0,014	29,21	0,550
60	72,86	3,130	100,78	4,346	280	17,81	0,010	27,34	0,450
80	60,43	2,425	86,68	3,598	300	17,77	0,007	25,56	0,356
100	51,81	1,937	75,21	2,990	320	-	-	23,42	0,242
120	43,83	1,484	66,44	2,524	340	-	-	21,54	0,143
140	35,67	1,022	58,44	2,100	360	-	-	20,23	0,073
160	28,93	0,640	52,49	1,784	380	-	-	19,45	0,032
180	24,22	0,373	47,33	1,511	400	-	-	19,02	0,009
200	20,87	0,183	42,21	1,239	420	-	-	18,89	0,002

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5, se observa la curva de secado para elegir el tipo de corte con solución de ácido ascórbico al 0,1 % de la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.6.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Curva de secado para elegir el tipo de corte con solución de ácido ascórbico

En la figura 4.5, se puede observar que la muestra Q01 y Q02 parte del mismo contenido de humedad en base seca 7,518 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra Q01 se observa que para un tiempo de 140 minutos contiene 1,022 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 300 minutos contiene 0,007 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, para la muestra Q02 se observa que para un tiempo de 140 minutos contiene 2,100 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 420 minutos contiene 0,002 (kg agua/kg sólido seco). Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra Q01 con el tipo de corte en juliana presento menor contenido de humedad en base seca en menor tiempo de secado.

4.2.2.2 Variación de la concentración con solución de ácido ascórbico del ensayo 1

Experimentalmente, en base a la muestra Q01 se procedió a realizar la variación de la concentración con solución de ácido ascórbico en las muestras: R01 (0,10 %), R02 (0,15%), R03 (0,20 %) y R04 (0,25 %) a temperatura de la solución 35 °C y variando el tiempo de inmersión, como se muestra la figura 4.6; con el fin de observar la diferencia en el atributo color y apariencia en la harina de remolacha. Para tal efecto, se procedió a realizar el proceso de secado en condiciones de temperatura 55 °C, velocidad de aire 5 m/s y corte 0,2 cm. Seguidamente del secado, ser molidas en un molino eléctrico.

R01	R02	R03	R04
Concentración de ácido ascórbico (0,10 %)	Concentración de ácido ascórbico (0,15 %)	Concentración de ácido ascórbico (0,20 %)	Concentración de ácido ascórbico (0,25 %)
Tiempo de inmersión (10 min)	Tiempo de inmersión (15 min)	Tiempo de inmersión (12 min)	Tiempo de inmersión (12 min)



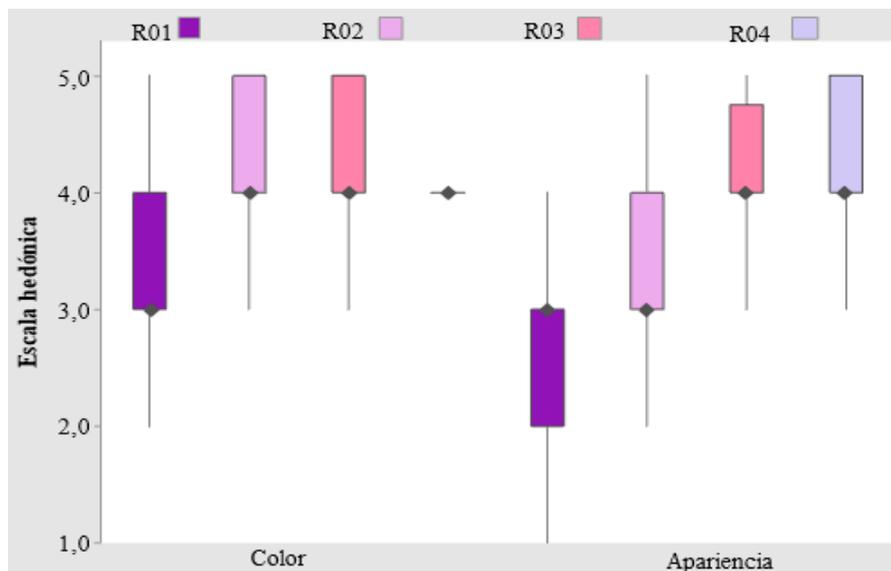
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Variación de concentración para el ensayo 1 con solución de ácido ascórbico

Según la figura 4.6, se procedió a realizar evaluación sensorial de las cuatro muestras variando la concentración con solución de ácido ascórbico para elegir el atributo color y apariencia; utilizando veinte jueces no entrenados en escala hedónica de cinco puntos.

4.2.2.3 Estadístico de caja y bigote para la variación de la concentración de la solución de ácido ascórbico del ensayo 1

En la figura 4.7, se muestran el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.1) y apariencia (tabla C.2.4) de datos extraídos del (Anexo C) del ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Caja y bigote para atributo color y apariencia con solución de ácido ascórbico del ensayo 1

En la figura 4.7, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color R04 (4,0) y apariencia R03 (4,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.2.2.4 Estadístico de Tukey para el atributo color con solución de ácido ascórbico

En la tabla 4.7, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C (tabla C.2.3).

Tabla 4.7

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R03 – R02	0,10	0,60	No significativo
R03 – R04	0,30	0,60	No significativo
R03 – R01	1,05	0,60	Significativo
R02 – R04	0,20	0,60	No significativo
R02 – R01	0,95	0,60	Significativo
R04 – R01	0,75	0,60	Significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.7, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R03 – R01, R02 – R01 y R04 – R01. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras R03 – R02, R03 – R04 y R02 – R04 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.5 Estadístico de Tukey del atributo apariencia con solución de ácido ascórbico

En la tabla 4.8, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del Anexo C (tabla C.2.6).

Tabla 4.8

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R04 – R03	0,25	0,52	No significativo
R04 – R02	0,90	0,52	Significativo
R04 – R01	1,40	0,52	Significativo
R03 – R02	0,65	0,52	Significativo
R03 – R01	0,50	0,52	No significativo
R02 – R01	0,50	0,52	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R04 – R02, R04 – R01 y R03 – R02. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre las muestras R04 – R03, R03 – R01 y R02 – R01 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada las pruebas con solución de ácido ascórbico del ensayo 1, se pudo evidenciar que la muestra R04 a concentración 0,25 % y temperatura a 35 °C con tiempo de inmersión 12 minutos presentó un contenido de humedad 0,022 (kg agua/kg sólido seco) en un tiempo de 280 minutos, para luego ser comparada con los demás tratamientos. Así mismo, finalizada la evaluación sensorial demostró una mediana de 4,0 para el atributo color y apariencia.

4.2.2.6 Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 2 con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.9, se muestran los resultados obtenidos del ensayo 2 con solución de ácido cítrico al 0,1 % con un tiempo de inmersión de 15 minutos variando el tipo de corte: julianas (Q03) tiempo de secado de 240 minutos y rodajas (Q04) tiempo de secado de 360 minutos; tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

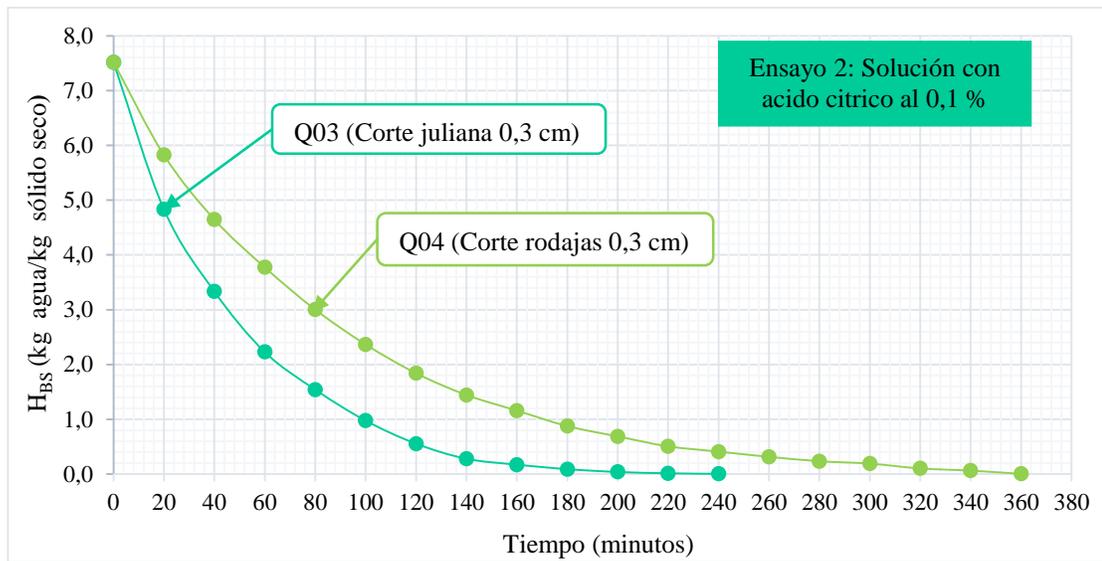
Tabla 4.9

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

Tiempo (min)	Corte juliana (Q03)		Corte rodajas (Q04)		Tiempo (min)	Corte juliana (Q03)		Corte rodajas (Q04)	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}		Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	150,04	7,518	160,99	7,518	200	18,32	0,040	31,92	0,689
20	102,73	4,832	128,98	5,824	220	17,89	0,016	28,51	0,508
40	76,34	3,334	106,73	4,647	240	17,71	0,005	26,67	0,411
60	56,88	2,229	90,23	3,774	260	-	-	24,88	0,316
80	44,79	1,543	75,67	3,004	280	-	-	23,37	0,236
100	34,83	0,977	63,64	2,367	300	-	-	22,53	0,192
120	27,42	0,557	53,72	1,842	320	-	-	20,88	0,105
140	22,56	0,281	46,21	1,445	340	-	-	20,11	0,064
160	20,67	0,173	40,82	1,160	360	-	-	19,02	0,006
180	19,22	0,091	35,49	0,878	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.8, se observa la curva de secado para elegir el tipo de corte en solución con ácido cítrico al 0,1 % de la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Curva de secado para elegir el tipo de corte en solución con ácido cítrico

En la figura 4.8, se puede observar que la muestra Q03 y Q04 parte del mismo contenido de humedad en base seca 7,518 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra Q03 se observa que para un tiempo de 120 minutos contiene 0,557 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 240 minutos contiene 0,005 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, para la muestra Q04 se observa que para un tiempo de 180 minutos contiene 0,878 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 360 minutos contiene 0,006 (kg agua/kg sólido seco). Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra Q03 con el tipo de corte en juliana presento menor contenido de humedad en base seca en menor tiempo de secado.

4.2.2.7 Variación de la concentración con solución de ácido cítrico del ensayo 2

Experimentalmente, en base a la muestra Q03 se procedió a realizar la variación de la concentración con solución de ácido cítrico en las muestras: R05 (0,20 %), R06 (0,25 %), R07 (0,30 %) y R08 (0,35 %) a temperatura de solución 35 °C y a diferentes tiempo de inmersión, como se muestra la figura 4.9; con el fin de observar la diferencia en el atributo color y apariencia en la harina de remolacha. Para tal efecto, se procedió a realizar el proceso de secado en condiciones de temperatura 55 °C, velocidad de aire 5 m/s y corte 0,2 cm. Seguidamente del secado, ser molidas en un molino eléctrico.

R05	R06	R07	R08
Concentración de ácido cítrico (0,20 %)	Concentración de ácido cítrico (0,25 %)	Concentración de ácido cítrico (0,30 %)	Concentración de ácido cítrico (0,35 %)
Tiempo de inmersión (10 min)	Tiempo de inmersión (15 min)	Tiempo de inmersión (12 min)	Tiempo de inmersión (12 min)
			

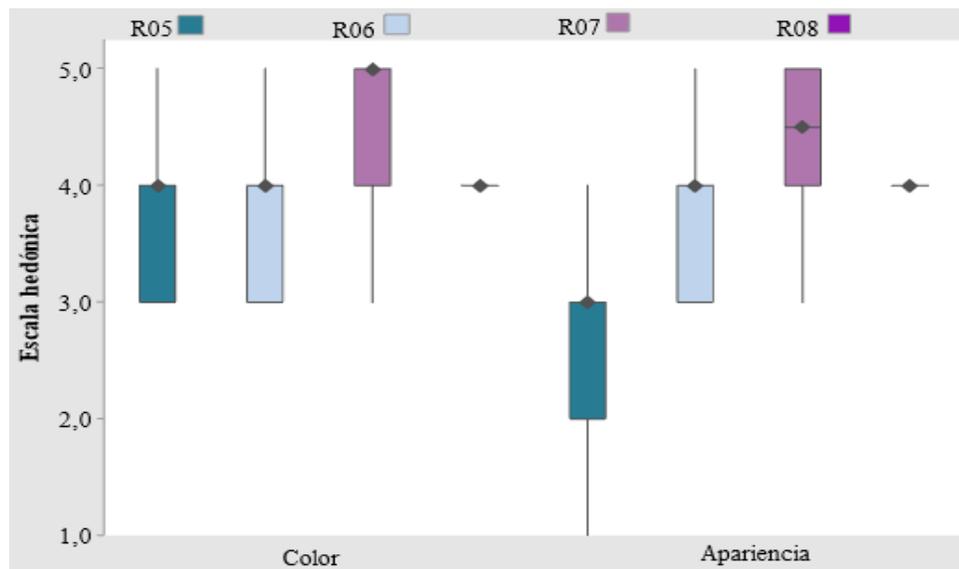
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Variación de concentración para el ensayo 2 con solución de ácido cítrico

Según la figura 4.9, se procedió a realizar evaluación sensorial de las cuatro muestras variando la concentración solución de ácido cítrico para elegir el atributo color y apariencia; utilizando veinte jueces no entrenados en escala hedónica de cinco puntos.

4.2.2.8 Estadístico de caja y bigote para la variación de la concentración de la solución de ácido cítrico del ensayo 2

En la figura 4.10, se muestran el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.7) y apariencia (tabla C.2.10) de datos extraídos del (Anexo C) del ensayo 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Caja y bigote para atributo color y apariencia con solución de ácido cítrico del ensayo 2

En la figura 4.10, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color R07 (5,0) y apariencia R07 (4,5). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.2.2.9 Estadístico de Tukey del atributo color con solución de ácido ascórbico

En la tabla 4.10, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C (tabla C.2.9).

Tabla 4.10

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R07 – R05	0,65	0,56	Significativo
R07 – R08	0,70	0,56	Significativo
R07 – R06	0,85	0,56	Significativo
R05 – R08	0,05	0,56	No significativo
R05 – R06	0,20	0,56	No significativo
R08 – R06	0,15	0,56	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.10 se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R07 – R05, R07 – R08 y R07 – R06. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras R05 – R08, R05 – R06 y R08 – R06 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.10 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.11, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del Anexo C (tabla C.2.12).

Tabla 4.11

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R07 – R08	0,35	0,52	No significativo
R07 – R06	0,60	0,52	Significativo
R07 – R05	1,75	0,52	Significativo
R08 – R06	0,25	0,52	No significativo
R08 – R05	1,40	0,52	Significativo
R06 – R05	1,15	0,52	Significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.11, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R07– R06, R07– R05, R08 – R05 y R06 – R05. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras R07 – R08 y R08 – R06 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada las pruebas con solución de ácido cítrico del ensayo 2, se pudo evidenciar que la muestra R08 a concentración 0,35 % y temperatura a 35 °C con tiempo de inmersión 12 minutos presentó un contenido de humedad 0,012 (kg agua/kg sólido seco) en un tiempo de 280 minutos, para luego ser comparada con los demás tratamientos. Así mismo, finalizada la evaluación sensorial demostró una mediana de 4,0 para el atributo color y apariencia.

4.2.2.11 Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 3 con solución de sorbato de potasio

En la tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos del ensayo 3 con solución de sorbato de potasio al 0,1 % con un tiempo de inmersión de 15 minutos variando el tipo de corte: julianas (Q05) tiempo de secado de 320 minutos y rodajas (Q06) tiempo de secado de 440 minutos; tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

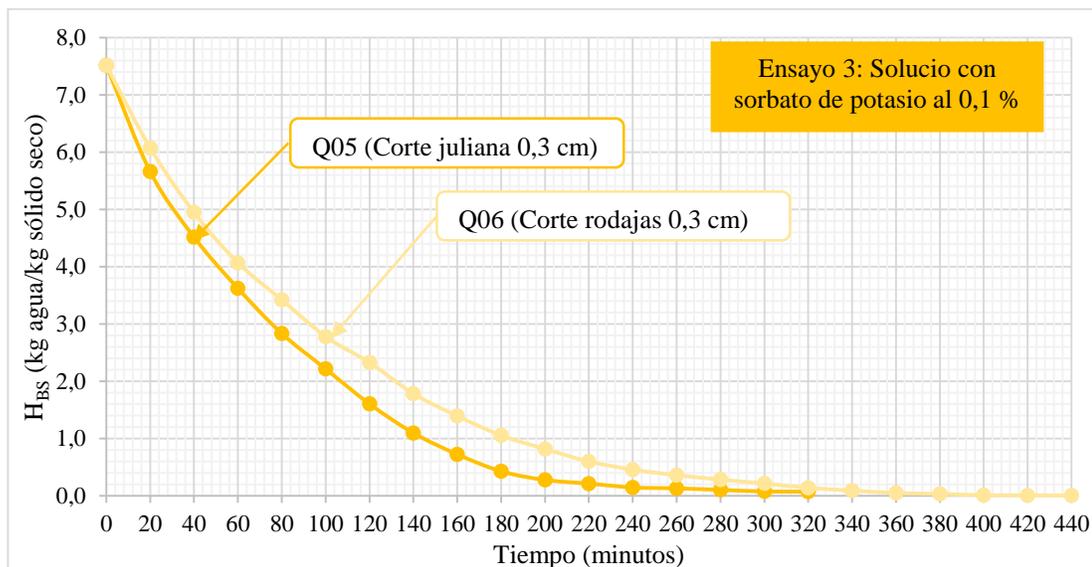
Tabla 4.12

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

Tiempo (min)	Corte juliana (Q05)		Corte rodajas (Q06)		Tiempo (min)	Corte juliana (Q05)		Corte rodajas (Q06)	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}		Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	150,02	7,518	160,46	7,518	240	20,17	0,145	27,43	0,456
20	117,32	5,661	133,26	6,074	260	19,89	0,129	25,64	0,361
40	97,16	4,517	112,04	4,948	280	19,42	0,103	24,15	0,282
60	81,42	3,623	95,48	4,068	300	18,93	0,075	22,86	0,214
80	67,51	2,833	83,31	3,422	320	18,89	0,073	21,46	0,139
100	56,62	2,215	71,18	2,779	340	-	-	20,52	0,089
120	45,86	1,604	62,66	2,326	360	-	-	19,75	0,048
140	36,91	1,096	52,42	1,783	380	-	-	19,43	0,031
160	30,36	0,724	45,08	1,393	400	-	-	19,03	0,010
180	25,14	0,427	38,69	1,054	420	-	-	18,97	0,007
200	22,48	0,276	34,23	0,817	440	-	-	18,92	0,004
220	21,35	0,212	30,11	0,598	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.11, se observa la curva de secado para elegir el tipo de corte en solución con sorbato de potasio al 0,1 % de la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Curva de secado para elegir el tipo de corte en solución con sorbato de potasio

En la figura 4.11, se puede observar que la muestra Q05 y Q06 parte del mismo contenido de humedad en base seca 7,518 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra Q05 se observa que para un tiempo de 160 minutos contiene 0,724 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 320 minutos contiene 0,073 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, para la muestra Q06 se observa que para un tiempo de 220 minutos contiene 0,598 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 440 minutos contiene 0,004 (kg agua/kg sólido seco). Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra Q05 con el tipo de corte en juliana presento menor contenido de humedad en base seca en menor tiempo de secado.

4.2.2.12 Variación de la concentración con solución de sorbato de potasio del ensayo 3

Experimentalmente, en base a la muestra Q05 se procedió a realizar la variación de la concentración con solución de sorbato de potasio en las muestras: R09 (0,13 %), R10 (0,14 %), R11 (0,15 %) y R12 (0,16 %) a temperatura de solución 35 °C y variando el tiempo de inmersión, como se muestra la figura 4.12; con el fin de observar la diferencia en el atributo color y apariencia en la harina de remolacha. Para tal efecto, se procedió a

realizar el proceso de secado en condiciones de temperatura 55 °C, velocidad de aire 5 m/s y corte 0,2 cm. Seguidamente del secado, ser molidas en un molino eléctrico.

R09	R10	R11	R12
Concentración de sorbato de potasio (0,13 %)	Concentración de sorbato de potasio (0,14 %)	Concentración de sorbato de potasio (0,15 %)	Concentración de sorbato de potasio (0,16 %)
Tiempo de inmersión (10 min)	Tiempo de inmersión (15 min)	Tiempo de inmersión (12 min)	Tiempo de inmersión (12 min)
			

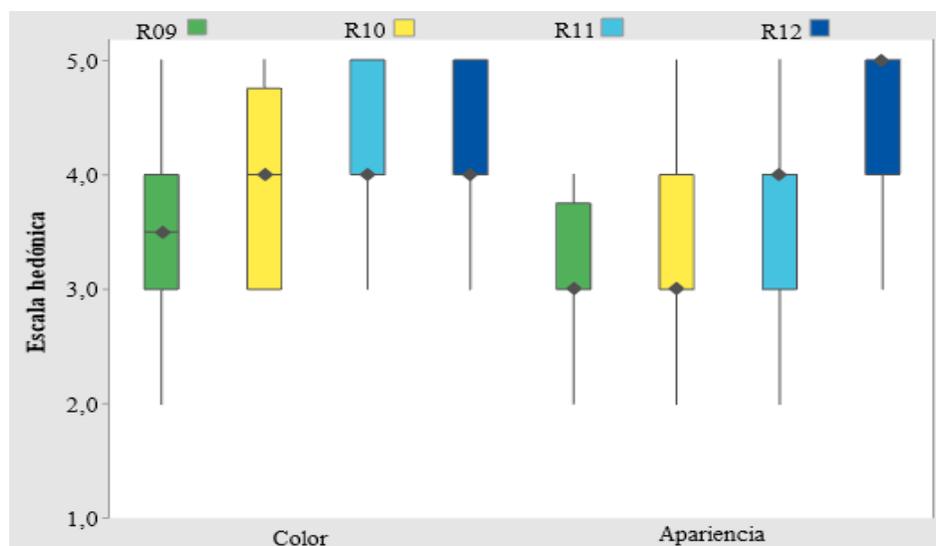
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Variación de concentración para el ensayo 3 con solución de sorbato de potasio

Según la figura 4.12, se procedió a realizar evaluación sensorial de las cuatro muestras variando la concentración con solución de sorbato de potasio para elegir el atributo color y apariencia; utilizando veinte jueces no entrenados en escala hedónica de cinco puntos.

4.2.2.13 Estadístico de caja y bigote para la variación de la concentración de la solución de sorbato de potasio

En la figura 4.13, se muestra el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.13) y apariencia (tabla C.2.16) de datos extraídos del (Anexo C) del ensayo 3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Caja y bigote para atributo color y apariencia con solución de sorbato de potasio del ensayo 3

En la figura 4.13, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color R11 (4,0) y apariencia R12 (5,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.2.2.14 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia con solución de sorbato de potasio

En la tabla 4.13, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del Anexo C (tabla C.2.18).

Tabla 4.13

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R11 – R12	0,35	0,52	No significativo
R11 – R10	0,60	0,52	Significativo
R11 – R09	1,75	0,52	Significativo
R12 – R10	0,25	0,52	No significativo
R12 – R09	1,40	0,52	Significativo
R10 – R09	1,15	0,52	Significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.13, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R11–R10, R11–R09, R12–R09 y R10–R09. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras R11 – R12 y R12 – R10 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada las pruebas con solución de sorbato de potasio del ensayo 3, se pudo evidenciar que la muestra R12 a concentración 0,16 % y temperatura a 35 °C con tiempo de inmersión 12 minutos presentó un contenido de humedad 0,007 (kg agua/kg sólido seco) en un tiempo de 300 minutos, para luego ser comparada con los demás tratamientos. Así mismo, finalizada la evaluación sensorial demostró una mediana de 4,0 para el atributo color y apariencia una mediana de 5,0.

4.2.2.15 Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 4 con tratamiento de escaldado

En la tabla 4.14, se muestran los resultados obtenidos del ensayo 4 con tratamiento de escaldado a 90 °C con un tiempo de inmersión de 15 minutos variando el tipo de corte: julianas (Q07) tiempo de secado de 240 minutos y rodajas (Q08) tiempo de secado de 380 minutos; tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

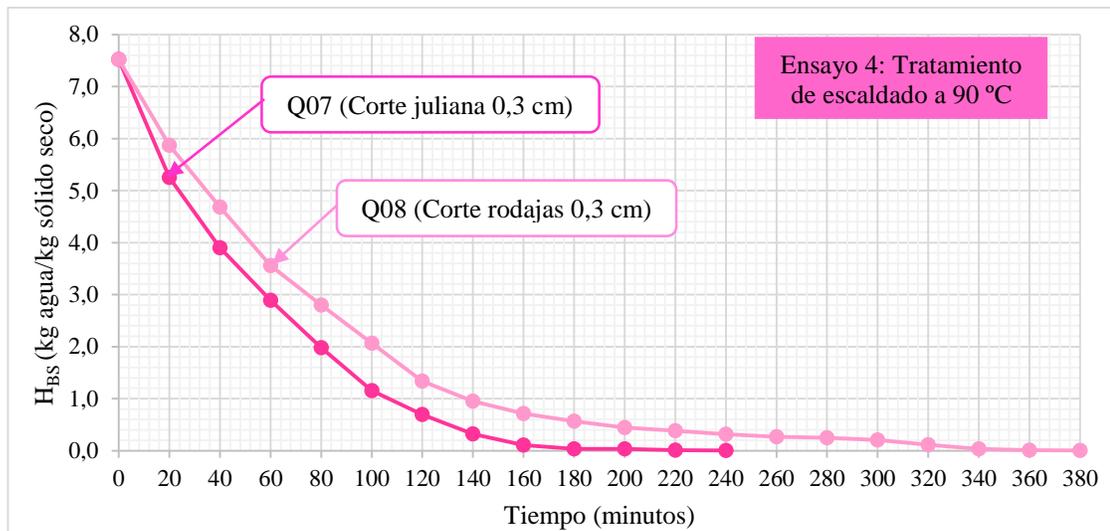
Tabla 4.14

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

Tiempo (min)	Corte juliana (Q07)		Corte rodajas (Q08)		Tiempo (min)	Corte juliana (Q07)		Corte rodajas (Q08)	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}		Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	150,08	7,518	160,18	7,518	200	18,19	0,032	27,11	0,442
20	110,09	5,248	129,21	5,871	220	17,78	0,009	26,03	0,384
40	86,35	3,901	106,89	4,684	240	17,66	0,002	24,72	0,315
60	68,56	2,891	85,64	3,554	260	-	-	23,83	0,267
80	52,48	1,979	71,41	2,797	280	-	-	23,45	0,247
100	37,93	1,153	57,63	2,065	300	-	-	22,62	0,203
120	29,88	0,696	43,93	1,336	320	-	-	20,94	0,114
140	23,31	0,323	36,73	0,953	340	-	-	19,43	0,033
160	19,52	0,108	32,22	0,713	360	-	-	18,98	0,009
180	18,21	0,034	29,49	0,568	380	-	-	18,88	0,004

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.14, se observa la curva de secado para elegir el tipo de corte con tratamiento de escaldado a 90 °C de la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.14.



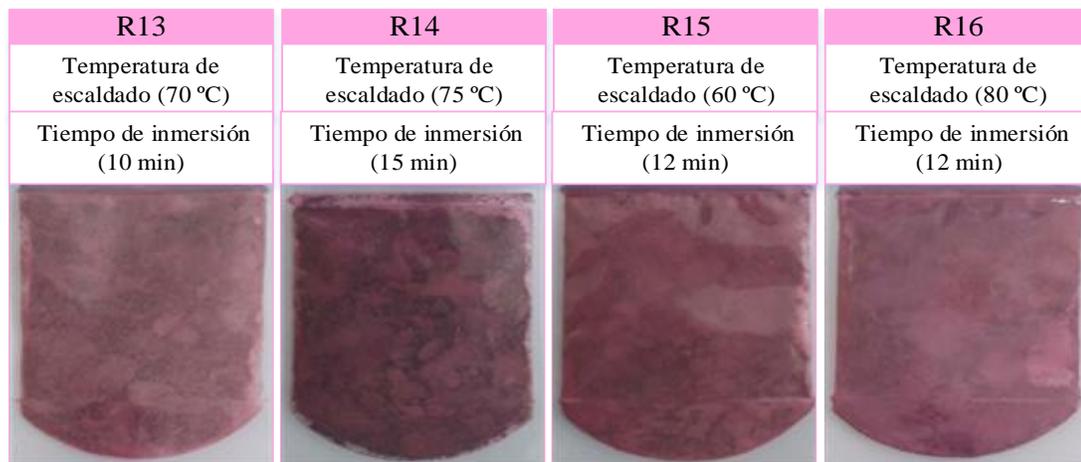
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Curva de secado para elegir el tipo de corte con tratamiento de escaldado

En la figura 4.14, se puede observar que la muestra Q07 y Q08 parte del mismo contenido de humedad en base seca 7,518 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra Q07 se observa que para un tiempo de 120 minutos contiene 0,696 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 240 minutos contiene 0,002 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, para la muestra Q08 se observa que para un tiempo de 180 minutos contiene 0,568 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 380 minutos contiene 0,004 (kg agua/kg sólido seco). Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra Q07 con el tipo de corte en juliana presento menor contenido de humedad en base seca en menor tiempo de secado.

4.2.2.16 Variación de la concentración con tratamiento de escaldado del ensayo 4

Experimentalmente, en base a la muestra Q07 se procedió a realizar la variación de temperatura de escaldado en las muestras: R13 (70 °C), R14 (75 °C), R15 (60 °C) y R16 (80 °C) variando el tiempo de inmersión, como se muestra la figura 4.15; con el fin de observar la diferencia en el atributo color y apariencia en la harina de remolacha. Para tal efecto, se procedió a realizar el proceso de secado en condiciones de temperatura 55 °C, velocidad de aire 5 m/s y corte 0,2 cm. Seguidamente del secado, ser molidas en un molino eléctrico.



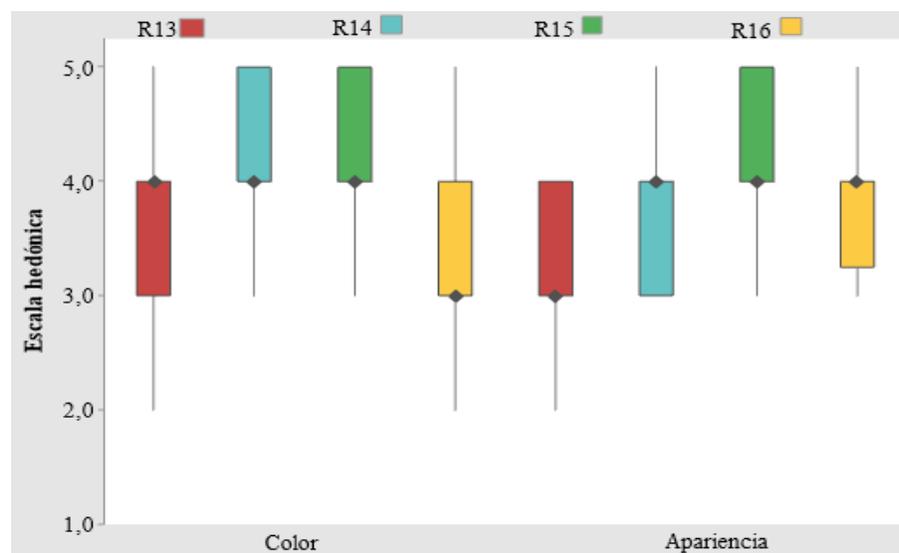
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Variación de temperaturas para el ensayo 4 con tratamiento de escaldado

Según la figura 4.15, se procedió a realizar evaluación sensorial de las cuatro muestras variando la temperatura de escaldado para elegir el atributo color y apariencia; utilizando veinte jueces no entrenados en escala hedónica de cinco puntos.

4.2.2.17 Estadístico de caja y bigote para la variación de temperatura de escaldado del ensayo 4

En la figura 4.16, se muestra el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.19) y apariencia (tabla C.2.22) de datos extraídos del (Anexo C) del ensayo 4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Caja y bigote para atributo color y apariencia con tratamiento de escaldado del ensayo 4

En la figura 4.16, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color R15 (4,0) y apariencia R15 (4,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia significativa para un nivel de $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.2.2.18 Estadístico de Tukey para el atributo color con tratamiento de escaldado

En la tabla 4.15, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos del Anexo C (tabla C.21).

Tabla 4.15

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R15 – R14	0,10	0,63	No significativo
R15 – R16	0,30	0,63	No significativo
R15 – R13	1,05	0,63	Significativo
R14 – R16	0,20	0,63	No significativo
R14 – R13	0,95	0,63	Significativo
R16 – R13	0,75	0,63	Significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.15, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R15 – R13, R14 – R13 y R16 – R13. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras R15 – R14, R15 – R16 y R14 – R16 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.2.19 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia con tratamiento de escaldado

En la tabla 4.16, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del Anexo C (tabla C.2.24).

Tabla 4.16

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R15 – R16	0,15	0,60	No significativo
R15 – R14	0,40	0,60	No significativo
R15 – R13	0,80	0,60	Significativo
R16 – R14	0,25	0,60	No significativo
R16 – R13	0,65	0,60	Significativo
R14 – R13	0,40	0,60	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.16, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R15 – R13 y R16 – R13. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre los tratamientos R15 – R16, R15 – R14, R16 – R14 y R14 – R13 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada las pruebas con tratamiento de escaldado del ensayo 4, se pudo evidenciar que la muestra R15 a temperatura de escaldado 60 °C con tiempo de inmersión 12 minutos presentó un contenido de humedad 0,017 (kg agua/kg sólido seco) en un tiempo de 320 minutos, para luego ser comparada con los demás tratamientos. Así mismo, finalizada la evaluación sensorial demostró una mediana de 4,0 para el atributo color y apariencia.

4.2.2.20 Prueba inicial para elegir el tipo de corte del ensayo 5 sin tratamiento

En la tabla 4.17, se muestran los resultados obtenidos del ensayo 5 sin tratamiento (natural) variando el tipo de corte: julianas (Q09) tiempo de secado de 360 minutos y rodajas (Q10) tiempo de secado de 480 minutos; tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

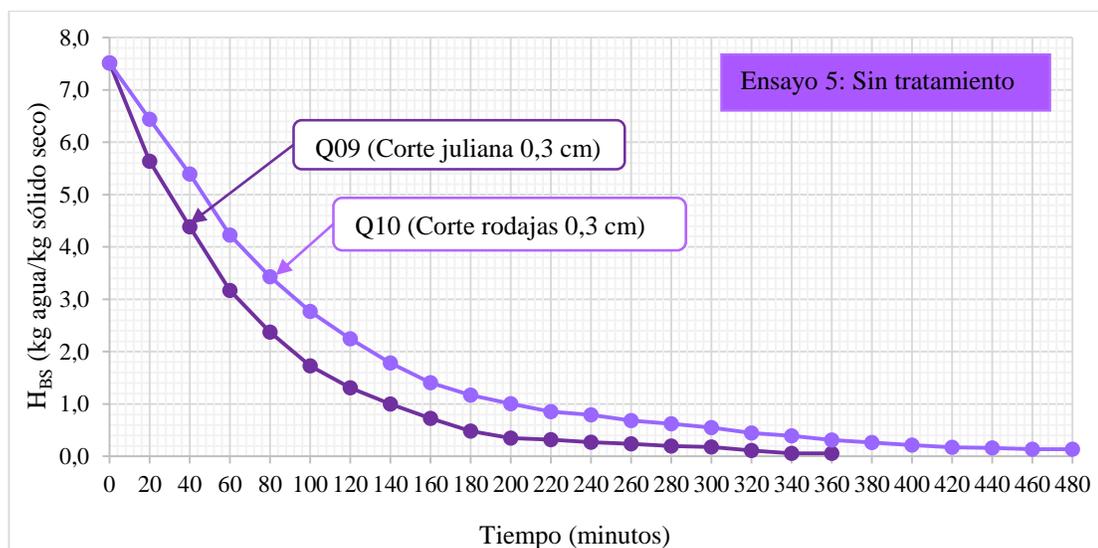
Tabla 4.17

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

Tiempo (min)	Corte juliana (Q09)		Corte rodajas (Q10)		Tiempo (min)	Corte juliana (Q09)		Corte rodajas (Q10)	
	Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}		Peso (g)	H _{BS}	Peso (g)	H _{BS}
0	150,33	7,518	160,19	7,518	260	21,87	0,239	31,68	0,685
20	117,09	5,634	139,88	6,438	280	21,12	0,197	30,56	0,625
40	95,08	4,387	120,31	5,397	300	20,81	0,179	29,18	0,552
60	73,63	3,172	98,33	4,229	320	19,67	0,115	27,22	0,447
80	59,52	2,372	83,28	3,428	340	18,68	0,058	26,13	0,389
100	48,18	1,730	70,88	2,769	360	18,63	0,056	24,65	0,311
120	40,76	1,310	61,09	2,248	380	-	-	23,72	0,261
140	35,27	0,998	52,31	1,782	400	-	-	22,89	0,217
160	30,43	0,724	45,23	1,405	420	-	-	22,08	0,174
180	26,19	0,484	40,78	1,168	440	-	-	21,79	0,159
200	23,77	0,347	37,76	1,008	460	-	-	21,41	0,138
220	23,26	0,318	34,89	0,855	480	-	-	21,36	0,136
240	22,46	0,273	33,71	0,792	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.17, se observa la curva de secado para elegir el tipo corte para la muestra sin tratamiento de la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.17.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Curva de secado para elegir el tipo de corte del ensayo 5 sin tratamiento

En la figura 4.17, se puede observar que la muestra Q09 y Q10 parte del mismo contenido de humedad en base seca 7,518 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra Q09 se observa que para un tiempo de 180 minutos contiene 0,484 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 360 minutos contiene 0,056 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, para la muestra Q10 se observa que para un tiempo de 240 minutos contiene 0,792 (kg agua/kg sólido seco) y para un tiempo de 480 minutos contiene 0,136 (kg agua/kg sólido seco). Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra Q09 con el tipo de corte en juliana presento menor contenido de humedad en base seca en menor tiempo de secado.

4.2.2.21 Variación de temperatura de secado y velocidad del aire para la muestra sin tratamiento del ensayo 5

Experimentalmente, en base a la muestra Q09 se procedió a realizar la variación de temperatura de secado y velocidad del aire en las muestras: R17 (55 °C – 5,5 m/s) y R18 (50 °C – 5,0 m/s) y corte de 0,2 cm, como se muestra la figura 4.18; con el fin de observar la diferencia en el atributo color y apariencia en la harina de remolacha. Seguidamente del secado, ser molidas en un molino eléctrico.

R17	R18
Temperatura de secado (55 °C)	Temperatura de secado (50 °C)
Velocidad del aire (5,5 m/s)	Velocidad del aire (5 m/s)
	

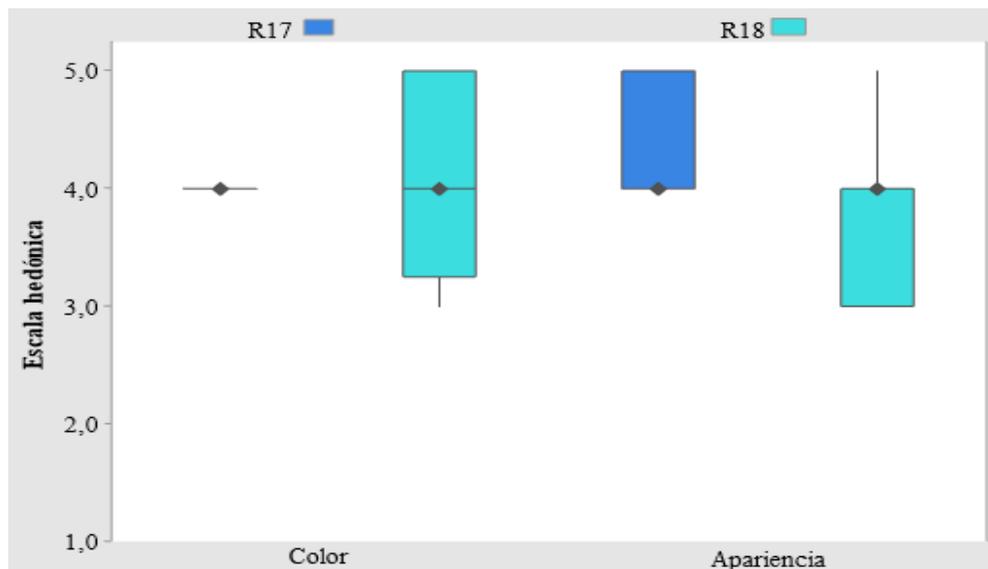
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Variación de condiciones de secado para el ensayo 5 sin tratamiento

Según la figura 4.18, se procedió a realizar evaluación sensorial de dos muestras variando las condiciones de secado del ensayo sin tratamiento para elegir el atributo color y apariencia; utilizando veinte jueces no entrenados en escala hedónica de cinco puntos.

4.2.2.22 Estadístico de caja y bigote de la variación de condiciones de secado del ensayo 5 sin tratamiento

En la figura 4.19, se muestra el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.25) y apariencia (tabla C.2.28) de datos extraídos del (Anexo C) del ensayo 5.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Caja y bigote para el atributo color y apariencia del ensayo 5 sin tratamiento

En la figura 4.19, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color R17 (4,0) y apariencia R17 (4,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.2.2.23 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia del ensayo sin tratamiento

En la tabla 4.18, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos del Anexo C (tabla C.2.30).

Tabla 4.18

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
R18 – R17	0,50	0,50	Significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.18, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos R18 – R17 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada las pruebas variando las condiciones de secado del ensayo 5, se pudo evidenciar que la muestra R17 a temperatura de secado 55 °C y velocidad de aire 5 m/s presentó un contenido de humedad 0,051 (kg agua/kg sólido seco) en un tiempo de 340 minutos, para luego ser comparada con los demás tratamientos. Así mismo, finalizada la evaluación sensorial demostró una mediana de 4,0 para el atributo color y apariencia.

4.3 Variación del contenido de humedad en función del tiempo para las muestras de remolacha con tratamiento y sin tratamiento (natural)

Realizada la evaluación sensorial se seleccionaron las muestras (R04, R08, R12, R15 y R17) de las pruebas preliminares que presentaron diferencia significativa según el análisis estadístico y mayor preferencia por los jueces no entrenados. Las muestras (R04, R08, R12, R15 y R17) cambiaron su codificación por (S01, S02, S03, S04 y S05) para poder ser comparadas entre los tratamientos y elegir el tratamiento previo para las muestras de remolacha.

En la tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos de la muestra S01 en solución con ácido ascórbico para un tiempo de 225 minutos, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

Tabla 4.19

Variación del contenido de humedad en base seca en solución con ácido ascórbico

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}	Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}
0	70,097	7,518	120	11,397	0,385
15	56,782	5,900	135	10,638	0,293
30	41,522	4,046	150	9,523	0,157
45	30,725	2,734	165	9,291	0,129
60	22,813	1,772	180	9,119	0,108
75	17,592	1,138	195	8,994	0,093

90	13,886	0,687	210	8,943	0,087
105	12,624	0,534	225	8,918	0,084

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se muestran los resultados obtenidos de la muestra S02 en solución con ácido cítrico para un tiempo de 195 minutos, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

Tabla 4.20

Variación del contenido de humedad en base seca en solución con ácido cítrico

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}	Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}
0	70,104	7,518	105	9,641	0,171
15	50,925	5,188	120	9,218	0,120
30	35,563	3,321	135	9,047	0,099
45	25,136	2,054	150	8,874	0,078
60	17,682	1,148	165	8,723	0,060
75	13,345	0,621	180	8,637	0,049
90	10,977	0,334	195	8,615	0,047

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.21, se muestran los resultados obtenidos de la muestra S03 en solución con sorbato de potasio para un tiempo de 240 minutos, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

Tabla 4.21

Variación del contenido de humedad en base seca en solución con sorbato de potasio

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}	Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}
0	70,008	7,519	135	10,574	0,287
15	55,062	5,700	150	9,813	0,194
30	43,644	4,311	165	8,984	0,093
45	33,617	3,091	180	8,742	0,064
60	25,585	2,113	195	8,551	0,041
75	20,036	1,438	210	8,439	0,027
90	16,422	0,998	225	8,337	0,014
105	13,971	0,700	240	8,313	0,012
120	11,876	0,445	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se muestran los resultados obtenidos de la muestra S04 con tratamiento de escaldado para un tiempo de 240 minutos, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

Tabla 4.22

Variación del contenido de humedad en base seca con tratamiento de escaldado

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}	Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}
0	70,084	7,518	135	9,763	0,187
15	56,652	5,885	150	9,546	0,160
30	39,213	3,766	165	9,239	0,123
45	28,217	2,429	180	9,155	0,113
60	20,219	1,457	195	8,974	0,091
75	15,393	0,871	210	8,717	0,059
90	12,642	0,536	225	8,638	0,050
105	10,996	0,336	240	8,597	0,045
120	9,821	0,194	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se muestran los resultados obtenidos de la muestra S05 sin tratamiento (natural) para un tiempo de 195 minutos, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2).

Tabla 4.23

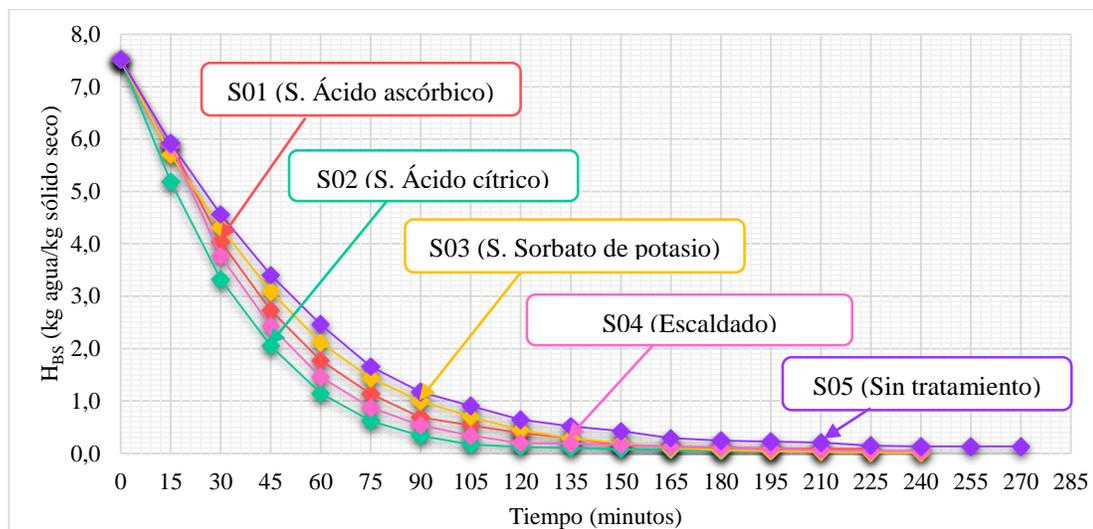
Variación del contenido de humedad en base seca para la muestra sin tratamiento

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}	Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS}
0	70,002	7,518	150	11,723	0,426
15	56,891	5,923	165	10,591	0,289
30	45,692	4,560	180	10,211	0,242
45	36,212	3,406	195	10,046	0,222
60	28,436	2,460	210	9,893	0,204
75	21,832	1,657	225	9,430	0,147
90	17,837	1,170	240	9,326	0,135
105	15,662	0,906	255	9,318	0,134
120	13,478	0,640	270	9,299	0,132
135	12,435	0,513	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.20, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de remolacha con tratamiento por inmersión: en

solución con ácido ascórbico (S01), ácido cítrico (S02), sorbato de potasio (S03), escaldado (S04) y sin tratamiento (S05). Por lo cual, se tomaron datos en determinado tiempo de 15 minutos, en condiciones de temperatura de secado 55 °C, velocidad de aire 5 m/s y corte 0,2 mm, en base a datos de la tabla 4.19, tabla 4.20, tabla 4.21, tabla 4.22 y tabla 4.23.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Variación del contenido de humedad en función del tiempo de secado

Según la figura 4.20, se observan la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las pruebas ideales en condiciones de temperatura 55 °C, velocidad de aire 5 m/s y corte 0,2 cm. Para tal efecto, la muestra S02 para un tiempo de 195 minutos contiene 0,047 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra S01 para un tiempo de 225 minutos contiene 0,084 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra S03 para un tiempo de 240 minutos contiene 0,012 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra S04 para un tiempo de 240 minutos contiene 0,045 (kg agua/kg sólido seco) y finalmente para la muestra S05 se observa para un tiempo de 270 minutos contiene humedad 0,132 (kg agua/kg sólido seco).

En base a la muestra que presenta menos contenido de humedad al menor tiempo de secado, por lo cual, se procedió a elegir a la muestra S02 tratada con solución en ácido cítrico como pretratamiento previo para las muestras de remolacha para la obtención de harina; ya que presenta menor tiempo de secado en comparación con las demás muestras

además de realzar el color del mismo. Así mismo, se procedió a tomar en cuenta la muestra sin tratamiento (S05) con la finalidad de determinar si existen diferencias durante el proceso de secado.

4.4 Diseño experimental en el proceso de secado en solución con ácido cítrico

En base a la muestra ideal (S02), se procedió a aplicar de manera experimental el diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para la elaboración de harina de remolacha, donde se tomaron en cuenta las variables: temperatura entre (50,0 – 60,0) °C, velocidad del aire entre (4,5 – 5,5) m/s y corte (0,1 – 0,3) cm. Así mismo, se tomó como variable respuesta al contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco) empleando la termobalanza y su metodología aplicada se detalla en el Anexo G.

4.4.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.24, se observan las variables controladas durante el proceso de secado de las muestras de remolacha y los resultados de la variable respuesta del contenido de humedad en base seca.

Tabla 4.24

Contenido de humedad en base seca de muestras de remolacha en el proceso de secado con solución de ácido cítrico

Combinación de tratamientos	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Corte (cm)			
	A	B	C			
(1)	50,0	4,5	0,1	0,046	0,049	0,095
A	60,0	4,5	0,1	0,015	0,065	0,080
B	50,0	5,5	0,1	0,034	0,064	0,098
C	50,0	4,5	0,3	0,142	0,103	0,245
AB	60,0	5,5	0,1	0,086	0,036	0,122
AC	60,0	4,5	0,3	0,062	0,077	0,139
BC	50,0	5,5	0,3	0,079	0,084	0,163
ABC	60,0	5,5	0,3	0,053	0,074	0,127

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.1 Análisis de varianza del diseño experimental para las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico

En base al diseño factorial 2^3 aplicado en el proceso de secado se realizó el análisis de varianza en función de la variable respuesta del contenido de humedad en base seca (tabla 4.25), resultados obtenidos del programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI) para Windows y son detallados en el Anexo G.5.

Tabla 4.25

Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad

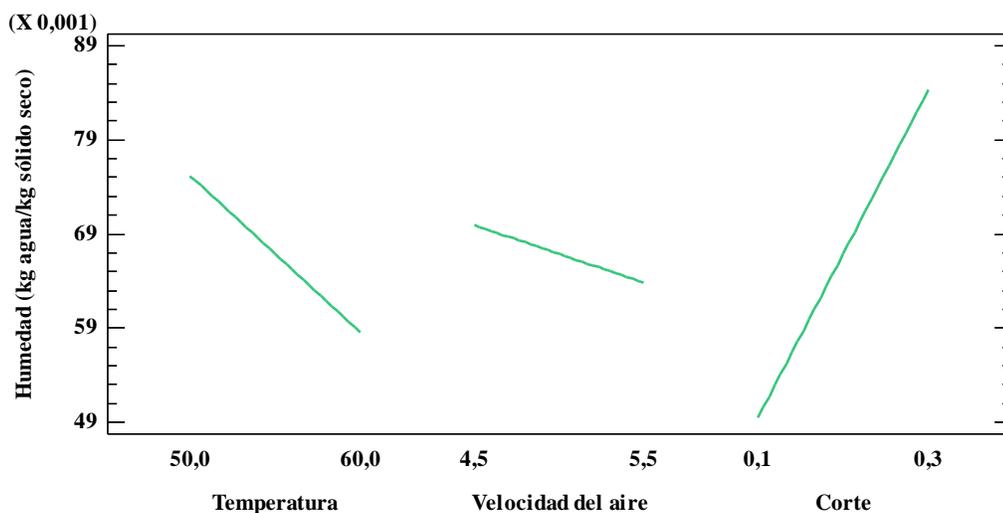
Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	0,0011	1	0,0011	2,18	5,32
Factor B	0,0002	1	0,0002	0,30	5,32
Factor C	0,0049	1	0,0049	9,59*	5,32*
Interacción AB	0,0007	1	0,0007	1,46	5,32
Interacción AC	0,0014	1	0,0014	2,81	5,32
Interacción BC	0,0012	1	0,0012	2,38	5,32
Interacción ABC	0,0001	1	0,0001	0,12	5,32
Error total	0,0041	8	0,0005	-	-
Total	0,0136	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

*Significativo

En la tabla 4.25, se observa que entre los factores A y B, e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe diferencia significativa; ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor C existe diferencia significativa en el proceso de secado; ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza 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 (corte) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco).

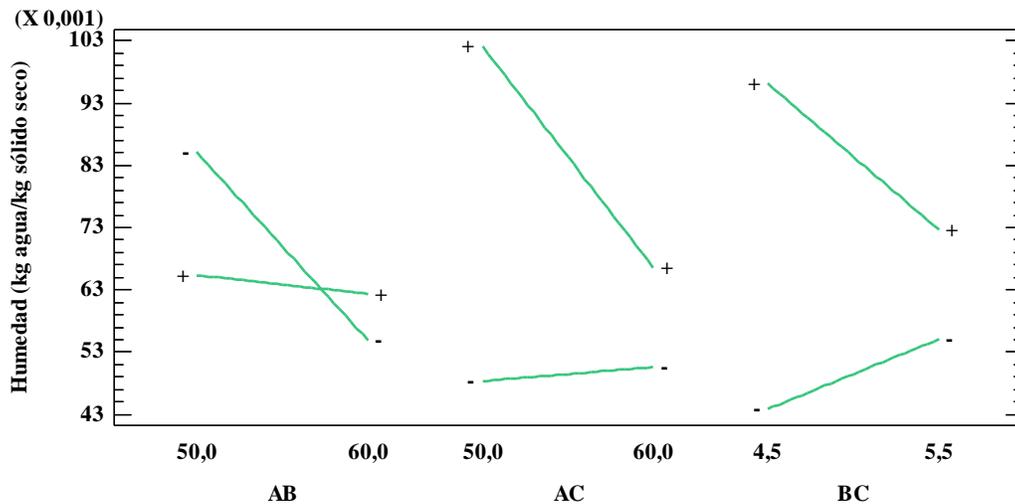


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Efectos principales para el contenido de humedad

En la figura 4.21, se observa que los factores: C (corte) entre valores de (0,1 – 0,3) cm y factor A (temperatura) entre valores de (50,0 – 60,0) °C influyen significativamente sobre la variable respuesta del contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en sus niveles alto y bajo. Sin embargo, el factor B (velocidad del aire) entre valores de (4,5 – 5,5) m/s no incide significativamente en su nivel alto y bajo; debido a que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

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

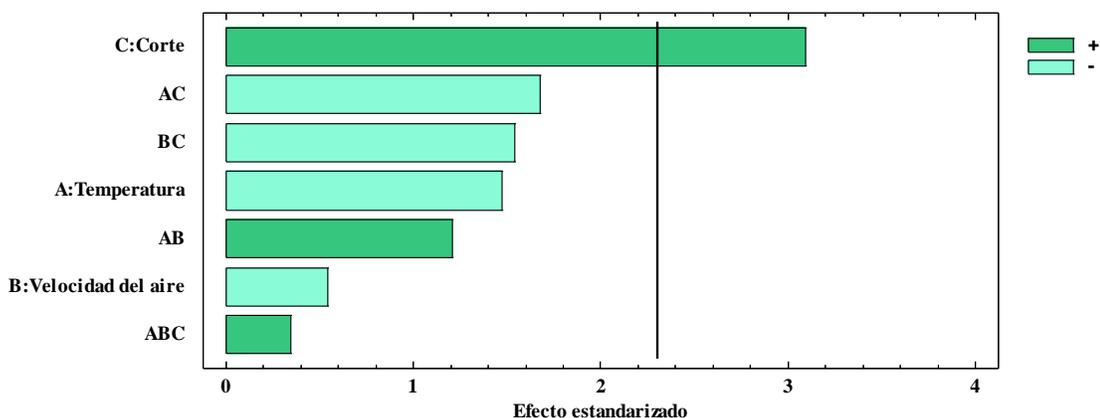


Fuente: Elaboración propia

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

En la figura 4.22, se puede observar que la interacción AB es significativo debido las variables interaccionan entre sí, para una temperatura de 50,0 °C, el contenido de humedad se ve afectado cuando el factor B (velocidad del aire) se encuentre en su nivel alto y bajo (4,5 – 5,5) m/s; sin embargo, a una temperatura 60,0 °C el factor B (velocidad del aire) 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 50,0 °C el contenido de humedad se ve afectado por el factor C (corte) cuando se encuentre en su nivel alto y bajo (0,1 – 0,3) cm; sin embargo, para una temperatura de 60,0 °C el contenido de humedad es mínimo cuando el factor C (corte) se encuentra en su nivel alto y bajo. Por otro lado, la interacción BC a velocidad de 4,5 m/s el contenido de humedad se ve afectado cuando el factor C (corte) se encuentra en su nivel alto y bajo (0,1 – 0,3) cm; sin embargo, para una velocidad de 5,5 m/s el contenido de humedad es mínimo cuando el factor C (corte) 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 la línea vertical de referencia con un valor 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

Según la figura 4.23, se puede observar que el factor C (corte) excede la línea de referencia, por tanto, es estadísticamente significativo en comparación con los factores: B (velocidad del aire), A (temperatura) e interacciones AB (temperatura – velocidad del aire), AC (temperatura – corte), ABC (temperatura – velocidad del aire – corte) y BC (velocidad del aire – corte) ya que no son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.1.2 Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico

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 remolachas con solución de ácido cítrico y de datos extraídos de la tabla D.1.3. (Anexo D).

$$\text{Humedad} = 0,09575 - 0,0037625*A - 0,036*B + 4,2125*C + 0,001175*A*B - 0,057625*A*C - 0,6*B*C + 0,00775*A*B*C \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

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

4.4.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico

En el proceso de secado las muestras de remolacha se elaboraron a nivel experimental ocho muestras con solución de ácido cítrico, donde las variables tomadas en cuenta se describen en la tabla 4.26.

Tabla 4.26

Muestras de remolacha con solución de ácido cítrico

Muestras	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Corte (cm)
TC1	50,0	4,5	0,1
TC2	60,0	4,5	0,1
TC3	50,0	5,5	0,1
TC4	60,0	5,5	0,1
TC5	50,0	4,5	0,3
TC6	60,0	4,5	0,3
TC7	50,0	5,5	0,3
TC8	60,0	5,5	0,3

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.27, se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha; datos extraídos de la tabla D.1.7 (Anexo D).

Tabla 4.27

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	50,0	60,0	60,0
Velocidad del aire (B)	4,5	5,5	4,5
Corte (C)	0,1	0,3	0,1

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.27, se observan los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha son: temperatura (60,0°C), velocidad del aire (4,5 m/s) y corte (0,1 cm). Por lo tanto, la muestra TC2 minimiza el contenido de humedad en base.

En base al valor óptimo de 0,04 (kg agua/kg sólido seco) entre los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca se optó por elegir la muestra TC5 debido

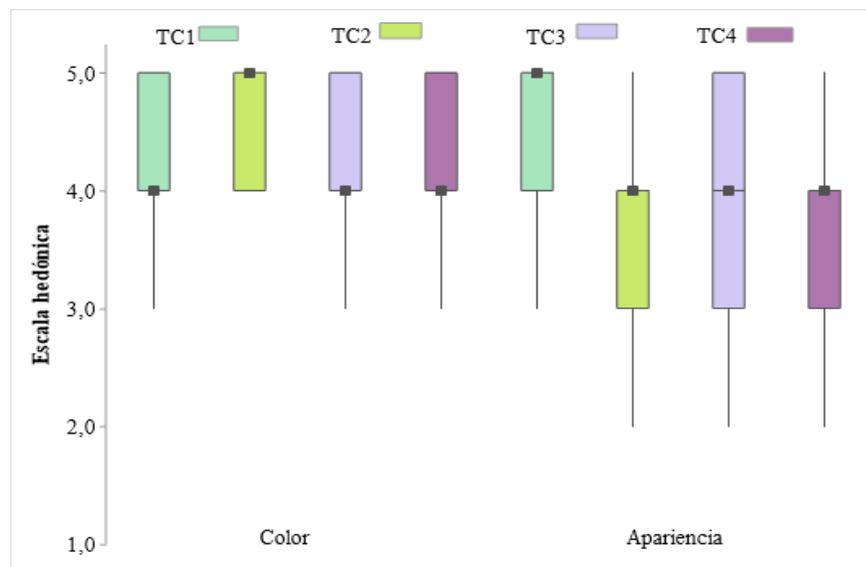
a que minimiza el contenido de humedad en base seca, por esta razón, se considera como una muestra ganadora, para tiempo 190 minutos presenta 0,066 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.2 Selección del producto final de harina de remolacha con solución de ácido cítrico

Realizado el diseño factorial 2^3 de la muestra ideal (S02) para el nivel inferior se cambió su codificación por TC1, TC2, TC3 y TC4; para el nivel superior por TC5, TC6, TC7 y TC8. Así mismo, se utilizó un test de escala hedónica de cinco puntos con la finalidad de elegir el producto final.

4.4.2.1 Estadístico de caja y bigote del nivel inferior con solución de ácido cítrico

En la figura 4.24, se muestran el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.31) y apariencia (tabla C.2.34) de datos extraídos del (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Caja y bigote para el atributo color y apariencia con solución de ácido cítrico

En la figura 4.24, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color TC2 (5,0) y apariencia TC1 (5,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.4.2.2 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.28, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia (tabla C.2.33) de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.28

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

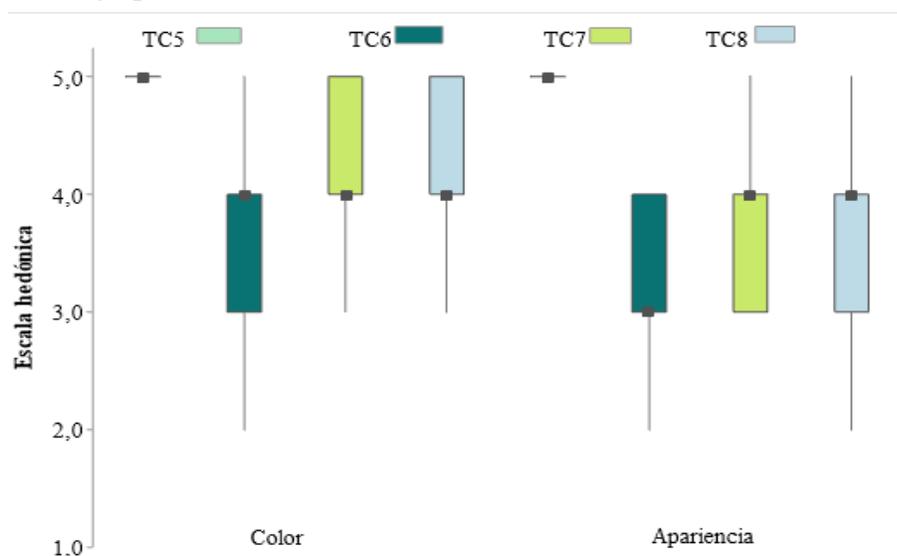
Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
TC1 – TC3	0,65	0,55	Significativo
TC1 – TC2	0,96	0,55	No significativo
TC1 – TC4	1,00	0,55	Significativo
TC3 – TC2	0,30	0,55	No significativo
TC3 – TC4	0,35	0,55	No significativo
TC2 – TC4	0,04	0,55	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.28, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos TC1 – TC3 y TC1 – TC4. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras TC1 – TC2, TC3 – TC2, TC3 – TC4 y TC2 – TC4 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.2.3 Estadístico de caja y bigote del nivel superior con solución de ácido cítrico

En la figura 4.25, se muestra el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.37) y apariencia (tabla C.2.40) de datos extraídos del (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Caja y bigote para el atributo color y apariencia con solución de ácido cítrico

En la figura 4.25, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color TC5 (5,0) y apariencia TC5 (5,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.4.2.4 Estadísticos de Tukey del atributo color con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.29, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color (tabla C.2.39) de datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.29

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
TC5 – TC7	0,52	0,49	Significativo
TC5 – TC8	0,78	0,49	Significativo
TC5 – TC6	1,09	0,49	Significativo
TC7 – TC8	0,26	0,49	No significativo
TC7 – TC6	0,57	0,49	Significativo
TC8 – TC6	0,30	0,49	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.29, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos TC5 – TC7, TC5 – TC8, TC5 – TC6 y TC7 – TC6. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras TC7 – TC8 y TC8 – TC6 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.2.5 Estadístico de Tukey del atributo apariencia con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.30, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia (tabla C.2.42) de datos extraídos de Anexo C.

Tabla 4.30

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
TC5 – TC7	0,96	0,62	Significativo
TC5 – TC8	1,13	0,62	Significativo
TC5 – TC6	1,83	0,62	Significativo
TC7 – TC8	0,17	0,62	No significativo
TC7 – TC6	0,87	0,62	Significativo
TC8 – TC6	0,70	0,62	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.30, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos TC5 – TC7, TC5 – TC8, TC5 – TC6, TC7 – TC6 y TC8 – TC6. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre la muestra TC7 – TC8 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada las pruebas del diseño para el nivel inferior y superior con solución de ácido cítrico, se pudo evidenciar que la muestra TC5 a concentración 0,35 % y temperatura de 35 °C con tiempo de inmersión de 12 minutos para tiempo de secado 190 minutos presentó 0,245 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, finalizada la evaluación sensorial demostró una mediana de (5,0) para el atributo color y apariencia.

4.5 Diseño experimental en el proceso de secado sin tratamiento

En base a la muestra ideal (S05), se procedió a aplicar de manera experimental el diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para la elaboración de harina de remolacha, donde se tomaron en cuenta las variables: temperatura entre (50,0 – 60,0) °C, velocidad del aire entre (4,5 – 5,5) m/s y corte (0,1 – 0,3) cm. Así mismo, se tomó como variable respuesta al contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco) empleando la termobalanza y su metodología aplicada se detalla en el Anexo D

4.5.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para las muestras de remolacha sin tratamiento

En la tabla 4.31, se observan las variables controladas durante el proceso de secado de las muestras de remolacha y los resultados de la variable respuesta del contenido de humedad en base seca.

Tabla 4.31

Contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha sin tratamiento en el proceso de secado

Combinación de tratamientos	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Corte (cm)			
	A	B	C			
(1)	50,0	4,5	0,1	0,230	0,187	0,417
A	60,0	4,5	0,1	0,202	0,012	0,214
B	50,0	5,5	0,1	0,050	0,159	0,209
C	50,0	4,5	0,3	0,125	0,104	0,229
AB	60,0	5,5	0,1	0,352	0,061	0,413
AC	60,0	4,5	0,3	0,168	0,108	0,276
BC	50,0	5,5	0,3	0,064	0,157	0,221
ABC	60,0	5,5	0,3	0,145	0,249	0,394

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.1 Análisis de varianza del diseño experimental para las muestras de remolacha sin tratamiento

En base al diseño factorial 2^3 aplicado en el proceso de secado se realizó el análisis de varianza en función de la variable respuesta del contenido de humedad en base seca (tabla 4.32), resultados obtenidos del programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI) para Windows y son detallados en el Anexo G.5.

Tabla 4.32

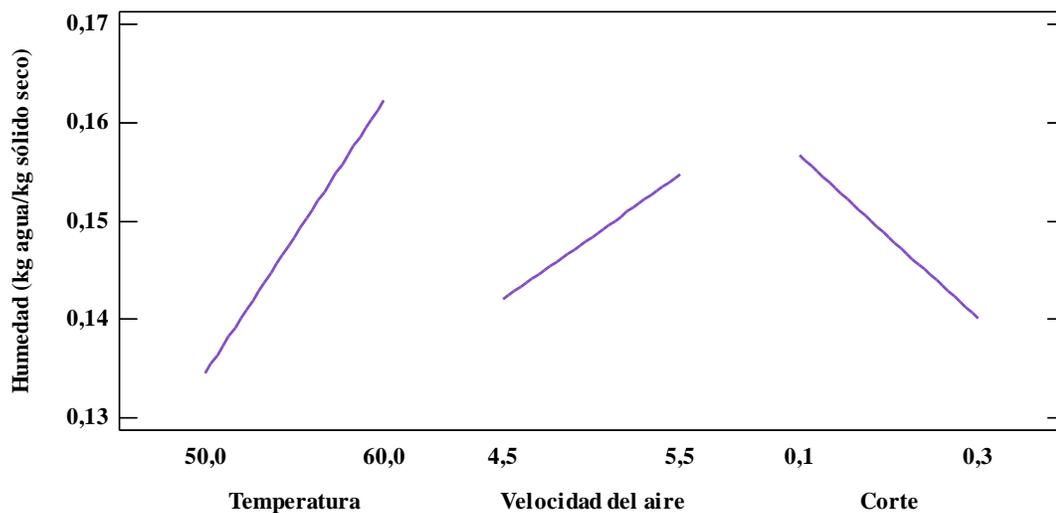
Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	0,0031	1	0,0031	0,31	5,32
Factor B	0,0006	1	0,0006	0,06	5,32
Factor C	0,0011	1	0,0011	0,11	5,32
Interacción AB	0,0178	1	0,0178	1,80	5,32
Interacción AC	0,0030	1	0,0030	0,30	5,32
Interacción BC	0,0009	1	0,0009	0,09	5,32
Interacción ABC	0,0049	1	0,0049	0,50	5,32
Error total	0,0790	8	0,0099	-	-
Total	0,1104	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza en la tabla 4.32, se observa que los factores (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe diferencia significativa; ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.26, se muestran los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad del aire) y C (corte) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco).

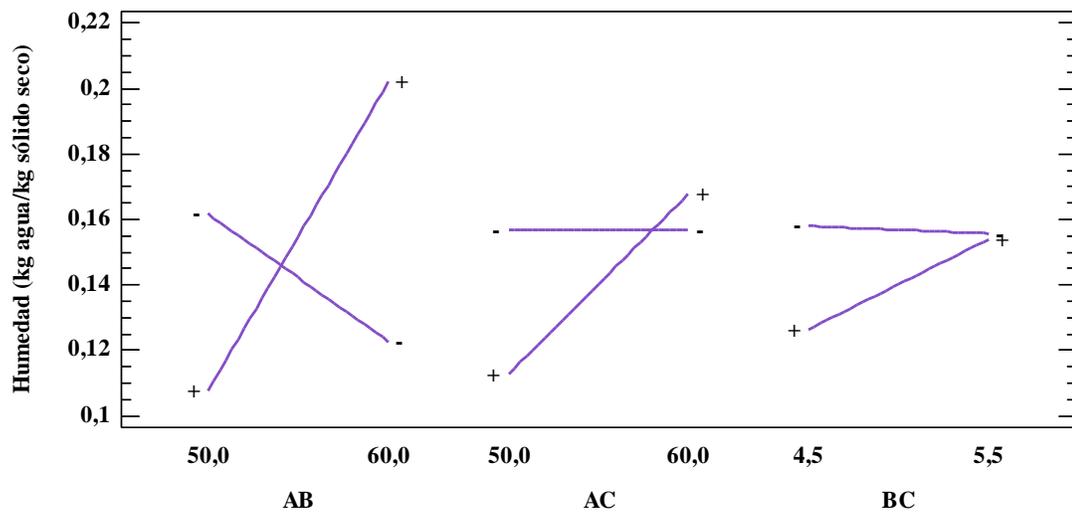


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Efectos principales para el contenido de humedad

En la figura 4.26, se observa que el factor A (temperatura) entre valores (50,0 – 60,0) °C influyen significativamente sobre la variable respuesta del contenido de humedad en base seca cuando se encuentre en su nivel alto y bajo. Por otro lado el factor B (velocidad del aire) entre valores (4,5 – 5,5) m/s y el factor C (corte) entre valores (0,1 – 0,3) cm, no inciden significativamente en sus niveles alto y bajo; debido a que el efecto de los factores en la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la figura 4.27, se muestran las interacciones para los factores: AB (temperatura – velocidad del aire), AC (temperatura – corte) y BC (velocidad del aire – corte), en función la variable respuesta contenido de humedad en base seca.



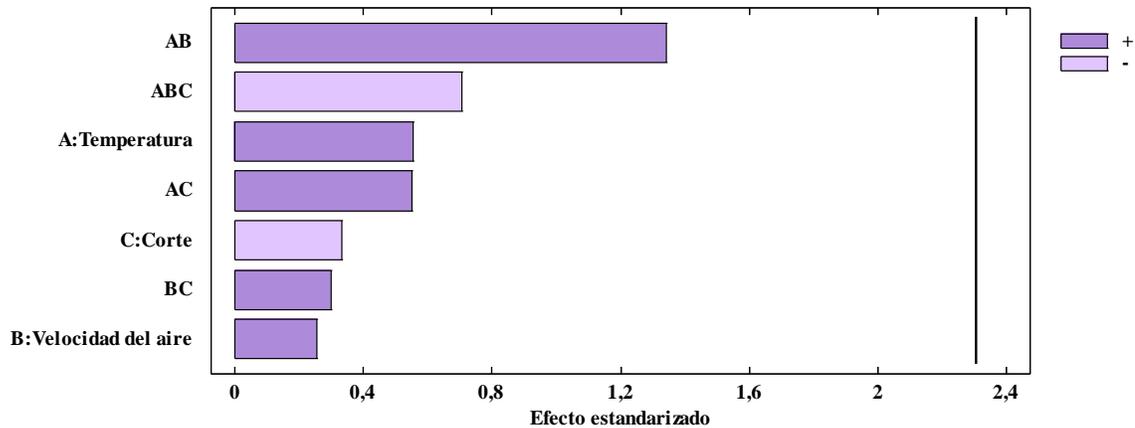
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca

Según la figura 4.27, se puede observar que la interacción AB para una temperatura de 50,0 °C el contenido de humedad es mínimo cuando el factor B (velocidad del aire) se encuentre en su nivel alto y bajo (4,5 – 5,5) m/s (corte); sin embargo a una temperatura de 60,0 °C el contenido de humedad se ve afectado por el corte cuando se encuentre en su nivel alto y bajo. Así mismo, para a interacción AC para una temperatura de 50,0 °C el contenido de humedad es mínimo cuando el factor C (corte) se encuentra en su nivel alto y bajo (0,1 – 0,3) cm; sin embargo a una temperatura de 60,0 °C el contenido de humedad se ve afectado por el corte cuando se encuentre en su nivel alto y bajo. Por otro lado la interacción BC es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí, para una velocidad de aire a 5,5 m/s el corte no afecta significativamente debido a que el contenido de humedad no cambia cuando se encuentra en su nivel alto y bajo; sin embargo, cuando disminuye la velocidad a 4,5 m/s el contenido de humedad se ve afectado significativamente cuando el corte se encuentra en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.28, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306) de

tal manera si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad

Según la figura 4.28, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: A (temperatura), B (velocidad del aire), C (corte) e interacciones AB (temperatura – velocidad del aire), AC (temperatura – corte), ABC (temperatura-velocidad del aire – corte), BC(velocidad del aire – corte) no son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.5.1.2 Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha en solución con ácido cítrico

Según la ecuación (3.2) del modelo de regresión para un diseño 2^k ; en la ecuación (4.2) 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 remolachas en solución con ácido cítrico, de datos extraídos de la tabla D.2.3 (Anexo D).

$$\text{Humedad} = 7,92788 - 0,139588*A - 1,52275*B - 21,6513*C + 0,027375*A*B + 0,378625*A*C + 4,0125*B*C - 0,07025*A*B*C \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

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

4.5.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de remolacha sin tratamiento

En el proceso de secado las muestras de remolacha se elaboraron a nivel experimental ocho muestras en solución con ácido cítrico, donde las variables tomadas en cuenta se describen en la tabla 4.33.

Tabla 4.33

Muestras de remolacha sin tratamiento

Muestras	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Corte (cm)
T01	50,0	4,5	0,1
T02	60,0	4,5	0,1
T03	50,0	5,5	0,1
T04	60,0	5,5	0,1
T05	50,0	4,5	0,3
T06	60,0	4,5	0,3
T07	50,0	5,5	0,3
T08	60,0	5,5	0,3

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.34, se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha; datos extraídos de la tabla D.2.7 (Anexo D).

Tabla 4.34

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	50,0	60,0	50,0
Velocidad del aire (B)	4,5	5,5	5,5
Corte (C)	0,1	0,3	0,1

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.34, se observan los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de remolacha son: temperatura (50,0°C), velocidad del aire (4,5 m/s) y corte (0,1 cm). Por lo tanto, la muestra T03 con minimiza el contenido de humedad en base.

En base al valor óptimo de 0,1045 (kg agua/kg sólido seco) entre los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca se optó por la muestra T04, por esta

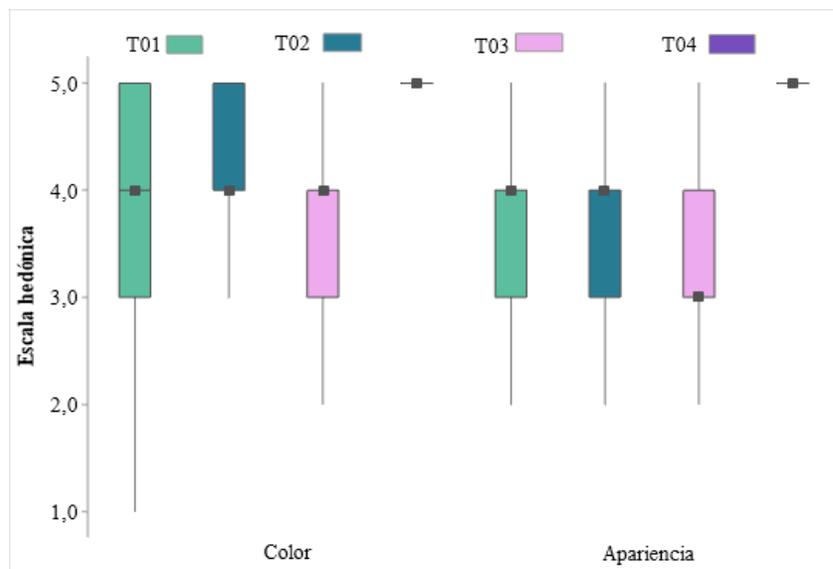
razón se considera como muestra ganadora, para tiempo 260 minutos presenta 0,061 (kg agua/kg sólido seco).

4.5.2 Selección del producto final de harina de remolacha sin tratamiento

Realizado el diseño factorial 2^3 de la muestra ideal (S05) para el nivel inferior se cambió su codificación por T01, T02, T03 y T04; para el nivel superior por T05, T06, T07 y T08. Así mismo, se utilizó un test de escala hedónica de cinco puntos con la finalidad de elegir el producto final.

4.5.2.1 Estadístico de caja y bigote del nivel inferior sin tratamiento

En la figura 4.29, se muestra el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.43) y apariencia (tabla C.2.46) de datos extraídos del (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Caja y bigote para el atributo color y apariencia sin tratamiento

En la figura 4.29, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color T04 (5,0) y apariencia T04 (5,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.5.2.2 Estadístico de Tukey del atributo color para las muestras sin tratamiento

En la tabla 4.35, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo color (tabla C.2.45) de datos extraídos de Anexo C.

Tabla 4.35

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
T04 – T02	0,70	0,56	Significativo
T04 – T03	1,00	0,56	Significativo
T04 – T01	1,13	0,56	Significativo
T02 – T03	0,30	0,56	No significativo
T02 – T01	0,43	0,56	No significativo
T03 – T01	0,13	0,56	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.35, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos T04 – T02, T04 – T03 y T04 – T01. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras T02 – T03, T02 – T01 y T03 – T01 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.5.2.3 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia para las muestras sin tratamiento

En la tabla 4.36, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C (Tabla C.2.48), para el atributo apariencia.

Tabla 4.36

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

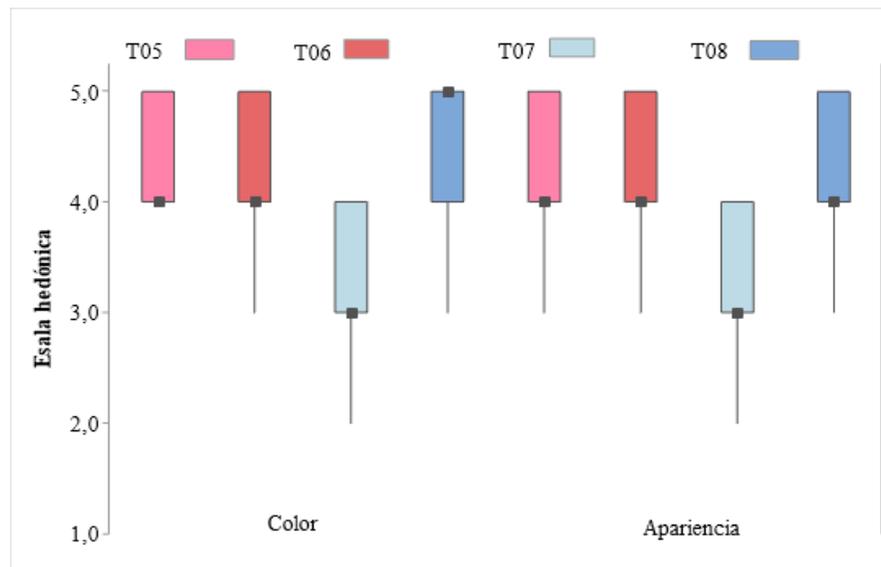
Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
T04 – T01	1,04	0,43	Significativo
T04 – T02	1,22	0,43	Significativo
T04 – T03	1,39	0,43	Significativo
T01 – T02	0,17	0,43	No significativo
T01 – T03	0,35	0,43	No significativo
T02 – T03	0,17	0,43	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.36, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos T04 – T01, T04 – T02 y T04 – T03. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras T01 – T02, T01 – T03 y T02 – T03 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.5.2.4 Estadístico de caja y bigote del nivel superior sin tratamiento

En la figura 4.30, se muestra el estadístico caja y bigote para el atributo color (tabla C.2.49) y apariencia (tabla C.2.52) de datos extraídos del (Anexo C)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Caja y bigote para el atributo color y apariencia sin tratamiento

En la figura 4.30, se puede observar los resultados en función de la mediana para el atributo color T08 (4,0) y apariencia T08 (5,0). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza en donde se pudo evidenciar que si existe diferencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ entre las muestras en función de los atributos evaluados.

4.5.2.5 Estadístico de Tukey para el atributo color en las pruebas sin tratamiento

En la tabla 4.37, se muestra el resultado del análisis estadístico de Tukey para el atributo color (tabla C.2.51) de datos extraídos de Anexo C.

Tabla 4.37

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
T08 – T05	0,17	0,46	No significativo
T08 – T06	0,30	0,46	No significativo
T08 – T07	1,22	0,46	Significativo
T05 – T06	0,13	0,46	No significativo
T05 – T07	1,04	0,46	Significativo
T06 – T07	0,91	0,46	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.37, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos T08 – T07, T05 – T07 y T06 – T07. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras T08 – T05, T08 – T06 y T05 – T06 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.5.2.6 Estadísticos de Tukey para el atributo apariencia en las pruebas sin tratamiento

En la tabla 4.38, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia (tabla C.2.54) de datos extraídos de Anexo C.

Tabla 4.38

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
T06 – T08	0,04	0,48	No significativo
T06 – T05	0,22	0,48	No significativo
T06 – T07	1,17	0,48	Significativo
T08 – T05	0,17	0,48	No significativo
T08 – T07	1,13	0,48	Significativo
T05 – T07	0,96	0,48	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.38, se observa que si existe diferencia estadística entre los tratamientos T06 – T07, T08 – T07 y T05 – T07. Sin embargo, no existe diferencia estadística entre las muestras T06 – T08, T06 – T05 y T08 – T05 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada las pruebas del diseño para el nivel inferior y superior sin tratamiento, se pudo evidenciar que la muestra T04 presentó un contenido de humedad 0,061 (kg agua/kg sólido seco) en un tiempo de 260 minutos. Así mismo, finalizada la evaluación sensorial demostró una mediana de (5,0) para el atributo color y apariencia.

4.6 Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en el proceso de secado de las muestra de remolacha

La variación del contenido de humedad se determinó a partir de la pérdida del peso que se registró durante el proceso de secado de las muestras, partiendo de un peso inicial (100 – 102) gramos de remolacha, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) del 88,26 % (CEANID, 2022) y la ecuación (2.2) para el cálculo de la masa del sólido seco. Para tal efecto, se analizó el contenido de humedad en base seca en función a las siguientes variables: temperatura (A), velocidad de aire (B) y corte (C), como se detalla en la tabla 4.39.

Tabla 4.39

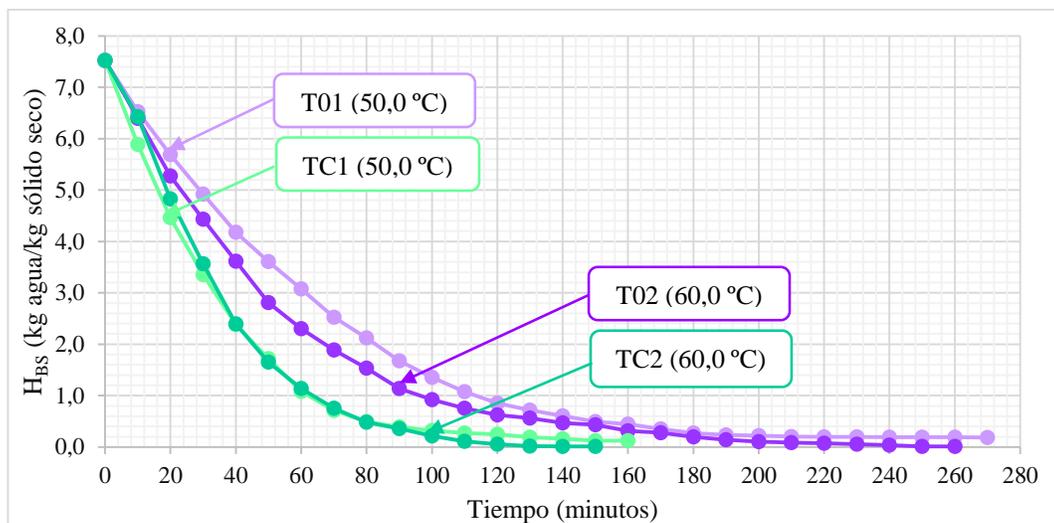
Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en base seca

Características	
Temperatura	$A_1 = 50,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
	$A_2 = 60,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Velocidad del aire	$B_1 = 4,5 \text{ m/s}$
	$B_2 = 5,5 \text{ m/s}$
Corte	$C_1 = 0,1 \text{ cm}$
	$C_2 = 0,3 \text{ cm}$

Fuente: Elaboración propia

4.6.1 Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (50,0 – 60,0) °C: B_1 (4,5 m/s) vs C_1 (0,1 cm)

En la figura 4.31, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC1 y TC2) y sin tratamiento (T01 y T02). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre (50,0 – 60,0) °C; manteniendo constantes la velocidad del aire B_1 (4,5 m/s) y corte C_1 (0,1 cm) y los resultados se detallan en la tabla E.6 y tabla E.7 (Anexo E).



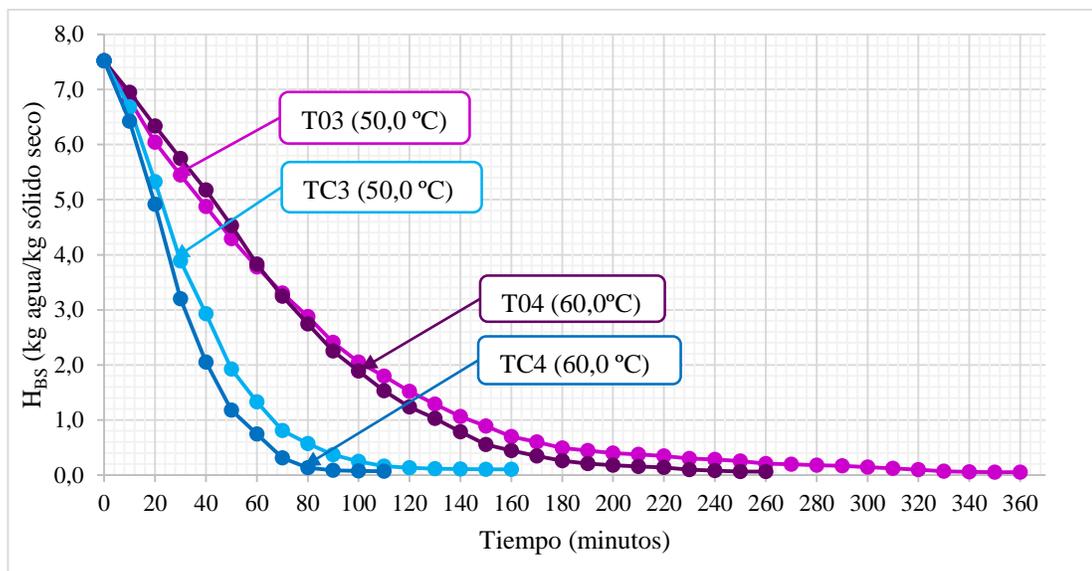
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Variación del contenido de humedad con la temperatura $A_{12}(50,0-60,0)^{\circ}\text{C}$ a $B_1(4,5 \text{ m/s})$ vs $C_1(0,1 \text{ cm})$

En la figura 4.31, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC1 y T01 a temperatura $50,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $4,5 \text{ m/s}$ y corte $0,1 \text{ cm}$; con tiempo 160 minutos TC1 presenta $0,046$ (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 270 minutos T01 presenta $0,230$ (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC2 y T02 a temperatura $60,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $4,5 \text{ m/s}$ y corte $0,1 \text{ cm}$; con tiempo 150 minutos TC2 presenta $0,015$ (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 260 minutos T02 presenta $0,202$ (kg agua/kg sólido seco).

4.6.2 Variación del contenido de humedad con la temperatura $A_{12}(50,0 - 60,0)^{\circ}\text{C}$: $B_2(5,5 \text{ m/s})$ vs $C_1(0,1 \text{ cm})$

En la figura 4.32, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC3 y TC4) y sin tratamiento (T03 y T04). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre $(50,0 - 60,0)^{\circ}\text{C}$; manteniendo constantes la velocidad del aire $B_2(5,5 \text{ m/s})$ y el corte $C_1(0,1 \text{ cm})$ y los resultados se detallan en la tabla E.8 y tabla E.9 (Anexo E).



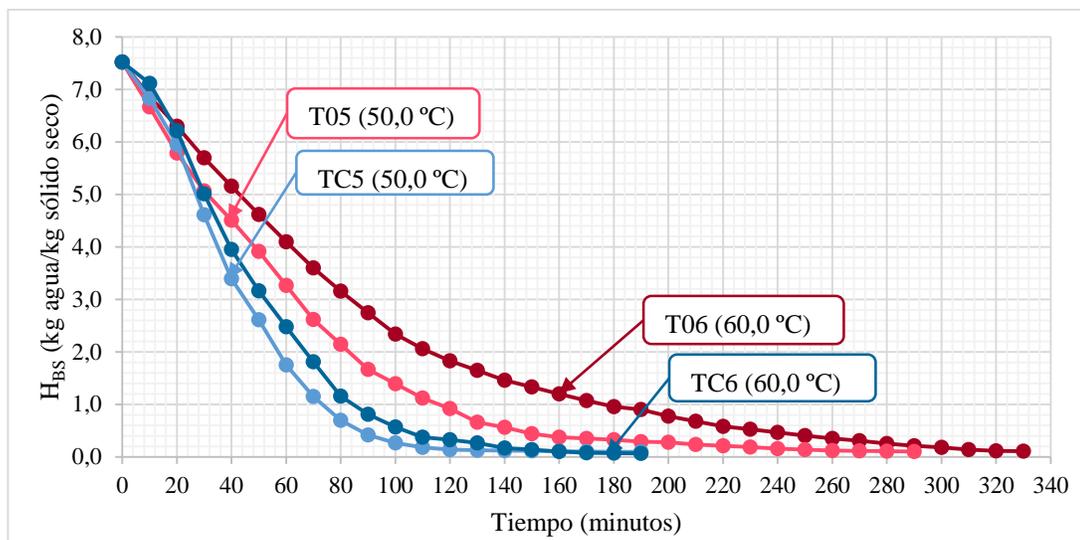
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Variación del contenido de humedad con la temperatura $A_{12}(50,0-60,0)^{\circ}\text{C}$ a $B_2(5,5 \text{ m/s})$ vs $C_1(0,1 \text{ cm})$

En la figura 4.32, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC3 y T03 a temperatura $50,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $5,5 \text{ m/s}$ y corte $0,1 \text{ cm}$; con tiempo 160 minutos TC3 presenta $0,034 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$ y para tiempo 360 minutos T03 presenta $0,050 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$. Por otro lado, las muestras TC4 y T04 a temperatura $60,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $5,5 \text{ m/s}$ y corte $0,1 \text{ cm}$; con tiempo 110 minutos TC4 presenta $0,086 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$ y tiempo 260 minutos T04 presenta $0,352 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$.

4.6.3 Variación del contenido de humedad con la temperatura $A_{12}(50,0 - 60,0)^{\circ}\text{C}$: $B_1(4,5 \text{ m/s})$ vs $C_2(0,3 \text{ cm})$

En la figura 4.33, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC5 y TC6) y sin tratamiento (T05 y T06). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre $(50,0 - 60,0)^{\circ}\text{C}$; manteniendo constantes la velocidad del aire $B_1(4,5 \text{ m/s})$ y el corte $C_2(0,3 \text{ cm})$ y los resultados se detallan en la tabla E.10 y tabla E.11 (Anexo E).



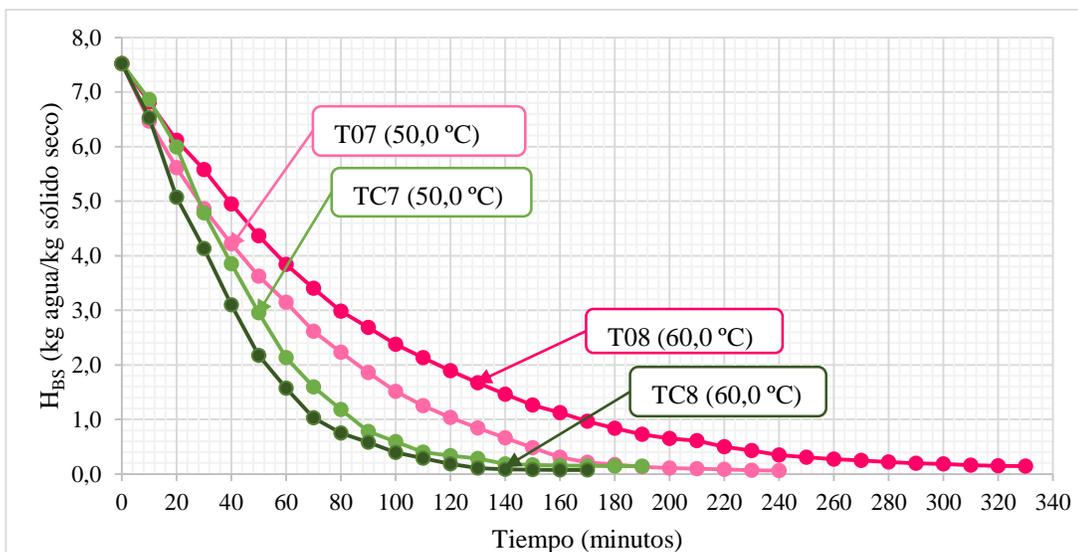
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Variación del contenido de humedad con la temperatura $A_{12}(50,0-60,0)^{\circ}\text{C}$ a $B_1(4,5 \text{ m/s})$ vs $C_2(0,3 \text{ cm})$

En la figura 4.33, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC5 y T05 a temperatura $50,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $4,5 \text{ m/s}$ y corte $0,3 \text{ cm}$; con tiempo 140 minutos TC5 presenta $0,142$ (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 270 minutos T05 presenta $0,125$ (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC6 y T06 a temperatura $60,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $4,5 \text{ m/s}$ y corte $0,3 \text{ cm}$; con tiempo 190 minutos TC6 presenta $0,062$ (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 330 minutos T06 presenta $0,168$ (kg agua/kg sólido seco).

4.6.4 Variación del contenido de humedad con la temperatura $A_{12}(50,0 - 60,0)^{\circ}\text{C}$: $B_2(5,5 \text{ m/s})$ vs $C_2(0,3 \text{ cm})$

En la figura 4.34, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC7 y TC8) y sin tratamiento (T07 y T08). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre $(50,0 - 60,0)^{\circ}\text{C}$; manteniendo constantes la velocidad del aire $B_2(5,5 \text{ m/s})$ y el corte $C_2(0,3 \text{ cm})$ y los resultados se detallan en la tabla E.12 y tabla E.13 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

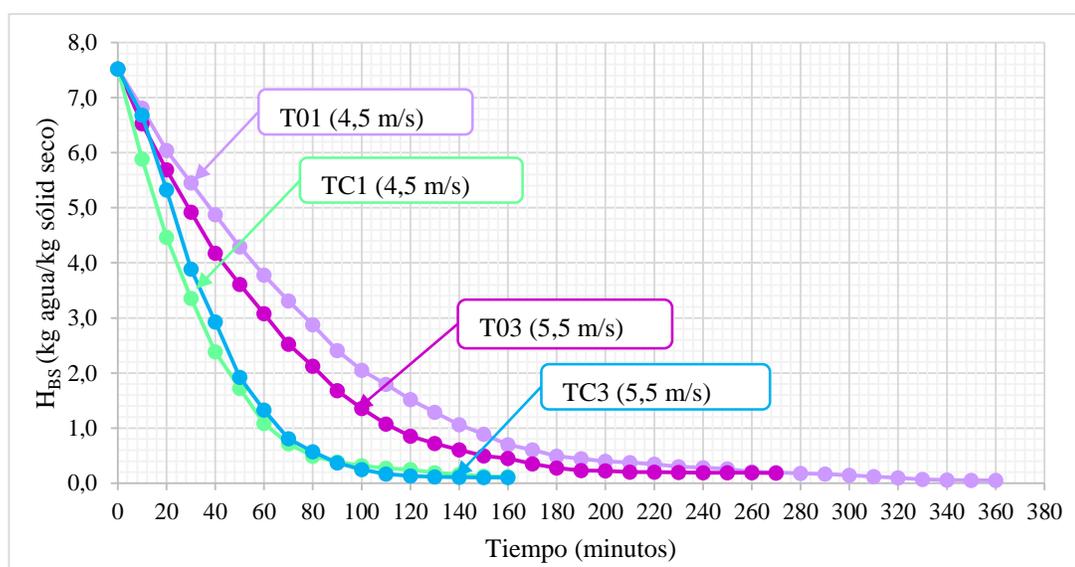
Figura 4.34: Variación del contenido de humedad con la temperatura $A_{12}(50,0-60,0)^{\circ}\text{C}$ a $B_2(5,5 \text{ m/s})$ vs $C_2(0,3 \text{ cm})$

En la figura 4.34, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC7 y T07 a temperatura $50,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $5,5 \text{ m/s}$ y corte $0,3 \text{ cm}$; con tiempo 190 minutos TC7 presenta $0,079 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$ y para tiempo 240 minutos T07 presenta $0,064 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$. Por otro lado, las muestras TC8 y T08 a temperatura $60,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $5,5 \text{ m/s}$ y corte $0,3 \text{ cm}$; con tiempo 170 minutos TC8 presenta $0,053 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$ y tiempo 330 minutos T08 presenta $0,145 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$.

En base a la variación de temperatura $A_1(50,0^{\circ}\text{C})$ a $A_2(60,0^{\circ}\text{C})$ las muestras con solución de ácido cítrico se ven favorecidas en la disminución de tiempo de secado y contenido de humedad en base seca, en donde se pudo evidenciar que la muestra TC4 a temperatura $60,0^{\circ}\text{C}$, velocidad del aire $5,5 \text{ m/s}$ y corte $0,1 \text{ cm}$ y tiempo 110 minutos presenta $0,086 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$. Así mismo, la variación de temperatura para las muestras sin tratamiento no es muy significativa; ya que no influye en el tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.

4.6.5 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B_{12} (4,5 – 5,5) m/s: A_1 (50,0 °C) vs C_1 (0,1 cm)

En la figura 4.35, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC1 y TC3) y sin tratamiento (T01 y T03). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando velocidad del aire entre (4,5 – 5,5) m/s; manteniendo constantes la temperatura A_1 (50,0 °C) y el corte C_1 (0,1 cm) y los resultados se detallan en la tabla E.14 y tabla E.15 (Anexo E).



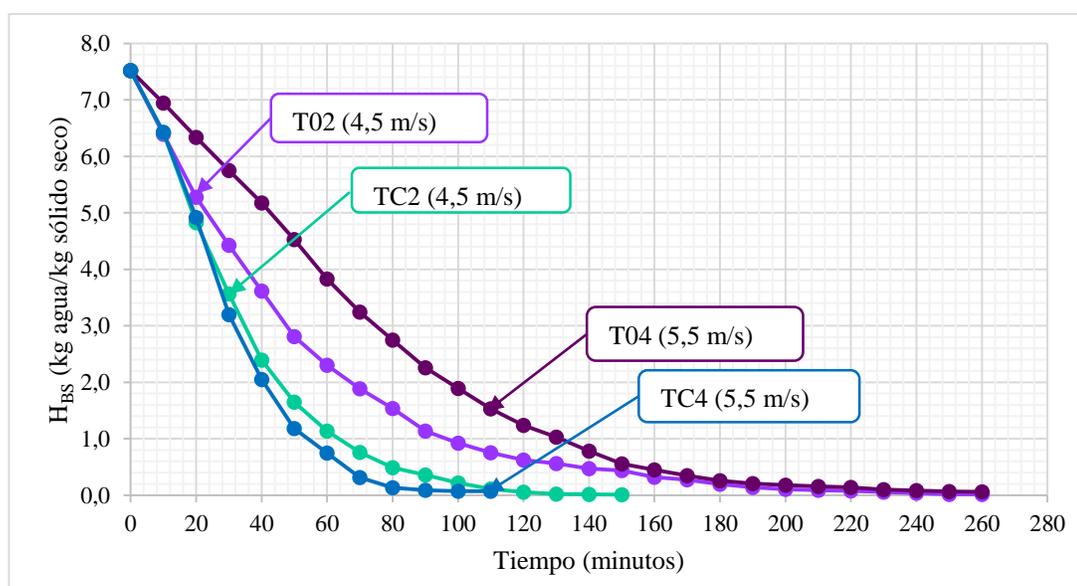
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B_{12} (4,5 – 5,5) m/s a A_1 (50,0 °C) vs C_1 (0,1 cm)

En la figura 4.35, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC1 y T01 a temperatura 50,0 °C, velocidad del aire 4,5 m/s y corte 0,1 cm; con tiempo 160 minutos TC1 presenta 0,046 (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 270 minutos T01 presenta 0,230 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC3 y T03 a temperatura 50,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,1 cm; con tiempo 160 minutos TC3 presenta 0,034 (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 360 minutos T03 presenta 0,050 (kg agua/kg sólido seco).

4.6.6 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire $B_{12}(4,5 - 5,5)\text{m/s}$: $A_2(60,0\text{ }^\circ\text{C})$ vs $C_1(0,1\text{ cm})$

En la figura 4.36, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC2 y TC4) y sin tratamiento (T02 y T04). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando velocidad del aire entre (4,5 – 5,5) m/s; manteniendo constantes la temperatura $A_2(60,0\text{ }^\circ\text{C})$ y el corte $C_1(0,1\text{ cm})$ y los resultados se detallan en la tabla E.16 y tabla E.17 (Anexo E).



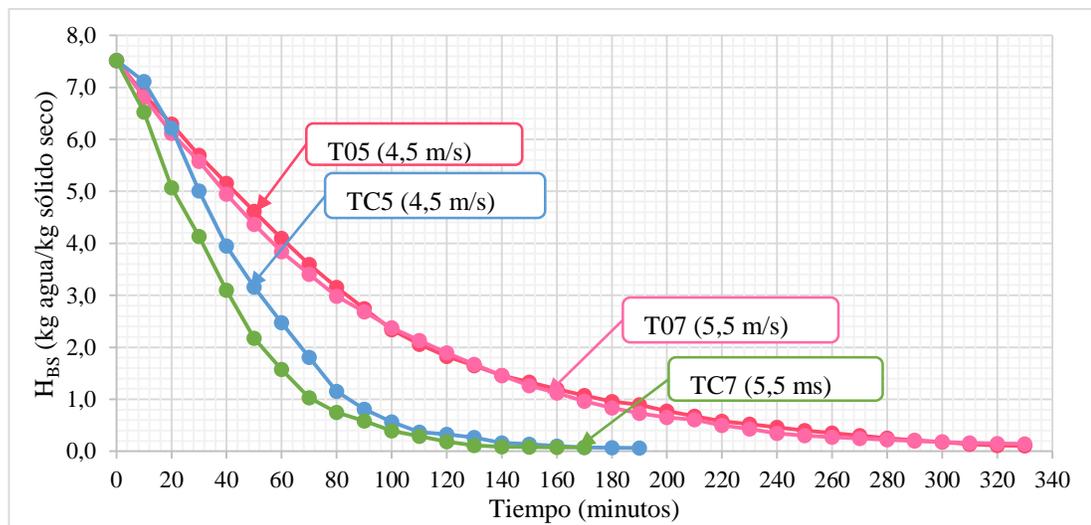
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire $B_{12}(4,5-5,5)\text{ m/s}$ a $A_2(60,0\text{ }^\circ\text{C})$ vs $C_1(0,1\text{ cm})$

En la figura 4.36, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC2 y T02 a temperatura $60,0\text{ }^\circ\text{C}$, velocidad del aire $4,5\text{ m/s}$ y corte $0,1\text{ cm}$; con tiempo 150 minutos TC2 presenta $0,015\text{ (kg agua/kg sólido seco)}$ y para tiempo 260 minutos T02 presenta $0,220\text{ (kg agua/kg sólido seco)}$. Por otro lado, las muestras TC4 y T04 a temperatura $60,0\text{ }^\circ\text{C}$, velocidad del aire $5,5\text{ m/s}$ y corte $0,1\text{ cm}$; con tiempo 110 minutos TC4 presenta $0,086\text{ (kg agua/kg sólido seco)}$ y tiempo 260 minutos T04 presenta $0,352\text{ (kg agua/kg sólido seco)}$.

4.6.7 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire $B_{12}(4,5 - 5,5)\text{m/s}$: $A_1(50,0\text{ }^\circ\text{C})$ vs $C_2(0,3\text{ cm})$

En la figura 4.37, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC5 y TC7) y sin tratamiento (T05 y T07). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando velocidad del aire entre $(4,5 - 5,5)$ m/s; manteniendo constantes la temperatura $A_1(50,0\text{ }^\circ\text{C})$ y el corte $C_2(0,3\text{ cm})$ y los resultados se detallan en la tabla E.18 y tabla E.19 (Anexo E).



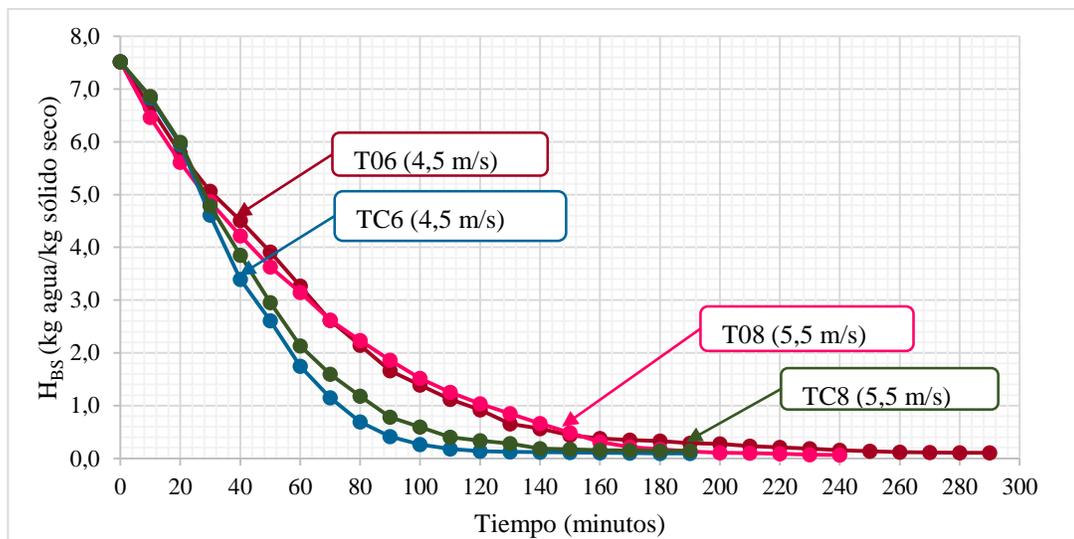
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire $B_{12}(4,5-5,5)\text{m/s}$ a $A_1(50,0\text{ }^\circ\text{C})$ vs $C_2(0,3\text{ cm})$

En la figura 4.37, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC5 y T05 a temperatura $50,0^\circ\text{C}$, velocidad del aire $4,5\text{ m/s}$ y corte $0,3\text{ cm}$; con tiempo 190 minutos TC5 presenta $0,142$ (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 310 minutos T05 presenta $0,125$ (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC7 y T07 a temperatura $50,0\text{ }^\circ\text{C}$, velocidad del aire $5,5\text{ m/s}$ y corte $0,3\text{ cm}$; con tiempo 170 minutos TC7 presenta $0,079$ (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 330 minutos T07 presenta $0,064$ (kg agua/kg sólido seco).

4.6.8 Variación del contenido de humedad con velocidad del aire B₁₂(4,5 – 5,5)m/s: A₂ (60,0 °C) vs C₂ (0,3 cm)

En la figura 4.38, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC6 y TC8) y sin tratamiento (T06 y T08). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando velocidad del aire entre (4,5 – 5,5) m/s; manteniendo constantes la temperatura A₂ (60,0 °C) y el corte C₂ (0,3 cm) y los resultados se detallan en la tabla E.20 y tabla E.21 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire B₁₂(4,5-5,5)m/s a A₂ (60,0 °C) vs C₂ (0,3 cm)

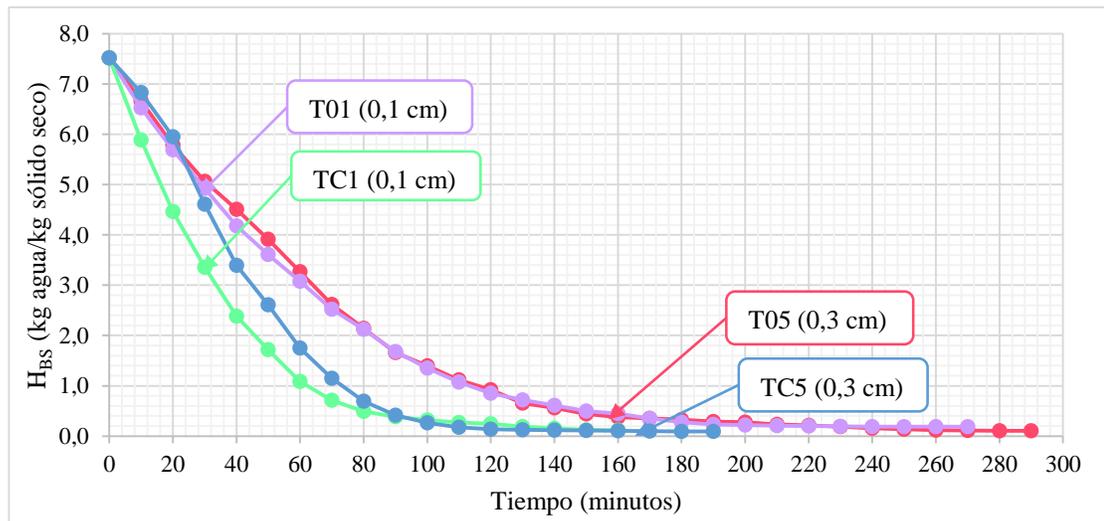
En la figura 4.38, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC6 y T06 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 4,5 m/s y corte 0,3 cm; con tiempo 190 minutos TC6 presenta 0,062 (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 290 minutos T06 presenta 0,168 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC8 y T08 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,3 cm; con tiempo 190 minutos TC8 presenta 0,053 (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 240 minutos T08 presenta 0,145 (kg agua/kg sólido seco).

En base a la variación de velocidad de aire B₁ (4,5 m/s) a B₂ (5,5 m/s) las muestras con solución de ácido cítrico se ven favorecidas en la disminución de tiempo de secado y

contenido de humedad en base seca, en donde se pudo evidenciar que la muestra TC4 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,1 cm y tiempo 110 minutos presenta 0,086 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, la variación de velocidad de aire para las muestras sin tratamiento no es muy significativa; ya que no influye en el tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.

4.6.9 Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm: A_1 (50,0 °C) vs B_1 (4,5 m/s)

En la figura 4.39, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC1 y TC5) y sin tratamiento (T01 y T05). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el corte (0,1 – 0,3) cm; manteniendo constantes la temperatura A_1 (50,0 °C) y velocidad del aire B_1 (4,5 m/s) y los resultados se detallan en la tabla E.22 y tabla E.23 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

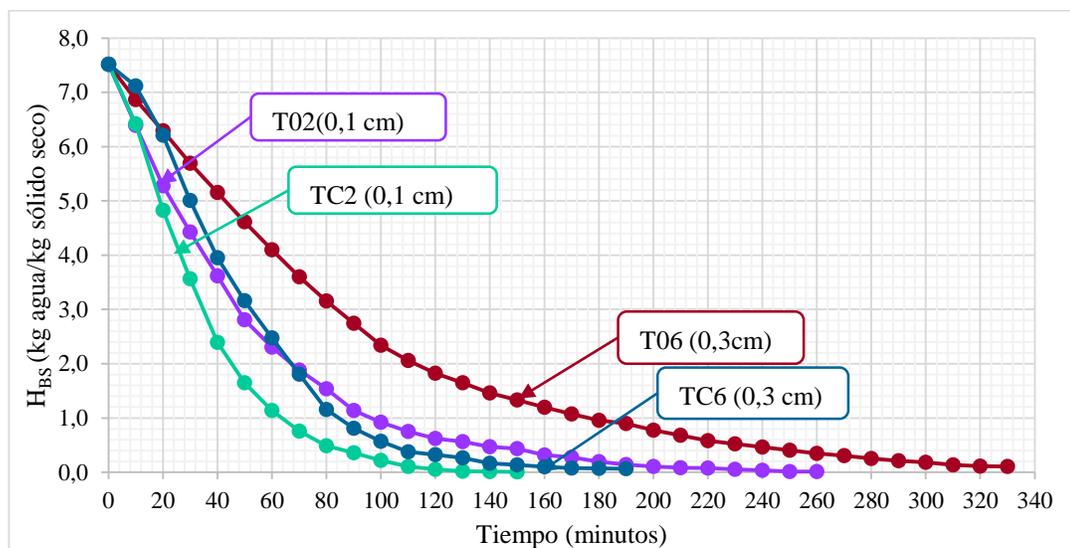
Figura 4.39: Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm a A_1 (50,0 °C) vs B_1 (4,5 m/s)

En la figura 4.39, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC1 y T01 a temperatura 50,0 °C, velocidad del aire 4,5 m/s y corte 0,1 cm; con tiempo 160 minutos TC1 presenta 0,046 (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 270 minutos T01 presenta 0,230 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las

muestras TC5 y T05 a temperatura 50,0 °C, velocidad del aire 4,5 m/s y corte 0,3 cm; con tiempo 190 minutos TC5 presenta 0,142 (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 290 minutos T05 presenta 0,125 (kg agua/kg sólido seco).

4.6.10 Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm: A_2 (60,0 °C) vs B_1 (4,5 m/s)

En la figura 4.40, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC2 y TC6) y sin tratamiento (T02 y T06). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el corte (0,1 – 0,3) cm; manteniendo constantes la temperatura A_2 (60,0 °C) y velocidad del aire B_1 (4,5 m/s) y los resultados se detallan en la tabla E.24 y tabla E.25 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

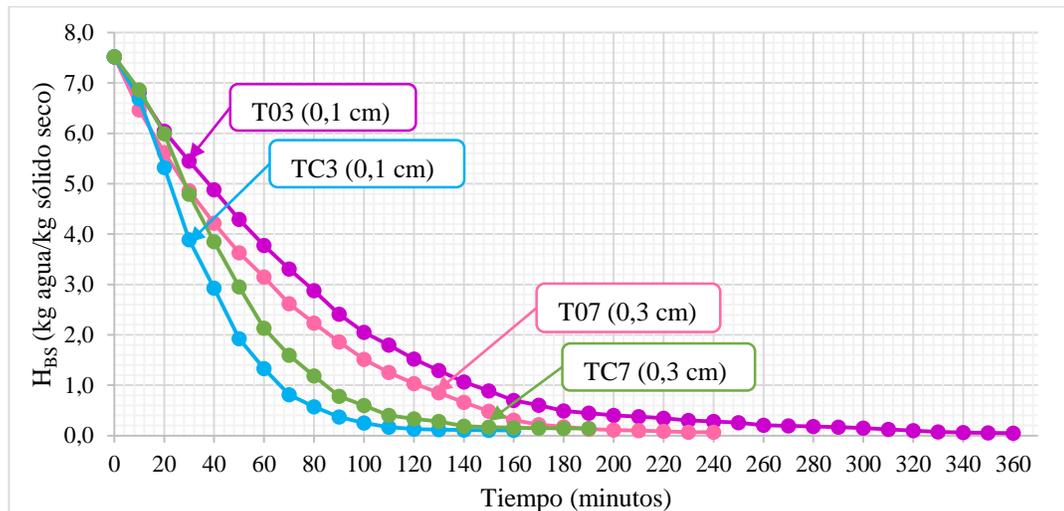
Figura 4.40: Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1-0,3)cm a A_2 (60,0 °C) vs B_1 (4,5 m/s)

En la figura 4.40, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC2 y T02 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 4,5 m/s y corte 0,1 cm; con tiempo 150 minutos TC2 presenta 0,015 (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 260 minutos T02 presenta 0,220 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC6 y T06 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 4,5 m/s y corte 0,3 cm; con

tiempo 190 minutos TC6 presenta 0,062 (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 330 minutos T06 presenta 0,168 (kg agua/kg sólido seco).

4.6.11 Variación del contenido de humedad con el corte C₁₂ (0,1 – 0,3) cm: A₁ (50,0 °C) vs B₂ (5,5 m/s)

En la figura 4.41, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC3 y TC7) y sin tratamiento (T03 y T07). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el corte (0,1 – 0,3) cm; manteniendo constantes la temperatura A₁ (50,0 °C) y velocidad del aire B₂ (5,5 m/s) y los resultados se detallan en la tabla E.26 y tabla E.27 (Anexo E).



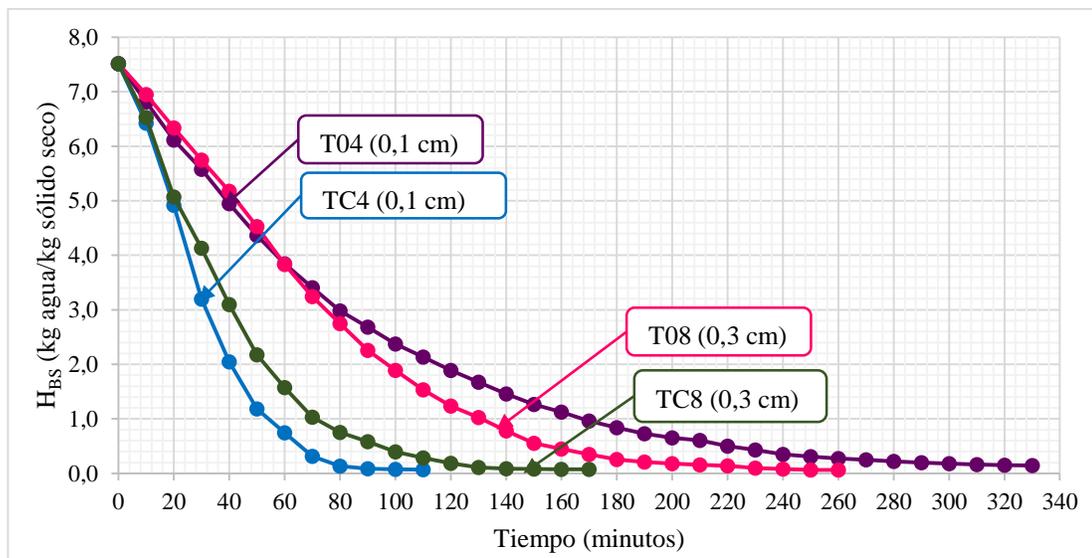
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.41: Variación del contenido de humedad con el corte C₁₂ (0,1 – 0,3) cm a A₁ (50,0 °C) vs B₂ (5,5 m/s)

En la figura 4.41, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC3 y T03 a temperatura 50,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,1 cm; con tiempo 160 minutos TC3 presenta 0,034 (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 360 minutos T03 presenta 0,050 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC7 y T07 a temperatura 50,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,3 cm; con tiempo 190 minutos TC7 presenta 0,079 (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 240 minutos T07 presenta 0,064 (kg agua/kg sólido seco).

4.6.12 Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3) cm: A_2 (60,0 °C) vs B_2 (5,5 m/s)

En la figura 4.42, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras en solución con ácido cítrico (TC4 y TC8) y sin tratamiento (T04 y T08). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el corte (0,1-0,3) cm; manteniendo constantes la temperatura A_2 (60,0 °C) y velocidad del aire B_2 (5,5 m/s) y los resultados se detallan en la tabla E.28 y tabla E.29 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.42: Variación del contenido de humedad con el corte C_{12} (0,1 – 0,3)cm a A_2 (60,0 °C) vs B_2 (5,5 m/s)

En la figura 4.42, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras TC4 y T04 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,1 cm; con tiempo 110 minutos TC4 presenta 0,086 (kg agua/kg sólido seco) y para tiempo 330 minutos T04 presenta 0,352 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, las muestras TC8 y T08 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,3 cm; con tiempo 170 minutos TC8 presenta 0,053 (kg agua/kg sólido seco) y tiempo 260 minutos T08 presenta 0,145 (kg agua/kg sólido seco).

En base a la variación del corte C_1 (0,1 cm) a C_2 (0,3 cm) las muestras con solución de ácido cítrico se ven favorecidas en la disminución de tiempo de secado y contenido de humedad en base seca, en donde se pudo evidenciar que la muestra TC4 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,1 cm y tiempo 110 minutos presenta 0,086 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, la variación del corte para las muestras sin tratamiento no es muy significativa; ya que no influye en el tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.

4.7 Cinética de secado para el proceso de secado en la obtención de harina de remolacha

En la tabla 4.40, se muestran los resultados obtenidos para la cinética de secado de las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico (TC5); en condiciones de temperatura de 50,0 °C, velocidad del aire 4,5 m/s y corte 0,3 cm. Los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2013). Tomando en cuenta los siguientes datos y la ecuación (2.2) para el cálculo de la masa del sólido seco:

- Cantidad de materia: 100,26 g
- Contenido de humedad: 88,26 % (CEANID, 2022)
- Masa del sólido seco: 11,77 g
- Tiempo de secado: 3,17 horas
- Área de bandeja: 0,035 m²

Tabla 4.40

Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de harina de remolacha con solución de ácido cítrico

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS} (kg/kg)	H _{BS} media (kg/kg)	$\Delta\Theta$ (h)	ΔH_{BS} (kg/kg)	$\Delta H_{BS}/\Delta\Theta$ (kg/kg*h)	N (kg/m ² h)
0	100,26	7,518					
10	89,52	6,605	7,062	0,167	0,912	5,464	1,837
20	78,88	5,701	6,153	0,167	0,904	5,413	1,820
30	67,74	4,755	5,228	0,167	0,946	5,667	1,906
40	58,29	3,952	4,354	0,167	0,803	4,808	1,617
50	47,98	3,076	3,514	0,167	0,876	5,245	1,764
60	39,89	2,389	2,733	0,167	0,687	4,116	1,384
70	31,06	1,639	2,014	0,167	0,750	4,492	1,511
80	24,38	1,071	1,355	0,167	0,568	3,398	1,143
90	21,32	0,811	0,941	0,167	0,260	1,557	0,524
100	18,46	0,568	0,690	0,167	0,243	1,455	0,489
110	17,16	0,458	0,513	0,167	0,110	0,661	0,222
120	15,89	0,350	0,404	0,167	0,108	0,646	0,217
130	14,78	0,256	0,303	0,167	0,094	0,565	0,190
140	13,71	0,165	0,210	0,167	0,091	0,544	0,183
150	13,27	0,127	0,146	0,167	0,037	0,224	0,075
160	12,98	0,103	0,115	0,167	0,025	0,148	0,050
170	12,74	0,082	0,093	0,167	0,020	0,122	0,041
180	12,58	0,069	0,076	0,167	0,014	0,081	0,027
190	12,55	0,066	0,067	0,167	0,003	0,015	0,005

Fuente: Elaboración propia

Donde:

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

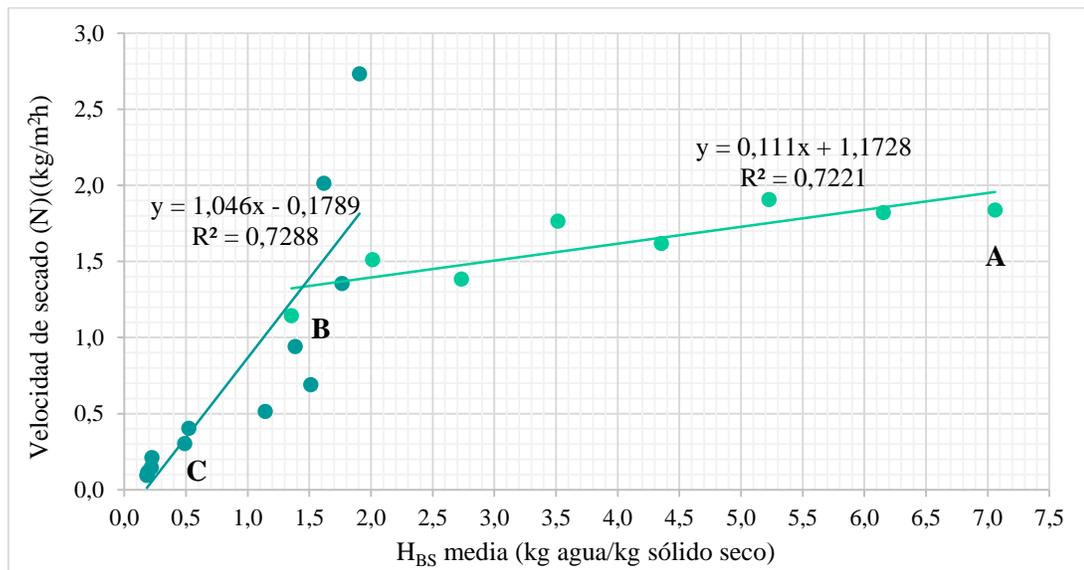
H_{BS} media = Contenido humedad media (kg agua/kg sólido seco)

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

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

N = Velocidad de secado (kg sólido seco/m² * h)

En la figura 4.43, se muestra la cinética en el proceso de secado para las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico en función del contenido de humedad media en base a datos de la tabla 4.38.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.43: Cinética en el proceso de secado para las muestras de remolacha con solución de ácido cítrico

En la figura 4.43, se observa el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado, 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 remolacha migra desde el interior hasta su superficie con una velocidad de secado constante hasta alcanzar la humedad crítica, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión R^2 (0,7221) se describe en la ecuación 4.3.

$$y = 0,111x + 1,1728 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

El tramo (B – C) representa el periodo post-crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad de las muestras de remolacha alcanza el equilibrio, logrando un secado total en la superficie, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión R^2 (0,7288) se describe en la ecuación 4.4

$$y = 1,046x - 0,1789 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

En la tabla 4.41, se muestran los resultados obtenidos para la cinética de secado de las muestras de remolacha sin tratamiento (T04); en condiciones de temperatura de 60,0°C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,1 cm. Los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2013). Tomando en cuenta los siguientes datos y la ecuación (2.2) para el cálculo de la masa del sólido seco:

- Cantidad de materia: 100,00 g
- Contenido de humedad: 88,26 % (CEANID, 2022)
- Masa del solido seco: 11,74 g
- Tiempo de secado: 4,33 horas
- Área de bandeja: 0,035 m²

Tabla 4.41

Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de harina de remolacha sin tratamiento

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS} (kg/kg)	H _{BS} media (kg/kg)	$\Delta\Theta$ (h)	ΔH_{BS} (kg/kg)	$\Delta H_{BS}/\Delta\Theta$ (kg/kg*h)	N (kg/m ² h)
0	100,00	7,518					
10	93,31	6,948	7,233	0,167	0,570	3,412	1,145
20	86,11	6,335	6,641	0,167	0,613	3,672	1,232
30	79,24	5,750	6,042	0,167	0,585	3,504	1,175
40	72,53	5,178	5,464	0,167	0,572	3,422	1,148
50	64,92	4,530	4,854	0,167	0,648	3,882	1,302
60	56,73	3,832	4,181	0,167	0,698	4,177	1,401
70	49,82	3,244	3,538	0,167	0,589	3,524	1,182
80	43,98	2,746	2,995	0,167	0,497	2,979	0,999
90	38,22	2,256	2,501	0,167	0,491	2,938	0,985
100	33,93	1,890	2,073	0,167	0,365	2,188	0,734
110	29,73	1,532	1,711	0,167	0,358	2,142	0,719
120	26,25	1,236	1,384	0,167	0,296	1,775	0,595
130	23,81	1,028	1,132	0,167	0,208	1,245	0,417
140	20,93	0,783	0,905	0,167	0,245	1,469	0,493
150	18,26	0,555	0,669	0,167	0,227	1,362	0,457
160	16,99	0,447	0,501	0,167	0,108	0,648	0,217
170	15,82	0,348	0,397	0,167	0,100	0,597	0,200
180	14,76	0,257	0,302	0,167	0,090	0,541	0,181
190	14,17	0,207	0,232	0,167	0,050	0,301	0,101
200	13,85	0,180	0,193	0,167	0,027	0,163	0,055
210	13,59	0,158	0,169	0,167	0,022	0,133	0,044
220	13,35	0,137	0,147	0,167	0,020	0,122	0,041
230	12,91	0,100	0,118	0,167	0,037	0,224	0,075
240	12,68	0,080	0,090	0,167	0,020	0,117	0,039
250	12,49	0,064	0,072	0,167	0,016	0,097	0,033
260	12,46	0,061	0,063	0,167	0,003	0,015	0,005

Fuente: Elaboración propia

Donde:

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

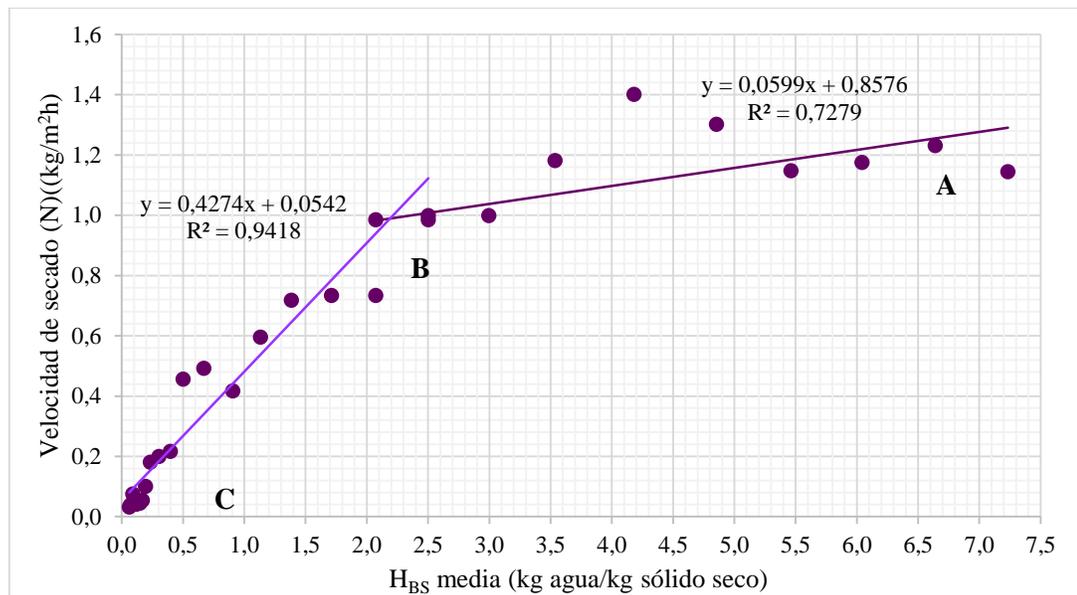
H_{BS} media = Contenido humedad media (kg agua/kg sólido seco)

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

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

N = Velocidad de secado (kg sólido seco/m² * h)

En la figura 4.44, se muestra la cinética en el proceso de secado para las muestras de remolacha sin tratamiento en función del contenido de humedad media en base a datos de la tabla 4.39.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.44: Cinética en el proceso de secado para las muestras de remolacha sin tratamiento

En la figura 4.44, se observa el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado, 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 remolacha migra desde el interior hasta su superficie con una velocidad de secado constante hasta alcanzar la humedad crítica, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión R^2 (0,7279) se describe en la ecuación 4.5.

$$y = 0,0599x + 0,8576 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

El tramo (B – C) representa el periodo post-crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad de las muestras de remolacha alcanza el

equilibrio, logrando un secado total en la superficie, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión R^2 (0,9418) se describe en la ecuación 4.6.

$$y = 0,4274x + 0,0542 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

4.8 Caracterización de la harina de remolacha

Para caracterizar la harina de remolacha se tomaron en cuenta los siguientes análisis: fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes los cuales se detallan a continuación:

4.8.1 Análisis fisicoquímico de harina de remolacha

En la tabla 4.42, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de harina de remolacha de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A)

Tabla 4.42

Análisis fisicoquímicos de harina de la harina de remolacha

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	7,51
Ceniza	%	4,66
Grasa	%	0,41
Proteína	%	11,63
Fibra	%	3,60
Hidratos de carbono	%	72,19
Valor energético	Kcal/100 g	338,97

Fuente: CEANID, 2022

Como muestra en la tabla 4.42, se expresan los valores fisicoquímicos de la harina de remolacha contiene: ceniza 4,66 %; fibra 3,60 %; humedad 7,51 %; grasa 0,41 %; proteína 11,63 %; hidratos de carbono 72,19 % y valor energético 338,97 kcal/100g.

4.8.2 Análisis microbiológicos de harina de remolacha

En la tabla 4.43, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de harina de remolacha de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A).

Tabla 4.43

Análisis microbiológicos de la harina remolacha

Microorganismos	Unidad	Resultado
-----------------	--------	-----------

Coliformes totales	UFC/g	$2,6 \times 10^2$
Escherichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$2,3 \times 10^2$
(*) No se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.43, se expresan los valores microbiológicos de la harina de remolacha contiene: Coliformes totales $2,6 \times 10^2$ UFC/g; Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); Mohos y levaduras $2,3 \times 10^2$ UFC/g.

4.8.3 Análisis de micronutrientes de harina de remolacha

En la tabla 4.44, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de harina de remolacha de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A).

Tabla 4.44

Análisis de micronutrientes de harina de remolacha

Micronutrientes	Unidad	Resultado
Potasio	mg/100g	1387,0
Sodio	mg/100g	452,0

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.44, se expresan los valores micronutrientes de la harina de remolacha que contenido de potasio 1387,0 mg/100g de muestra y sodio 452,0 mg/100g de muestra.

4.9 Control de la harina de remolacha en el almacenamiento

En la tabla 4.45, se muestran los resultados del almacenamiento de la harina de remolacha. Para tal efecto, se tomó la muestra TC5 en dos tipos de envases de polipropileno: plástico transparente y papel kraft negro, para observar la variación del contenido de humedad.

Tabla 4.45

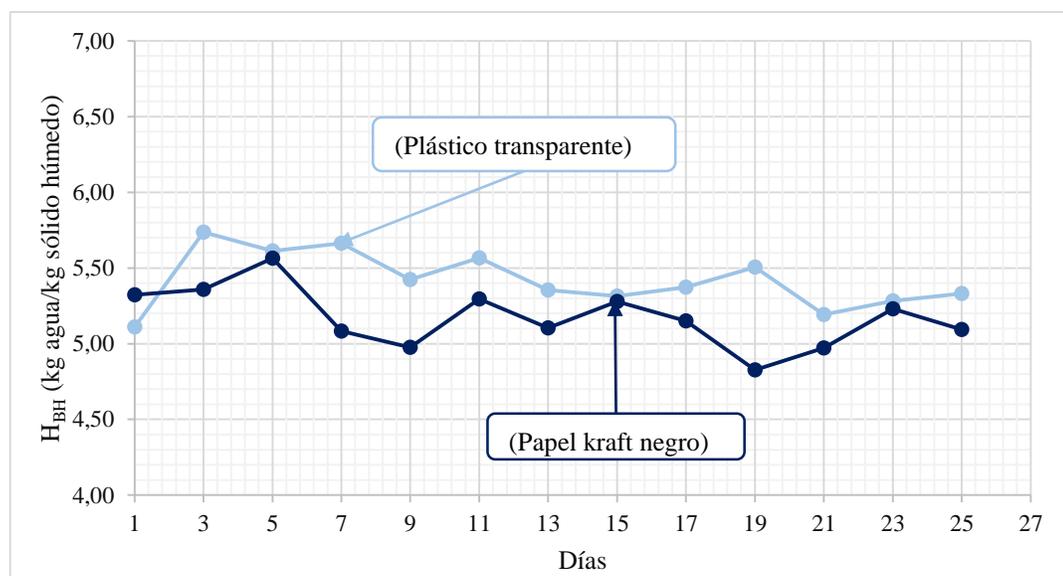
Control de la harina de remolacha en el almacenamiento

Envase polipropileno (Plástico transparente)		Envase polipropileno (Papel kraft negro)	
Días	TC5 (H _{BH})	Días	TC5 (H _{BH})
1	5,1113	1	5,3219
3	5,7374	3	5,3587
5	5,6125	5	5,5637

7	5,6620	7	5,0831
9	5,4228	9	4,9754
11	5,5653	11	5,2943
13	5,3538	13	5,1048
15	5,3148	15	5,2782
17	5,3739	17	5,1496
19	5,5048	19	4,8274
21	5,1930	21	4,9711
23	5,2824	23	5,2301
25	5,3316	25	5,0925

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.45, se muestra el control de la harina de remolacha en el almacenamiento en dos tipos de envases de polipropileno: plástico transparente y papel kraft negro, para observar la variación del contenido de humedad en base a datos de la tabla 4.45.



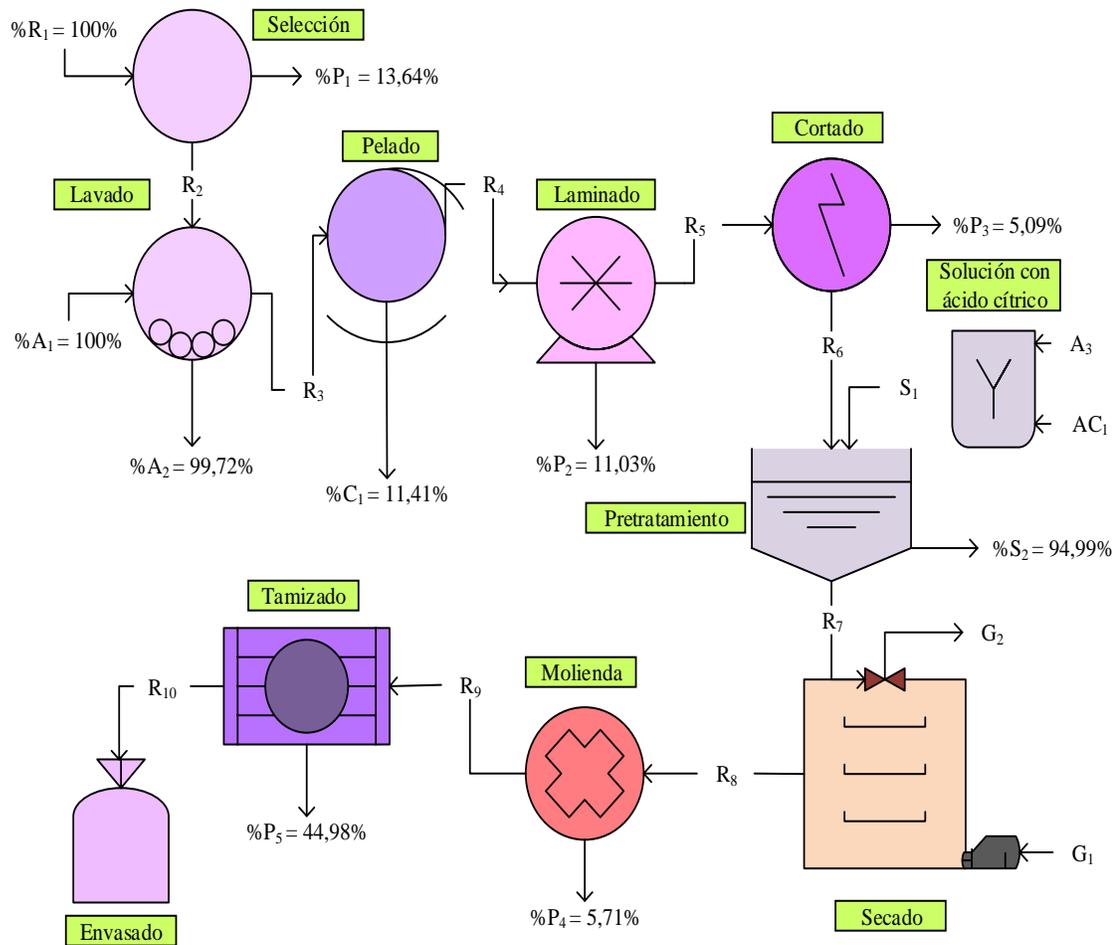
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.45: Control de la harina de remolacha en el almacenamiento en dos tipos de envases de polipropileno

En la figura 4.45, se observa la variación del contenido de humedad en los envases de polipropileno de Papel kraft negro y envase polipropileno de plástico transparente no es muy significativa; ya que, no presentan un aumento en su contenido de humedad. Sin embargo, el envase polipropileno de Papel kraft negro conserva su contenido de humedad estable, por lo tanto, se tomó como el envase elegido para conservar la harina de remolacha.

4.10 Balance de materia en el proceso de obtención de harina de remolacha

El balance de materia del proceso de obtención de harina de remolacha se realizó para una base de cálculo de 1164,81 g de remolacha, conforme se muestra al diagrama de flujo para su resolución (figura 4.46).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.46: Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de harina de remolacha

Donde:

R_1 = Remolacha (g)

$\%R_1$ = Porcentaje de remolacha (%)

R_2 = Remolacha seleccionada (g)

$\%R_2$ = Porcentaje de remolacha seleccionada (%)

P_1 = Pérdidas en la etapa de selección (g)

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

A_1 = Cantidad de agua para el lavado (g)

$\%A_1$ = Porcentaje de agua para el lavado (%)

A_2 = Cantidad de agua residual con tierra (g)

$\%A_2$ = Porcentaje de agua residual con tierra (%)

R_3 = Remolacha lavada (g)

X_3^{PC} = Porción comestible de la remolacha lavada (%)

X_3^{PNC} = Porción no comestible de la remolacha lavada (%)

R_4 = Remolacha pelada (g)

X_4^{PC} = Porción comestible de la remolacha pelada (%)

X_4^{PNC} = Porción no comestible de la remolacha pelada (%)

C_1 = Cáscaras (g)

X_1^{PC} = Porción comestible de la cáscara (%)

X_1^{PNC} = Porción no comestible de la cáscara (%)

X_4^{RU} = Rodajas útiles de remolacha pelada (%)

X_4^{RNU} = Rodajas no útiles de remolacha pelada (%)

R_5 = Remolacha laminada (g)

X_5^{RU} = Rodajas útiles de remolacha laminada (%)

X_5^{RNU} = Rodajas no útiles de remolacha laminada (%)

P_2 = Pérdidas en la etapa de laminado (g)

X_2^{RU} = Rodajas útiles en la etapa de laminado (%)

X_2^{RNU} = Rodajas no útiles en la etapa de laminado (%)

$\%R_5$ = Porcentaje de remolacha laminada (%)

R_6 = Remolacha cortada (g)

$\%R_6$ = Porcentaje de remolacha cortada (%)

X_6^H = Componente de la humedad de remolacha cortada

X_6^S = Componente de sólidos solubles de remolacha cortada

P_3 = Pérdidas en la etapa de cortado (g)

$\%P_3$ = Porcentaje de pérdidas en la etapa de cortado (%)

R_7 = Remolacha escurrida (g)

X_7^H = Componente de la humedad de remolacha escurrida

X_7^S = Componente de sólidos solubles de remolacha escurrida

S_1 = Solución de ácido cítrico (g)

$\%S_1$ = Porcentaje de solución de ácido cítrico (%)

S_2 = Cantidad de solución de ácido cítrico residual (g)

$\%S_2$ = Porcentaje de solución de ácido cítrico residual (%)

A_3 = Agua potable (g)

AC_1 = Ácido cítrico (g)

R_8 = Remolacha seca (g)

X_8^H = Componente de la humedad de remolacha seca

X_8^S = Componente de sólidos solubles de remolacha seca

X_7 = Humedad inicial en base seca de la remolacha en el proceso de secado (kg agua/kg sólido seco)

X_8 = Humedad final en base seca de la remolacha del proceso de secado (kg agua/kg sólido seco)

R_9 = Remolacha molida (g)

$\%R_9$ = Porcentaje de remolacha molida (%)

P_4 = Pérdidas en la etapa de molienda (g)

$\%P_4$ = Porcentaje de pérdidas en la etapa de molienda (%)

R_{10} = Harina de remolacha (g)

$\%R_{10}$ = Porcentaje de harina de remolacha (%)

P_5 = Pérdidas en la etapa de tamizado (g)

$\%P_5$ = Porcentaje de pérdidas en la etapa de tamizado (%)

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

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

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

G_2 = Cantidad de masa de agua evaporada (g)

E_{R7} = Entalpia de remolacha en la entrada del secador (kJ/kg sólido seco)

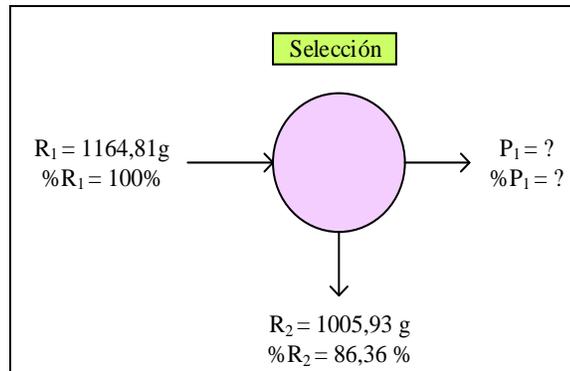
E_{R8} = Entalpia de remolacha en la salida del secador (kJ/kg sólido seco)

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

E_{G2} = Entalpia del de agua evaporada en la salida del secador (kj/kg sólido seco)

4.10.1 Balance de materia en la etapa de selección

En la figura 4.47, se muestra el balance de materia en la etapa de selección con una cantidad de 1164,81 g de remolacha obteniendo un 86,36% de remolacha seleccionada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.47: Etapa de selección

Balance general de materia en la etapa de selección

$$R_1 = R_2 + P_1$$

Ecuación 4.7

Despejando P_1 de la ecuación 4.7:

$$P_1 = R_1 - R_2$$

$$P_1 = 1164,81 \text{ g} - 1005,93 \text{ g}$$

$$P_1 = 158,88 \text{ g pérdida en la etapa de selección}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de selección

$$\frac{R_1}{\% R_1} = \frac{P_1}{\% P_1}$$

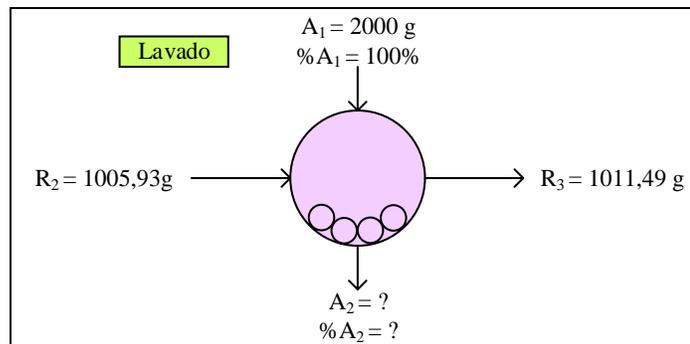
$$\% P_1 = \frac{P_1 * \% R_1}{R_1}$$

$$\% P_1 = \frac{158,88 \text{ g} * 100 \%}{1164,81 \text{ g}}$$

$\% P_1 = 13,64 \%$ pérdida en la etapa de selección

4.10.2 Balance general de materia en la etapa de lavado

En la figura 4.48, se muestra la etapa de lavado para lo cual se realizó con 1005,93 g de remolacha, con relación de remolacha y agua de 1:2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.48: Etapa de lavado

Balance general de materia en la etapa de lavado

$$R_2 + A_1 = A_2 + R_3$$

Ecuación 4.8

Despejando A_2 de la ecuación 4.8:

$$A_2 = R_2 + A_1 - R_3$$

$$A_2 = 1005,93 \text{ g} + 2000 \text{ g} - 1011,49 \text{ g}$$

$$A_2 = 1994,44 \text{ g agua residual con tierra}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de lavado

$$\frac{A_1}{\% A_1} = \frac{A_2}{\% A_2}$$

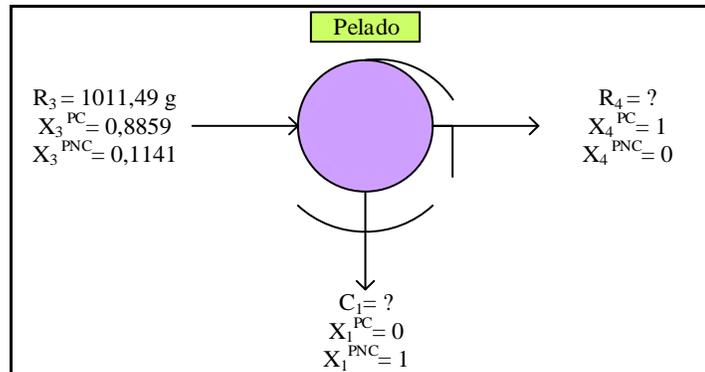
$$\% A_2 = \frac{A_2 * \% A_1}{A_1}$$

$$\% A_2 = \frac{1994,44 \text{ g} * 100 \%}{2000 \text{ g}}$$

% A₂ = 99,72 % agua residual con tierra

4.10.3 Balance general de materia en la etapa de pelado

En la figura 4.49, se muestra la etapa de pelado el cual se realizó con 1011,49 g de remolacha, tomando en cuenta datos de la tabla 4.1, donde: porción comestible de 88,59% (PC) y porción no comestible de 11,41 % (PNC).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.49: Etapa de pelado

Balance general de materia en la etapa de pelado

$$R_3 = C_1 + R_4 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

- Balance de materia parcial para la porción comestible en la etapa de pelado

$$R_3 * X_3^{PC} = C_1 * X_1^{PC} + R_4 * X_4^{PC} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Despejando R₄ de la ecuación 4.10:

$$R_4 = \frac{R_3 * X_3^{PC}}{X_4^{PC}}$$

$$R_4 = \frac{1011,49 \text{ g} * 0,8859}{1,00}$$

R₄ = 896,08 g porción comestible de remolacha pelada

- Balance de materia parcial para la porción no comestible en la etapa de pelado

$$R_3 * X_3^{PNC} = C_1 * X_1^{PNC} + R_4 * X_4^{PNC} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Despejando C_1 de la ecuación 4.11:

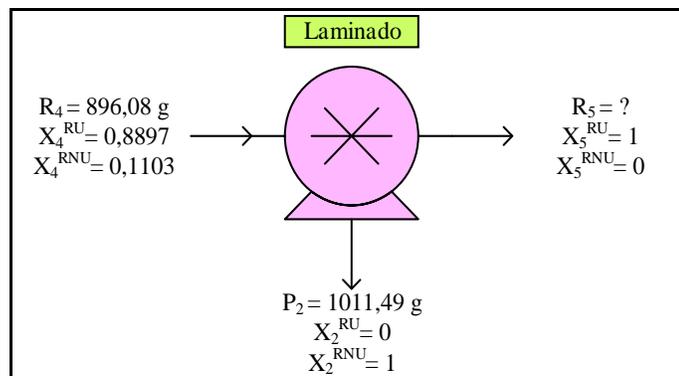
$$C_1 = \frac{R_3 * X_3^{PNC}}{X_1^{PNC}}$$

$$C_1 = \frac{1011,49 \text{ g} * 0,1141}{1,00}$$

$$C_1 = 115,41 \text{ g Cáscaras}$$

4.10.4 Balance general de materia en la etapa de laminado

En la figura 4.50, se muestra la etapa de pelado el cual se realizó con 896,08 g de remolacha comestible, tomando en cuenta datos de la tabla 4.1, donde: rodajas útiles 88,97% (RU) y rodajas no útiles 11,03% (RNU).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.50: Etapa de laminado

Balance general de materia en la etapa de laminado

$$R_4 = P_2 + R_5 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

- Balance de materia parcial para rodajas útiles de remolacha en la etapa de laminado

$$R_4 * X_4^{RU} = P_2 * X_2^{RU} + R_5 * X_5^{RU} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Despejando R_5 de la ecuación 4.13:

$$R_5 = \frac{R_4 * X_4^{RU}}{X_5^{RU}}$$

$$R_5 = \frac{896,08 \text{ g} * 0,8897}{1,00}$$

$R_5 = 797,24 \text{ g}$ rodajas útiles de remolacha laminada

- Balance de materia parcial para rodajas no útiles de remolacha en la etapa de laminado

$$R_4 * X_4^{RNU} = P_2 * X_2^{RNU} + R_5 * X_5^{RNU} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Despejando P_2 de la ecuación 4.14:

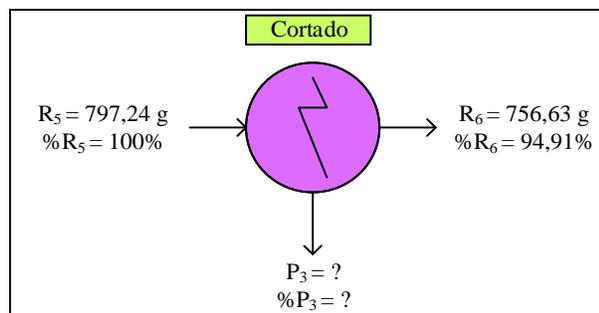
$$P_2 = \frac{R_4 * X_4^{RNU}}{X_2^{RNU}}$$

$$P_2 = \frac{896,08 \text{ g} * 0,1103}{1,00}$$

$P_2 = 98,84 \text{ g}$ pérdidas en la etapa de laminado

4.10.5 Balance general de materia en la etapa de cortado

En la figura 4.51, se muestra el balance de materia en la etapa de cortado con una cantidad de 797,24 g de remolacha laminada obteniendo un 94,91% de remolacha cortada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.51: Etapa de cortado

Balance general de materia en la etapa de cortado

$$R_5 = R_6 + P_3 \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Despejando P_3 de la ecuación 4.15:

$$P_3 = R_6 - R_7$$

$$P_3 = 797,24 \text{ g} - 756,63 \text{ g}$$

$$P_3 = 40,61 \text{ g pérdida en la etapa de cortado}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de cortado

$$\frac{R_5}{\% R_5} = \frac{P_3}{\% P_3}$$

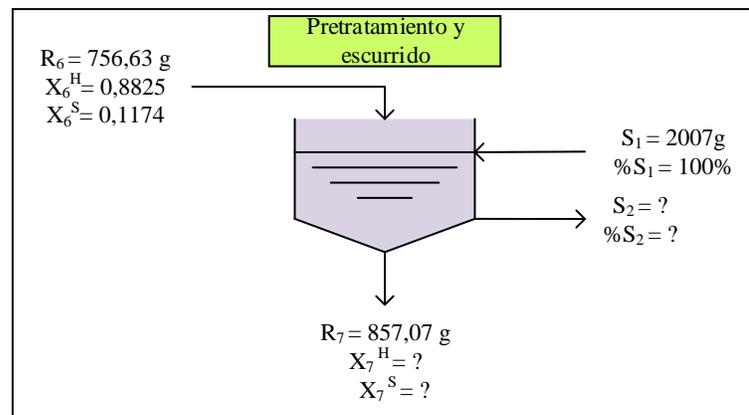
$$\% P_3 = \frac{P_3 * \% R_5}{R_5}$$

$$\% P_3 = \frac{40,61 * 100}{797,24}$$

$$\% P_3 = 5,09 \% \text{ pérdida en la etapa de cortado}$$

4.10.6 Balance general de materia en la etapa de pretratamiento

En la figura 4.52, se muestra la etapa de pretratamiento que se realizó con 2007 g de solución de ácido cítrico y 756,63 g de remolacha cortada con un contenido de humedad inicial en base húmeda 88,26 % (CEANID, 2022)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.52: Etapa de pretratamiento

Balance general de materia en la etapa de pretratamiento

$$R_6 + S_1 = S_2 + R_7$$

Ecuación 4.16

Despejando S_2 de la ecuación 4.16:

$$S_2 = R_6 + S_1 - R_7$$

$$S_2 = 756,63 \text{ g} + 2007 \text{ g} - 857,07 \text{ g}$$

$$S_2 = 1906,56 \text{ g solución de ácido cítrico residual}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de pretratamiento

$$\frac{S_1}{\% S_1} = \frac{S_2}{\% S_2}$$

$$\% S_2 = \frac{S_2 * \% S_1}{S_1}$$

$$\% S_2 = \frac{1906,56 * 100}{2007}$$

$$\% S_2 = 94,99 \% \text{ solución de ácido cítrico residual}$$

- Balance de materia parcial por componentes sólidos solubles de la remolacha

$$R_6 * X_6^S + S_1 * X_1^S = S_2 * X_2^S + R_7 * X_7^S \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Despejando X_7^S de la ecuación 4.11:

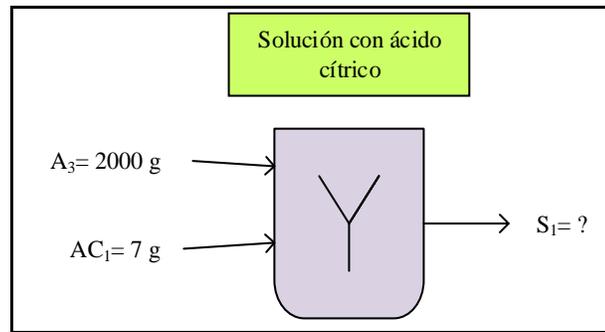
$$X_7^S = \frac{R_6 * X_6^S}{R_7}$$

$$X_7^S = \frac{756,63 \text{ g} * 0,1174}{857,07}$$

$$X_7^S = 0,1036 \text{ sólidos solubles de la remolacha escurrida}$$

4.10.7 Balance general de materia de la solución de ácido cítrico

En la figura 4.53, se muestra la etapa de solución de ácido cítrico la cual se preparó a una concentración de 0,7% para 2000 g de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.53: Etapa de solución de ácido cítrico

Balance general de materia de la solución de ácido cítrico

$$A_3 + AC_1 = S_1 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejando S_1 de la ecuación 4.17:

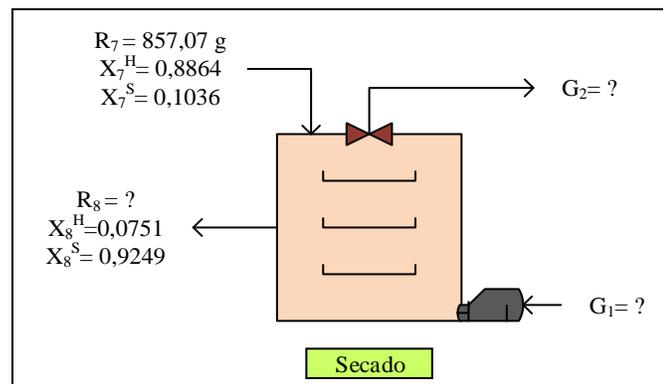
$$S_1 = A_3 + AC_1$$

$$S_1 = 2000 \text{ g} + 7 \text{ g}$$

$$S_1 = 2007 \text{ g solución de ácido cítrico}$$

4.10.8 Balance general de materia en la etapa de secado

En la figura 4.54, se muestra la etapa de secado se realizó con 857,07 g remolacha con contenido de humedad en base húmeda 89,64% después del pretratamiento y al final de proceso el contenido de humedad final de la remolacha es 7,51% (CEANID, 2022).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.54: Etapa de secado

Balance de materia global en la etapa de secado, se tomó en cuenta la ecuación 4.18 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$R_7 + G_1 = R_8 + G_2 \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Balance de materia por componente sólidos solubles en la etapa de secado

$$R_7 * X_7^S = R_8 * X_8^S \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Despejando R_8 de la ecuación 4.19 se obtiene:

$$R_8 = \frac{R_7 * X_7^S}{X_8^S}$$

$$R_8 = \frac{857,07 \text{ g} * 0,1036}{0,9249}$$

$$R_8 = 96,00 \text{ g de remolacha seca.}$$

Balance parcial de materia en base seca en la etapa de secado; por tanto se tomó en cuenta la ecuación 4.19 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$R_7 * X_7 + G_1 * Y_{G1} = R_8 * X_8 + G_2 * Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Donde las variables:

G = Caudal másico del aire (kg aire seco/h)

R = Caudal másico de producto (kg sólido seco)

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

Y = Humedad del aire (kg agua/ kg aire seco)

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

G_2 = Cantidad de masa de agua evaporada (g)

Reemplazando variable en la ecuación 4.20 se obtiene:

$$R * X_7 + G * Y_{G1} = R * X_8 + G * Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Dividiendo a la ecuación 4.21 entre R se obtiene:

$$X_7 + GY_{G1}/R = X_8 + GY_{G2}/R \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Ordenando la ecuación 4.22 se obtiene:

$$GY_{G2}/R - GY_{G1}/R = X_7 - X_8 \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Factorizando G/R de la ecuación 4.23 se obtiene:

$$G = \frac{(X_7 - X_8) * R}{Y_{G2} - Y_{G1}} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

El contenido de humedad en base seca de la remolacha escurrida en la etapa de secado, se determinó según la ecuación 4.25 (Singh & Heldman, 2009).

$$H_{BS} = \frac{X_{\text{agua}}}{X_{\text{sólido seco}}} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

A partir de la ecuación 4.25 se calcula la humedad inicial en base seca en el proceso de secado.

$$X_7 = \frac{0,8964}{0,1036} \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$$

$$X_7 = 8,652 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$$

Para calcular el contenido de humedad en base seca al final del proceso de secado se tomó en cuenta la ecuación 4.25.

$$X_8 = \frac{0,0751}{0,9249} \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$$

$$X_8 = 0,081 \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$$

Según (Mazzinghi, 2012) la altura de la ciudad de Tarija es de 1866 msnm; por tanto, los datos fueron introducidos en el software Psicrom 1.0 de psicrometría y los resultados se muestran en la tabla 4.46 en base a temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del secador de bandejas.

Tabla 4.46

Propiedades Psicométricas del aire

Propiedades	Aire frío	Aire saturado
T _{BS} (°C)	18,91	39,92
T _{BH} (°C)	17,25	34,27
H _R (%)	58,28	22,71
Y (g agua/kg aire seco)	15,00	28,05
PVP (kpa)	1,28	2,63

Fuente: Elaboración propia

Donde:

PVP = Presión parcial de vapor de agua

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

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

Para una cantidad de remolacha escurrida de 857,07 g la relación de cantidad de remolacha seca (R) es 96,00 g.

Por lo tanto, para calcular la cantidad de masa de aire seco se utilizó la ecuación 4.24.

$$G_1 = \frac{(8,652 - 0,081) \text{ g agua /g sólido seco} * 96,00 \text{ g sólido seco}}{(28,05 - 15,0) \text{ g agua/kg aire seco}}$$

$$G_1 = 63,05 \text{ kg de aire seco}$$

Para calcular la masa de agua evaporada, se tomó en cuenta la ecuación 4.26 citada por (Valiente, 1994).

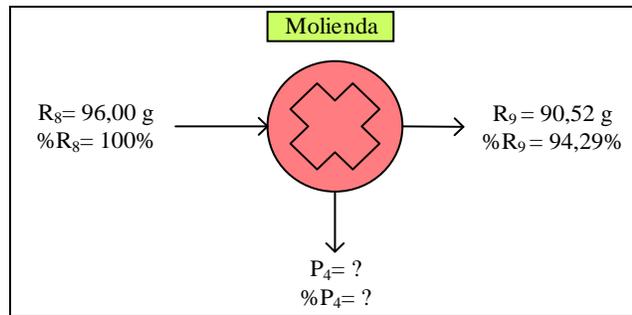
$$G_2 = (X_7 - X_8) * R \quad \text{Ecuación 4.26}$$

$$G_2 = (8,652 - 0,081) \text{ g agua /g sólido seco} * 96,00 \text{ g sólido seco}$$

$$G_2 = 822,81 \text{ g agua evaporada}$$

4.10.9 Balance general de materia en la etapa de molienda

En la figura 4.55, se muestra el balance de materia en la etapa de molienda el cual se realizó con 96,00 g de remolacha seco y terminado el proceso se obtuvo 90,52 g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.55: Etapa de molienda

Balance general de materia en la etapa de molienda

$$R_8 = R_9 + P_4 \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Despejando P_4 de la ecuación 4.27:

$$P_4 = R_8 - R_9$$

$$P_4 = 96,00 \text{ g} - 90,52 \text{ g}$$

$$P_4 = 5,48 \text{ g pérdida en la etapa de molienda}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de molienda

$$\frac{R_8}{\% R_8} = \frac{P_4}{\% P_4}$$

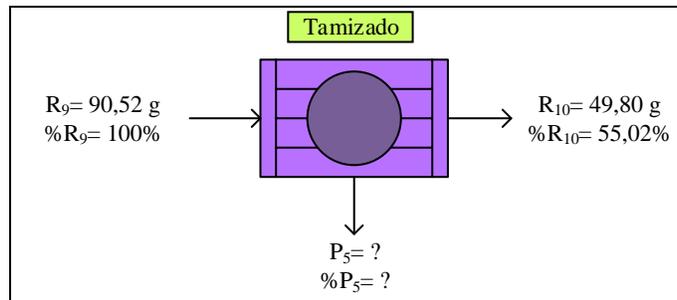
$$\% P_4 = \frac{P_4 * \% R_8}{R_8}$$

$$\% P_4 = \frac{5,48 * 100}{96,00}$$

$$\% P_4 = 5,71 \% \text{ pérdida en la etapa de molienda}$$

4.10.10 Balance general de materia en la etapa de tamizado

En la figura 4.56, se muestra el balance de materia en el proceso de tamizado el cual se realizó con 90,52 g de remolacha molida. Utilizando el tamizador (0,25 mm), una vez terminado el proceso se obtuvo un rendimiento de 55,02 % de harina de remolacha.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.56: Etapa de tamizado

Balance general de materia en la etapa de tamizado

$$R_9 = R_{10} + P_5 \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Despejando P_5 de la ecuación 4.28:

$$P_5 = R_9 - R_{10}$$

$$P_5 = 90,52 \text{ g} - 49,80 \text{ g}$$

$$P_5 = 40,72 \text{ g pérdida en la etapa de tamizado}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de tamizado

$$\frac{R_9}{\% R_9} = \frac{P_5}{\% P_5}$$

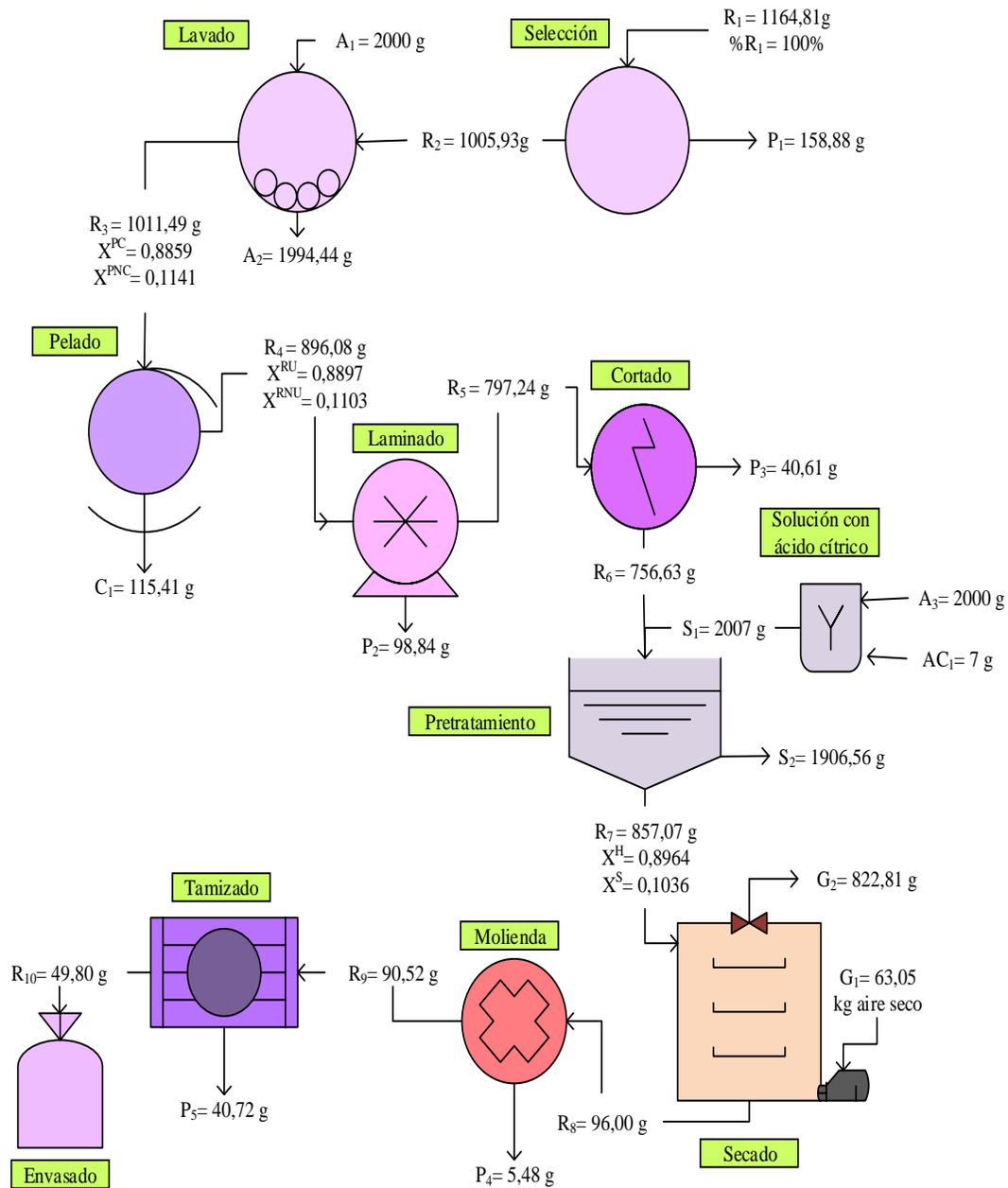
$$\% P_5 = \frac{P_5 * \% R_9}{R_9}$$

$$\% P_5 = \frac{40,72 * 100}{90,52}$$

$$\% P_5 = 44,98 \% \text{ pérdida en la etapa de tamizado}$$

4.11 Resumen general del balance de materia en el proceso de obtención de harina de remolacha

En la figura 4.57, se muestra el resumen general del balance de materia para la obtención de harina de remolacha.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.57: Resumen general del balance de materia para la obtención de harina de remolacha

4.12 Balance de energía en el proceso de secado para la obtención de harina de remolacha

El balance de energía se realizó en el proceso de secado de las muestras pre tratadas con solución de ácido cítrico a una concentración de 0,7 % para 2000 g de agua potable,

$$R * E_7 + G * E_{G1} + Q_p = R * E_8 + G * E_{G2} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Despejando Q_p de la ecuación 4.30 se obtiene:

$$Q_p = R * E_8 + G * E_{G2} - R * E_7 - G * E_{G1} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Ordenando las variables de la ecuación 4.31 se obtiene:

$$Q_p = G(E_{G2} - E_{G1}) + R(E_8 - E_7) \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Para calcular la entalpia del aire, se tomó en cuenta la ecuación 4.33 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$E_a = C_s (T_a - T_0) + YH_L \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Donde:

$H_L = 2454,1$ kJ/kg de agua a $18,91$ °C de la tabla F.4 (Anexo F)

$Y_{G1} = 0,015$ kg agua/ kg de aire seco

$T = 18,91$ °C

$T_0 = 0$ °C

Ajustando el valor H_L ($2453,1$ kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (610 mmHg) se obtiene que el valor ajustado es $1969,72$ kJ/kg de agua a $18,91$ °C.

$$E_{G1} = (0,81 \text{ kJ/kg} + (1,51 \text{ kJ/kg} * 0,015 \text{ kg/kg})) (18,910) + (0,015 \text{ kg/kg} * 1969,72 \text{ kJ/kg})$$

$$E_{G1} = 45,29 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.33 para determinar la entalpia de aire a la salida del secador.

Dónde:

$H_L = 2406,0$ kJ/kg de agua a $39,62$ °C de la tabla F.4 (Anexo F)

$Y_{G2} = 0,0285$ kg agua/ kg de aire seco

$T_{G2} = 39,62$ °C

$T_0 = 0$ °C

Ajustando el valor H_L (2406,0 kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (610 mmHg) se obtiene que el valor ajustado es 1931,13 kJ/kg de agua a 39,62 °C

$$E_{G2} = (0,81 \text{ kJ/kg} + (1,51 \text{ kJ/kg} * 0,0285 \text{ kg/kg})) (39,62 - 0) + (0,0285 \text{ kg/kg} * 1931,13 \text{ kJ/kg})$$

$$E_{G2} = 88,83 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

Para calcular la entalpia del producto, se tiene la ecuación 4.34.

$$E_p = C_p(T_p - T_o) + X_p C_{pX}(T_p - T_o) \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

C_p = Calor específico del producto (kJ/kg °C)

T_p = Temperatura del producto (°C)

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

C_{pX} = Calor específico del agua (kJ/ kg agua °C)

Para calcular el calor específico de cualquier tipo de alimento, se tiene la ecuación 4.35 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_{p_p} = X_c * C_{p_c} + X_p * C_{p_p} + X_f * C_{p_f} + X_a * C_{p_a} + X_w * C_{p_w} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Donde:

$C_{p_c} = 1,424$ (kJ/kg °C) = Calor específico de los carbohidratos

$C_{p_p} = 1,549$ (kJ/kg °C) = Calor específico de las proteínas

$C_{p_f} = 1,675$ (kJ/kg °C) = Calor específico de las grasas

$C_{p_a} = 0,837$ (kJ/kg °C) = Calor específico de las cenizas

$C_{p_w} = 4,187$ (kJ/kg °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

Reemplazando valores en la ecuación 4.35 se obtiene:

$$C_{p_p} = X_c * 1,424 + X_p * 1,549 + X_f * 1,675 + X_a * 0,837 + X_w * 4,187 \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Para calcular el calor específico de la remolacha se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.47 de datos extraídos del (Anexo A)

Tabla 4.47

Datos de la composición fisicoquímica de la remolacha

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	X_c	0,0881
Proteína	X_p	0,0123
Grasa	X_f	0,0006
Ceniza	X_a	0,0104
Humedad	X_w	0,8826

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, reemplazando datos de la tabla 4.47 en la ecuación 4.36 se obtiene:

$$C_{p_{R7}} = 0,0881 * 1,424 + 0,0123 * 1,549 + 0,0006 * 1,675 + 0,0104 * 0,837 + 0,8826 * 4,187$$

$$C_{p_{R7}} = 3,85 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.33, reemplazando datos se obtiene la entalpia de la muestra de remolacha a la entrada del secador:

$$E_{R7} = C_{R7}(T_{R7} - T_0) + X_{R7}C_{PX}(T_{R7} - T_0)$$

$$E_{R7} = 3,85 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(18,91 - 0)^\circ\text{C} + 8,65 \text{ kg/kg} * 4,187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(18,91 - 0)^\circ\text{C}$$

$$E_{R7} = 757,67 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Para calcular el calor específico de la harina de remolacha se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.48, de datos extraídos del (Anexo A)

Tabla 4.48

Datos de la composición fisicoquímica de la harina de remolacha

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	X_c	0,7219
Proteína	X_p	0,1163
Grasa	X_f	0,0041
Ceniza	X_a	0,0466
Humedad	X_w	0,0751

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, reemplazando datos de la tabla 4.48, en la ecuación 4.36 se obtiene:

$$C_{pR8} = 0,7219 \cdot 1,424 + 0,1163 \cdot 1,549 + 0,0041 \cdot 1,675 + 0,0466 \cdot 0,837 + 0,0751 \cdot 4,187$$

$$C_{pR8} = 1,56 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto a partir de la ecuación 4.33, reemplazando datos se obtiene la entalpia de la remolacha seca a la salida del secador:

$$E_{R8} = C_{R8}(T_{R8} - T_O) + X_{R8}C_{PX}(T_{R8} - T_O)$$

$$E_{R8} = 1,56 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(39,62 - 0)^\circ\text{C} + 0,081 \text{ kg/kg} \cdot 4,187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(39,62 - 0)^\circ\text{C}$$

$$E_{R8} = 75,24 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Tenemos los siguientes datos:

$$E_{R8} = 75,24 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$E_{R7} = 757,67 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$E_{G1} = 45,29 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$E_{G2} = 88,83 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$G = 63,05 \text{ kg de aire seco}$$

$$R = 96,00 \text{ g} = 0,096 \text{ kg sólido seco}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.32 se obtiene:

$$Q_p = 63,05 \text{ kg} (88,83 \text{ kJ/kg} - 45,29 \text{ kJ/kg}) + 0,096 \text{ kg} (75,24 \text{ kJ/kg} - 757,67 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_p = 2699,27 \text{ kJ}$$

$$Q_p = 645,14 \text{ kcal}$$

El calor necesario para el proceso de secado de las muestras de remolacha es de 645,14 kcal para obtener una cantidad de 96,0 g de remolacha seca.

4.12.2 Balance de energía en el proceso de laminado

Para el balance de energía en el proceso de laminado se utilizó 896,08 g de remolacha para un tiempo de 0,019 h.

$$P = \frac{E}{Q} \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Despejando E, de la ecuación 4.37 se tiene:

$$E = P * Q \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.38 se tiene:

$$E = 220 \text{ w} * \frac{1 \frac{\text{kcal}}{\text{1h}}}{1,163 \text{ w}} * 0,019 \text{ h}$$

$$E = 3,60 \text{ kcal}$$

4.12.3 Balance de energía en la etapa de molienda

Para el balance de energía en la etapa de molienda se utilizó 96,0 g de remolacha seca para un tiempo de 0,28 h.

Reemplazando valores en la ecuación 4.38 se tiene:

$$E = 1000 \text{ w} * \frac{1 \frac{\text{kcal}}{\text{1h}}}{1,163 \text{ w}} * 0,28 \text{ h}$$

$$E = 240,76 \text{ kcal}$$

4.12.4 Balance de energía en la etapa del tamizado

Para el balance de energía en la etapa del tamizado se utilizó 90,52 g de remolacha en polvo un tiempo de 0,5 h. Reemplazando valores en la ecuación 4.38 se tiene:

$$E = 80 \text{ w} * \frac{1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{1,163 \text{ w}} * 0,5 \text{ h}$$

$$E = 34,40 \text{ kcal}$$

El calor necesario para el proceso de obtención de harina de remolacha es de 923,90 kcal para obtener una cantidad de 49,80 g de harina de remolacha.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

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

- En base al índice de madurez la remolacha presenta un promedio: pH 6,54; °Brix 11,62; acidez 0,18 %; e índice de madurez óptimo de 64,92 °Brix/porcentaje de ácido cítrico.
- En base a las propiedades físicas de la remolacha presenta un promedio: peso 158,92 g; diámetro longitudinal 6,75 cm; diámetro ecuatorial 6,43 cm; porción comestible 88,59 %; porción no comestible 11,41 %; rodajas útiles 88,97 % y rodajas no útiles 11,03 %.
- En base a los resultados fisicoquímicos de la remolacha (*Beta vulgaris*) se tiene: ceniza 1,04 %; fibra 0,48 %; humedad 88,26 %; grasa 0,06 %; proteína 1,23 %; hidratos de carbono 8,81 % y valor energético 40,70 kcal/100g. Así mismo, en micronutrientes contiene: 316,0 mg/100g potasio y 147,0 mg/100g sodio.
- En base a los análisis microbiológicos de la remolacha (*Beta vulgaris*), esta contiene: Coliformes totales $5,2 \times 10^2$ UFC/g; Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); Mohos y levaduras $2,3 \times 10^2$ UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.
- Realizada las curvas de variación del contenido de humedad en función de los tratamientos, se eligió la muestra (S02) tratada con solución en ácido cítrico como tratamiento previo para las muestras de remolacha; debido a que, para un tiempo de 195 minutos presenta 0,084 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, se eligió la muestra sin tratamiento (S05) con la finalidad de determinar si existen diferencias durante el proceso de secado.
- Realizada las pruebas del diseño factorial 2^3 con solución de ácido cítrico y sin tratamiento, la muestra TC5 para tiempo de 190 minutos presentó 0,066 (kg agua/kg sólido seco) y la muestra T04 para tiempo de 260 minutos presenta

0,061 (kg agua/kg sólido seco), por lo cual, se procedió a elegir la muestra TC5 con solución de ácido cítrico para la obtención de harina de remolacha.

- En base a la variación de los factores: temperatura A₁ (50,0 °C) a A₂ (60,0 °C), velocidad de aire B₁ (4,5 m/s) a B₂ (5,5 m/s) y corte C₁ (0,1 cm) a C₂ (0,3 cm), las muestras con solución de ácido cítrico se ven favorecidas en la disminución de tiempo de secado y contenido de humedad en base seca, en donde se pudo evidenciar que la muestra TC4 a temperatura 60,0 °C, velocidad del aire 5,5 m/s y corte 0,1 cm y tiempo 110 minutos presenta 0,086 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, la variación del factor temperatura, velocidad de aire y corte para las muestras sin tratamiento no es muy significativa; ya que no influye en el tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.
- En base a los resultados fisicoquímicos de la harina de remolacha esta contiene: ceniza 4,66 %; fibra 3,60 %; humedad 7,51 %; grasa 0,41 %; proteína 11,63 %; hidratos de carbono 72,19 % y valor energético 338,97 kcal/100g. Así mismo, en micronutrientes contiene: 1387,0 mg/100g potasio y 452,0 mg/100g sodio.
- En base a los análisis microbiológicos de la harina de remolacha esta contiene: Coliformes totales $2,6 \times 10^2$ UFC/g; Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); Mohos y levaduras $2,3 \times 10^2$ UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.
- En base al balance de energía se determinó que la cantidad de calor necesario para el proceso de obtención de harina de remolacha es de 923,90 kcal para obtener una cantidad de 49,80 g de harina de remolacha.

5.2 Recomendaciones

- Incentivar la producción de harina de remolacha mediante la implementación de una planta piloto en la provincia Cercado, con la finalidad de contribuir al desarrollo económico y agroindustrial de la ciudad de Tarija.

- Se recomienda introducir la harina de remolacha en el mercado local, para ser empleada en diferentes preparaciones culinarias y así, aprovechar sus propiedades nutricionales por su alto contenido en potasio y sodio.
- Se recomienda procesar la remolacha mediante el método de conservación al vacío para observar el comportamiento y comparar con el secado por aire caliente, con la