

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Una de las hortalizas con más exigencias en cuanto a requerimientos climáticos es la coliflor. De los miembros del grupo de las coles, la coliflor es la más sensible a las temperaturas inferiores o superiores a su variación óptima. En el trópico se da mejor durante los meses frescos a mayores altitudes, donde la temperatura media varia (12 – 18) °C; en efecto, para la producción satisfactoria de la coliflor se requieren temperaturas uniformemente frescas (Edmon, 1998).

Según Donath, (2018) “Los riesgos al que un agricultor se enfrenta en cada ciclo de los cultivos son: la baja productividad y el precio que obtiene al vender su producción, por esta razón trata de obtener la mayor producción posible” (pág. 2).

Las hortalizas están consideradas a nivel mundial como fuente de vitaminas y minerales por lo que se cultivan en muchos países.

En Bolivia particularmente en el altiplano el consumo de hortalizas es bajo por no ser muy difundidas esto hace que los índices de desnutrición aumenten considerablemente. (FAO, 2003).

En Bolivia, el cultivo de la coliflor se realiza principalmente en las regiones de los valles, donde el clima templado y las condiciones del suelo son adecuadas para su crecimiento. Las zonas de Cochabamba, La Paz y Chuquisaca son particularmente destacadas por su producción de coliflor debido a sus altitudes y temperaturas que favorecen este cultivo. (Martinez, 2012).

Las hortalizas son vegetales de gran importancia en la dieta alimenticia del ser humano, por su alto valor nutritivo que posee entre estos se encuentra la coliflor “*Brassica oleracea L. var. Botrytis*” viene a ser una alternativa de consumo. (FAO, 2003).

La coliflor desde un punto de vista nutricional se destaca por su elevado aporte de potasio y vitamina C, estudios recientes afirman que la coliflor es una hortaliza anti cancerígena, previniendo el cáncer de mamas (Magder, 2010).

El secado es probablemente la técnica más antigua de conservación de los alimentos. Así, como los primitivos almacenaban semillas, cereales, y leguminosas, naturalmente maduros y secos al sol, durante largos periodos de tiempo; el hombre moderno desarrolló una técnica en donde aprovecha el aire caliente circundante para disminuir el contenido hídrico de los alimentos perecederos y aumentar por lo tanto su vida útil. La deshidratación con aire caliente es la técnica más difundida para la obtención de la mayoría de las frutas y hortalizas deshidratadas a nivel mundial (Fito, 2007).

1.2 Justificación

- ✓ La coliflor al ser una hortaliza que es poco apetecible por el sabor y aroma que presenta cuando se la consume debido a la presencia de azufre, razón por la cual se pretende dar otra alternativa (harina de coliflor) para que pueda ser introducida en la dieta alimenticia, como suplemento.
- ✓ Debido a la disponibilidad estacional de la materia prima (coliflor) en las épocas de cosecha; donde la oferta en la provincia de Cercado del departamento de Tarija, es mayor que la demanda; así como el agricultor no puede recuperar la inversión realizada, por ende; se ve forzado a vender sus productos a bajos precios. Lo cual incide negativamente en este sector que se ve frustrado al no poder vender su producción a precios ventajosos.
- ✓ Debido al creciente interés de la población por consumir alimentos saludables, se busca incorporar harina de coliflor para ayudar a fomentar al consumo indirecto de la coliflor, beneficiando económicamente a los productores locales de la ciudad de Tarija; mejorando la calidad de la misma y reduciendo su costo de producción.
- ✓ Se pretende elaborar harina de coliflor mediante el proceso de secado con aire caliente, para ser introducida como sub producto alimenticio para que pueda ser empleado en cualquier temporada del año en el área panificación o preparaciones culinarias.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

1.3.1 Objetivo general

Elaborar harina de coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea*), mediante proceso de secado por aire caliente, con la finalidad de ser utilizado como sub producto alimenticio en la provincia de Cercado de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicoquímicas de la materia prima con el fin de conocer la porción comestible y no comestible.
- Determinar las características físicas de la coliflor, con el propósito de conocer su composición nutricional.
- Determinar mediante pruebas preliminares de las muestras de la coliflor con el fin de definir el pretratamiento a ser aplicado durante la etapa de secado.
- Realizar análisis físicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la materia prima, como del sub producto con el fin de observar el cambio de sus propiedades nutricionales e inocuidad del producto.
- Aplicar el diseño experimental en la etapa de secado para la obtención de harina de coliflor variedad blanca
- Realizar el balance de materia y energía del proceso de elaboración del producto con la finalidad de conocer los flujos de entrada y salida del proceso.

1.4 Objeto de estudio

Obtención de harina de coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea*), controlando variables independientes que influyen en el proceso adecuado de secado con aire caliente, posterior molienda y tamizado, comprobando que variables influyan sobre la

variable respuesta y bajo qué condiciones de operación se logra conseguir un producto terminado para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.5 Campo de acción

El presente trabajo de investigación para obtener harina de coliflor variedad blanca tiene como campo de acción lo siguiente:

➤ Espacial

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), provincia de Cercado del departamento de Tarija.

➤ Temporal

El tiempo de realización del presente trabajo de investigación fué durante la gestión 2023 – 2024.

➤ Institución

El trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Laboratorio de Taller de Alimentos - UAJMS
- Laboratorio de Ingeniería de Alimentos - UAJMS
- Laboratorio de Operaciones Unitarias - UAJMS

1.6 Situación problemática

En la provincia de Cercado de Tarija, existe la producción de coliflor a precios bajos, así como la población desconoce las propiedades benéficas y bondades nutricionales para la salud que contiene esta hortaliza. Por otra parte, la coliflor a pesar de que es un producto de gran valor nutricional, ya que presenta potasio y vitamina C, presenta un aroma que es poco apetecible para las personas que la consumen debido a la presencia de azufre en su composición. Así mismo se puede observar que dentro de las diferentes preparaciones culinarias o panificadoras no existen productos elaborados secos en polvo a base de coliflor. Por estas razones se pretende elaborar harina de coliflor

variedad blanca, mediante el proceso de secado con aire caliente, con la finalidad de dar otra alternativa de consumo como suplemento alimenticio.

1.7 Formulación del problema

¿Se podrá elaborar harina de coliflor de variedad blanca (*Brassica oleracea*), como sub producto alimenticio mediante proceso de secado por aire caliente en la provincia de Cercado de Tarija?

1.8 Hipótesis

Con la finalidad de ser empleado como sub producto alimenticio en la provincia de Cercado de Tarija, se elaboró harina de coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea*), mediante proceso de secado por aire caliente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Harina vegetal

Según Pence et al, (2002) el uso de plantas y vegetales para la producción de harina tiene sus raíces en las primeras civilizaciones agrícolas. Desde tiempos antiguos, las culturas humanas han molido diversos granos y semillas para crear harinas, siendo los cereales como el trigo y la cebada los más comunes. Sin embargo, el uso de vegetales no cerealísticos para la elaboración de harina también tiene una larga tradición en varias culturas.

2.1.2 Definición de harina vegetal

De acuerdo con Brouns, (2000), “la harina se define como un polvo finamente molido elaborado a partir de granos de cereales u otros componentes vegetales con almidón, utilizado principalmente en diversos productos alimenticios y como ingrediente fundamental en productos horneados”. Según Gonzales, (2002), “la harina vegetal, es un producto resultante de la molienda de diversas partes comestibles de plantas, como granos, semillas, tubérculos, legumbres o frutos secos, hasta obtener un polvo fino” (Pág. 3).

2.1.3 Clasificación y tipos de harinas de origen vegetal

Según Mendoza, (2012), la clasificación de harina vegetal se refiere al proceso de categorización de estos productos según su origen vegetal, contenido nutricional, grado de procesamiento y usos culinarios. Las harinas vegetales pueden ser clasificadas según la fuente vegetal de las que provienen, como cereales, legumbres, frutos secos, semillas, tubérculos y raíces. Además, se pueden clasificar según su contenido de proteínas, fibra, gluten y carbohidratos, así como por su grado de procesamiento, ya sea integral o refinado. Esta clasificación proporciona una guía útil para entender las características nutricionales y las aplicaciones culinarias de cada tipo de harina vegetal. En la figura 2.1, se muestra las clasificaciones de harinas vegetales.

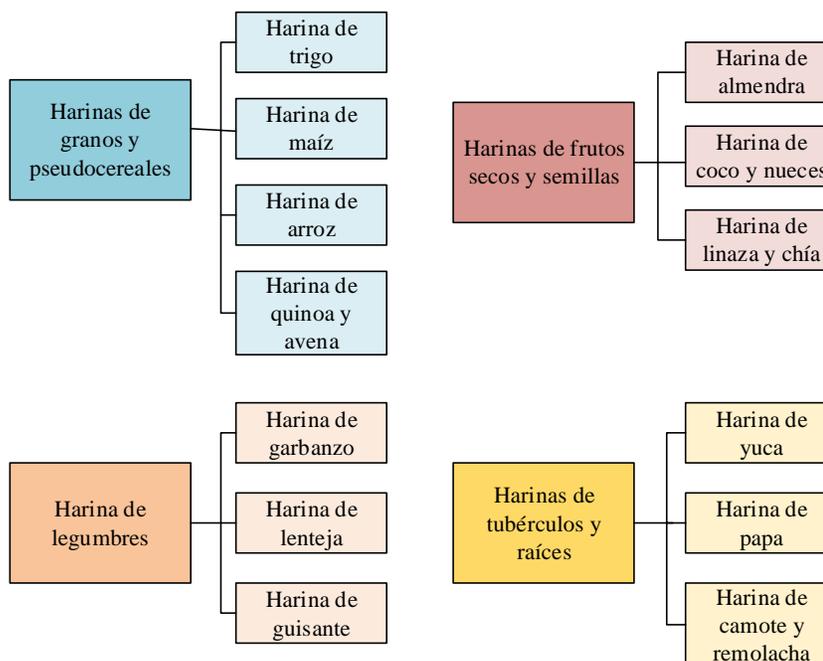


Figura 2.1. Clasificación de tipos de harinas
Fuente: Mendoza, 2012.

2.1.3.1 Clasificación de harinas vegetales

En la figura 2.2, se muestra la clasificación de las harinas vegetales según sus características en dos tipos de harina.

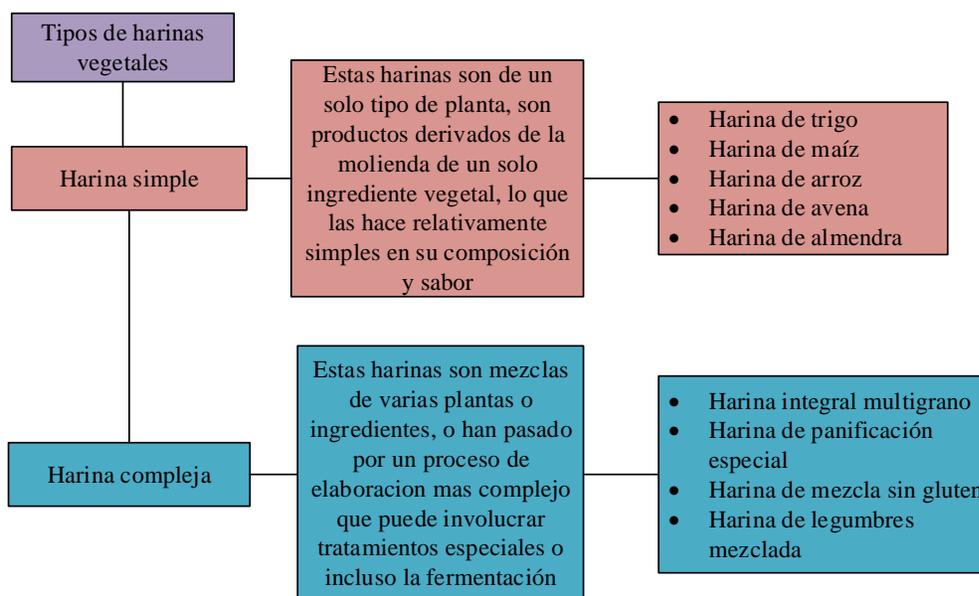


Figura 2.2. Tipos de harinas vegetales
Fuente: Mendoza, 2012.

2.1.4 Composición fisicoquímica de la harina de coliflor variedad blanca

La harina de coliflor es un producto derivado de la coliflor, su composición fisicoquímica puede variar ligeramente dependiendo del método de procesamiento y de la fuente de la coliflor, es un gran complemento alimenticio FAO, (2000). En la tabla 2.1, se indica los datos en porcentaje en base a 100 gramos de muestra sobre las características fisicoquímicas de la harina de coliflor.

Tabla 2.1

Características fisicoquímicas de la harina de coliflor variedad blanca

Parámetros	Unidad	Resultados
Humedad total	%	5,93
Proteínas	mg	3,00
Carbohidratos totales	g	5,00 – 6,00
Fibra	g	1,40
Cenizas	g	1,00
Grasas totales	g	0,20 - 0,50
Calorías	Kcal	29,00

Fuente: FAO, 2000

2.1.5 Propiedades nutricionales de la harina de coliflor variedad blanca

Según EFSA, (2010) menciona que el principal componente de la coliflor es el agua, lo que, acompañado del bajo contenido en hidratos de carbono, proteínas y grasas, la convierte en un alimento de bajo contenido energético. En relación con las vitaminas destaca la presencia de vitamina C (si bien una parte considerable de la misma puede perderse durante los procesos de cocción) y folatos. La vitamina C contribuye a la protección de las células frente al daño oxidativo y mejora la absorción del hierro. Los folatos contribuyen a la formación normal de las células sanguíneas y al funcionamiento normal del sistema inmunitario. Una ración de coliflor cubre el 33% de las ingestas recomendadas para la población de estudio. En cuanto a su contenido en minerales, se considera a la coliflor un alimento fuente de potasio el cual contribuye al funcionamiento normal del sistema nervioso y de los músculos, además del mantenimiento de la tensión arterial normal.

2.1.6 Propiedades microbiológicas de la harina de coliflor variedad blanca

Las propiedades microbiológicas de la harina de coliflor variedad blanca son cruciales para asegurar su seguridad y calidad, estas propiedades incluyen la presencia y los niveles de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras FAO, (2000). En la tabla 2.2, se indica los datos sobre las características microbiológicas de la harina de coliflor.

Tabla 2.2

Características fisicoquímicas de la harina de coliflor variedad blanca

Parámetros	Unidad	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	100
Coliformes fecales	g	1
Staphylococcus aureus	UFC/g	10
Salmonella	g	25
Mohos y levaduras	UFC/g	1.000
Listeria monocytogenes	UFC/g	Ausencia

Fuente: FAO, 2000

2.2 Coliflor

La coliflor es una hortaliza rica en minerales y vitaminas, con bajo contenido de glúcido y bajo aporte calórico, siendo un cultivo no tradicional que se caracteriza por un corto periodo vegetativo y posible de cultivar durante todo el año, convirtiéndose en una constante fuente de ingresos económicos para los productores (Ayala, 2011).

2.2.1 Beneficios del consumo de la coliflor

Entre las diferentes propiedades nutricionales y beneficios que encontramos en la coliflor es su alto contenido en agua, y sin embargo bajo contenido energético, por lo que la coliflor es ideal en dietas de control de peso. Es una gran fuente de vitamina C, fibra, ácido fólico, magnesio, potasio y calcio, y cuenta también con propiedades antioxidantes que ayudan a reducir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Dispone a su vez de propiedades diuréticas, por lo que son buenas en casos de retención de líquidos ya que favorecen la eliminación del exceso de líquidos, resultando también beneficiosa en casos de hipertensión (Ayala, 2011).

2.2.2 Clasificación taxonómica de la coliflor

En la tabla 2.3, se muestra la clasificación taxonómica de la coliflor.

Tabla 2.3

Taxonomía de la coliflor variedad blanca

Familia	Cruciferae
Género	Brassica
Especie	Oleracea
Nombre científico	<i>Brassica oleracea L.var. botrytis</i>
Nombre común	Coliflor
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida

Fuente: Zamora, 2016

2.2.3 Composición nutricional y fisicoquímica de la coliflor

La coliflor es una planta herbácea, de ciclo anual y bianual, de hábito erecto, se aprovecha su inflorescencia, llamada pella o cabeza, y se forma en el ápice del tallo; es de color blanco, compacto y esférico. Se caracteriza porque las flores en su estado inicial (primordio), aparecen formando una masa compacta similar a un cojín, estado en el cual se cosecha la inflorescencia para consumo humano. CORPOICA, (2006). En la tabla 2.4, se muestra la composición nutricional de la coliflor, por cada 100 gramos de porción comestible.

Tabla 2.4***Composición nutricional de la coliflor***

Componentes	Unidad	Cantidad
Calcio	mg	22
Hierro	mg	1
Magnesio	mg	16
Zinc	mg	0,3
Sodio	mg	8
Potasio	mg	350
Selenio	mg	60

Fuente: CORPOICA, 2006

En la tabla 2.5, se muestra la composición fisicoquímica de la coliflor por cada 100 gramos de porción comestible (crudo).

Tabla 2.5***Composición fisicoquímica de la coliflor***

Componentes	Unidad	Cantidad
Energía	Kcal	27
Lípidos totales	g	0,20
Ceniza	%	0,1224
Grasa total	g	0,45
Proteína total	g	2,2
Carbohidratos	g	4,90
Humedad	%	93,47
Hidratos de carbono	g	3,1
Fibra	g	16

Fuente: CORPOICA, 2006

2.2.4 Descripción botánica de la coliflor

La coliflor posee una raíz pivotante, corta y con ramificaciones. Puede alcanzar desde 30 hasta 50 cm de profundidad. El tallo es corto, cilíndrico, sin ramificaciones y alcanza el mismo diámetro de la cabeza floral. Las hojas, que pueden de ser color verde a verde azulado, son sésiles, enteras, poco a muy onduladas, oblongas, elípticas y muy

erguidas. Pueden alcanzar una longitud de 40 a 50 cm y un ancho de 20 cm. La inflorescencia o pella de la coliflor es un corimbo compuesto. Se desarrolla en la parte terminal del tallo y está constituido por una masa de flores, generalmente de color blanco o crema, abortivas con pedúnculo corto y carnoso (Hessayon, 2002).

2.2.5 Variedades de coliflor

Según Requena, (2013) existen tres variedades de coliflor significativas entro de la agricultura. En la figura 2.3, se muestran las variedades de coliflor según sus características.

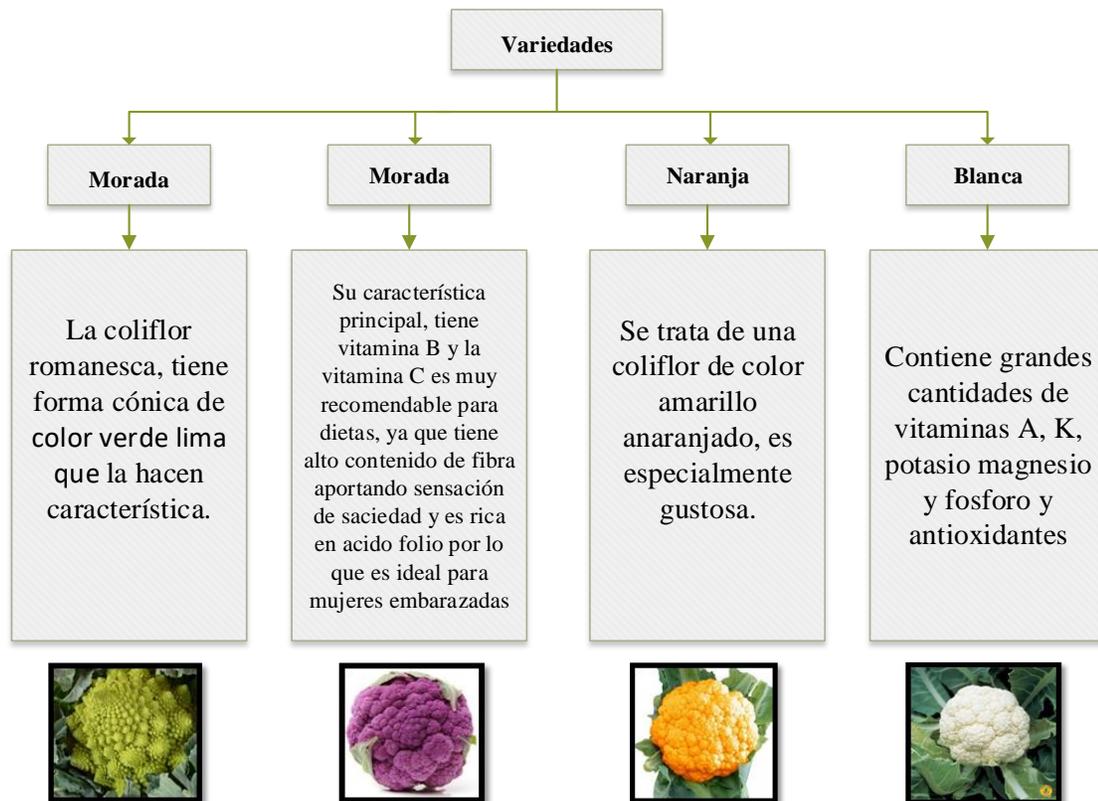


Figura 2.3. Características de la coliflor

Fuente: Requena, 2013

2.2.6 Partes de la planta de coliflor

Raíces: son muy ramificadas, profundas, pudiendo extenderse de 45 a 60 centímetros alrededor del tallo.

2.2.7 Tallo

Es cilíndrico, corto, carnoso, muy pequeño (10 cm), grueso, sin ramificación y al alcanzar su altura definida comienza la formación de hojas. Termina en una masa voluminosa (cabeza o pella) de yemas florales, hipertrofiadas, con pedúnculo corto y carnoso generalmente de color crema o blanco, apretadas unas contra otras y que son en realidad un órgano reproductor (Mendoza, 2006).

2.2.8 La pella o cabeza

Se empieza a formar cuando la planta tiene de 20 a 30 hojas. Sin embargo, el número de hojas a la formación de la pella, depende básicamente del tipo de cultivar utilizado y de las condiciones agroecológicas del cultivo (Mendoza, 2006).

2.2.9 Hojas

Son sésiles, enteras o hendidas, oblongas, (de unos 40 a 50 cm de largo y 20 cm de ancho) elípticas, largas y lanceoladas, de color verde claro, cubiertas de una delgada cera a veces con rizaduras en los bordes ligeramente festoneados y muy erguidas hacia arriba (Mendoza, 2006).

2.3 Aditivos antioxidantes de grado alimentario

Son varios los organismos con competencias en materia de aditivos alimentarios. Así que la Organización Mundial de la Salud, creó un conjunto de comités que evalúan diversos aspectos de los aditivos. Los aditivos antioxidantes para evitar el pardeamiento enzimático de las muestras de coliflor, se muestran a continuación.

2.3.1 Ácido L-ascórbico

Según Bastias et al. (2016), el ácido ascórbico o vitamina C es un agente antioxidante necesario para la formación y mantenimiento adecuado del material intercelular, puede reducir la acción perjudicial de los radicales libres. Se encuentra casi exclusivamente en vegetales y frutos secos.

Este compuesto es muy eficaz como inhibidor del pardeamiento enzimático debido a su capacidad de reducir quinonas a fenoles. El ácido ascórbico llega a ser un compuesto reductor moderadamente fuerte, formador de sales neutras con los álcalis y altamente soluble en agua (Pérez, 2003).

2.3.2 Ácido cítrico

Según Muñoz, (2019), el ácido cítrico es un polvo cristalino blanco, que se presenta de manera anhidra o como mono hidrato, el cual se concentra de forma natural en las frutas y verduras, tiene un pH entre 3-6 y es un ácido orgánico débil, el cual se utiliza con la finalidad de disminuir el pH para inactivar las enzimas oxidativas que provocan rápidamente el oscurecimiento en superficies cortadas de frutas y hortalizas.

2.4 Escaldado de frutas y hortalizas

El escaldado de frutas y hortalizas consiste en la inmersión del producto en agua, la temperatura aplicada y duración, dependen de la especie y de su estado de madurez, y tamaño (Meyer y Paltrinieri, 1996). El escaldado, se efectúa en atención a los siguientes objetivos:

- Inactivación de enzimas.
- Ablandamiento del producto.
- Eliminación parcial de los gases intercelulares.
- Fijación y acentuación del color natural.
- Reducción parcial de los microorganismos presentes.

La inactividad de las enzimas mejora la calidad del producto, reduciendo los cambios indeseables de sabor y color. Además, favorece la retención de algunas vitaminas como la vitamina C Meyer y Paltrinieri, (1996). El tiempo de escaldado de algunas hortalizas que se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2.6

Tiempo de escaldado de algunas hortalizas

Productos	Tiempo de escaldado en agua a temperatura de ebullición (minutos)
Brócoli	3
Repollo o col en trozos	5
Coliflor	3
Berza o col rizada	3
Hortalizas de hoja	2

Fuente: FAO, 2013

2.5 Secado de alimentos

El secado o deshidratación se usa como técnica de conservación de alimentos, donde se reduce su humedad, hasta un valor mínimo. Este método permite alargar la vida útil de los alimentos, ya que los microorganismos putrefactivos que causan los cambios químicos en los alimentos, no pueden crecer y desarrollarse en ausencia de agua. Los microorganismos pierden actividad cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Los términos de secado y deshidratación, aunque a menudo se utilizan como sinónimos, técnicamente son diferentes ya que un alimento se considera deshidratado cuando tiene menos de 2,5% de agua, no obstante, seco puede contener más de 2,5% (Torres, 2017).

El secado es un método simple y barato cuyo principio básico es el reducir el contenido de agua del alimento, ocasionando una reducción drástica de la actividad del agua de los productos alimenticios, aumentando el tiempo de conservación y la vida de anaquel del producto, facilitando su transporte y almacenamiento (Park et al, 2001).

2.5.1 Secado con aire caliente

El secado por aire caliente se define como la operación unitaria por la que el agua que contiene un sólido o una disolución se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido al gradiente de potencial químico existente entre ambas fases (Fito et al., 1998).

Durante el secado por aire caliente, el calor se transmite por convección, desde el aire de secado hasta la superficie del alimento, y por conducción, desde la superficie del alimento hasta su interior. La fuerza impulsora para la transferencia de materia por el interior del alimento es el gradiente de potencial químico entre el interior, más húmedo, y la superficie, más seca por estar en contacto con el aire de secado. En comparación con la deshidratación osmótica, el secado por aire caliente supone una mayor reducción del volumen de las muestras lo que, junto al empleo de elevadas temperaturas, puede ocasionar un colapso en la estructura del alimento, directamente relacionado con una menor capacidad de rehidratación, así como con una mayor pérdida, entre otros, de color y de valor nutritivo (Ramesh et al, 2001).

En la figura 2.4, se muestra el generador de flujo de aire caliente en alimentos:

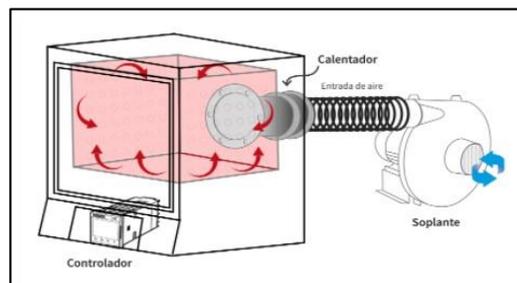


Figura 2.4. Generador de flujo de aire caliente en alimentos
Fuente: Michelis, 2015

2.5.2 Secadores de bandejas o de armario

Normalmente funciona en régimen intermitente. 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. Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor haciéndole pasar previamente por el calentador constituido por un haz de tubos por cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Los tabiques distribuyen uniformemente el aire sobre las pilas de bandejas. Por medio del conducto de salida se evacua continuamente aire húmedo y a través de la abertura de entrada penetra aire fresco. Al final del ciclo de secado, normalmente largo, se saca de la cámara al conjunto

de los bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga. Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadas en las que el aire circula a través de la capa de sólidos, con lo que se consigue aumentar la superficie de sólido expuesta a la acción del aire y disminuyendo consiguientemente la duración del ciclo de secado (Calle & Aparicio, 2011).

El secado de este equipo puede ser:

- De flujo horizontal, si el aire circula paralelamente al lecho a secar.
- De flujo transversal, si el aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

En la figura 2.5, el secador de bandeja por flujo de aire caliente.

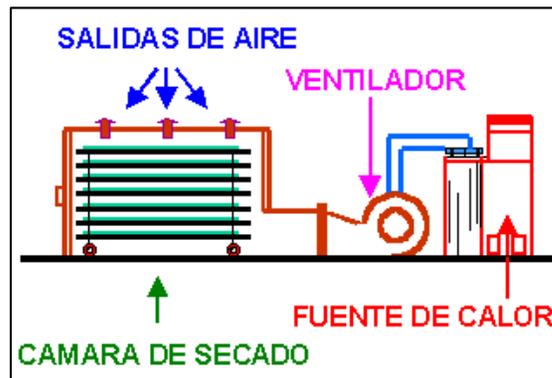


Figura 2.5. Secador de bandejas por flujo de aire caliente
Fuente: Calle & Aparicio, 2011

2.6 Parámetros que intervienen en el proceso de secado

Los parámetros que intervienen en el proceso de secado de alimentos son los siguientes.

2.6.1 Humedad en base húmeda

Según Cedeño, (2017) el contenido de humedad en base húmeda (HBH) se refiere a la cantidad de masa de agua por unidad de sólido seco más la masa del agua, mediante la ecuación 2.1, se calcula el contenido de humedad en base húmeda.

$$HBH = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólido seco} + \text{masa de agua}} \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

2.6.2 Humedad en base seca

Según Cedeño, (2017) el contenido de humedad en base seca (HBS) se refiere a la cantidad de masa de agua por unidad de solido seco en la muestra.

Mediante la ecuación 2.2, se calcula el contenido de humedad en base seca.

$$\text{HBS} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de solido seco}} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

2.6.3 Contenido de humedad de sólidos totales

El contenido de humedad es uno de los parámetros de mayor interés entre los que regulan la calidad de los granos y sus productos derivados, de allí la importancia de su determinación por métodos fiables. También influye de manera determinante en su conservación o resistencia al deterioro, a su vez es la referencia de la base seca del análisis bromatológico Bianco, (2014).

2.6.4 Contenido de humedad en equilibrio de la muestra

El contenido de humedad de equilibrio (CHE) es el contenido de humedad (en base seca o base húmeda) que un producto alcanza, cuando se deja durante un tiempo suficientemente largo en determinadas condiciones de temperatura y humedad del aire, la palabra equilibrio se refiere a que el producto no intercambia humedad con el aire que lo rodea. Esto sucede cuando la presión de vapor de agua en la superficie del producto y en el aire son iguales Martínez & Lira, (2010).

2.6.5 Contenido de humedad absoluta en el aire

Según Singh, (1996) “el contenido de humedad absoluta de la mezcla aire-vapor de agua, esta expresado como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco” (Pag.35).

2.6.6 Contenido de humedad relativa de la muestra

Relación entre la presión parcial que ejerce el vapor de agua en la mezcla aire-vapor de agua y la presión de vapor del agua como, líquido puro a la misma temperatura. La

humedad relativa es la relación entre la fracción molar del vapor de agua en una determinada muestra de aire húmedo y la existente en una muestra saturada a la misma temperatura y presión (Singh, 1996).

2.7 Psicometría

Los psicrómetros tienen ventaja en la medición de la humedad, ya que no utilizan sensores de humedad, sino mediciones de temperatura. Para obtener una medición precisa se determina la presión atmosférica y después calcular el valor de la humedad relativa mediante las ecuaciones del método psicométrico. Cuando circula una corriente de aire sobre los dos termómetros, el bulbo húmedo experimenta un descenso de su temperatura debido a la evaporación del agua presente en el tejido en que se encuentra envuelto. Se puede afirmar que la diferencia de temperaturas entre el bulbo seco y el bulbo húmedo está relacionada con la cantidad de vapor de agua presente en el ambiente (Tuero et al, 2016).

2.7.1 Temperatura de bulbo húmedo

La temperatura de bulbo húmedo es considerada como la temperatura más baja que se puede alcanzar solo evaporando el agua. Es la temperatura que siente cuando su piel está húmeda y expuesta al movimiento del aire. A diferencia de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo es una indicación de la cantidad de humedad en el aire (Tuero et al, 2016).

2.7.2 Temperatura de bulbo seco

Según Tuero et al, (2016), “la temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la domina solo temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común” (pág.35).

2.8 Cinética de secado

El estudio de la cinética de secado es esencial para diseñar un correcto proceso de secado, que permita además obtener un producto de calidad. Por otro lado, un buen

modelo matemático, que describa el proceso de secado puede considerarse como una herramienta muy eficiente para salvar obstáculos, tales como, daños al producto, consumo excesivo de energía, desgaste del equipo o a disminución del rendimiento (Vega et al, 2005).

La cinética del secado de un alimento no es más que la dependencia de la humedad del alimento y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este. La velocidad de secado se define como la distribución del contenido en humedad libre de un sólido por la unidad de tiempo (Soletto, 2009). La velocidad determinada en la ecuación 2.5.

$$W = \frac{S}{A} \left(\frac{dx}{dt} \right) \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Donde:

W= velocidad de secado (m/s)

A= área de la superficie expuesta (m²)

S= peso de solido seco (kg agua/kg sólido seco)

La velocidad de secado depende de las propiedades del aire utilizado y del contenido en humedad del sólido. Generalmente durante el secado cambian las propiedades del aire, aumentando su humedad y distribuyendo su temperatura, lo que modifica las fuerzas impulsoras para la transferencia de materia y la transmisión de calor. Si el caudal de aire es muy elevado en proporción a la masa de solido puede admitirse que sus propiedades no se modifican sustancialmente durante el proceso. En este caso se dice que el secado tiene lugar en condiciones de secado constantes (Soletto, 2009).

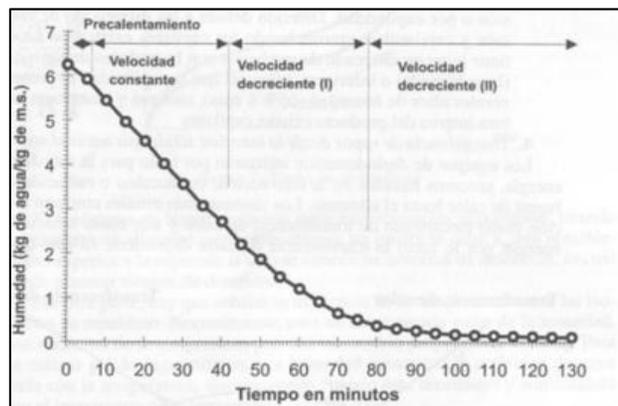
2.9 Curvas de secado de alimentos

Las velocidades de secado de los materiales alimenticios generalmente se determinan experimentalmente, ya que es muy difícil predecir con precisión las tasas de transporte de, masa y calor, las pruebas de secado se realizan sobre una capa de material, colocada en un secador experimental el peso en función de tiempo de la cual se obtienen la curva

de secado básica del contenido de humedad en base seca frente al tiempo y la curva de velocidad de secado (Saravacos & Maroulis, 2011).

2.9.1 Curva de contenido de humedad en relación al tiempo

El proceso de secado esta normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de pre calentamiento, seguido de otra velocidad de secado constante y una o más fases de velocidad de secado decreciente (Caps & Abril, 2003). En la figura 2.6, se muestra la curva del contenido de humedad en base seca a través del tiempo.



Fuente: Caps & Abril, 2009.

Figura 2.6. Velocidad de secado

Según Caps & Abril, (2009) en el secado por convección, se pueden distinguir las siguientes etapas clásicas, diferenciadas entre sí por la velocidad de secado.

2.9.1.1 Periodo de precalentamiento

Este periodo es corto al tiempo total de secado debido a que el producto a secar esta frio y se calienta hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo del medio, la velocidad de transmisión de masa es muy lenta, mientras que la trasmisión de calor es alta debido al gradiente de temperatura del aire del producto a secar (Arias, 2013).

2.9.1.2 Periodo de velocidad constante

Durante el cual se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de imbibición se elimina con el flujo másico constante. Este periodo continúa mientras

que la superficie del producto está alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad, esta etapa de velocidad de secado constante finalizara cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de humedad crítica (Caps & Abril, 2003).

2.9.1.3 Periodo de velocidad decreciente

Comienza a partir del punto correspondiente a la humedad crítica, la evaporación tiene lugar en el interior del producto a temperatura mayor que la del bulbo húmedo, la velocidad de secado disminuye por relación a la disminución del área de transferencia de masa (Arias, 2013).

2.9.2 Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad

El proceso de secado de un material, puede describirse por una serie de etapas en las que la velocidad de secado juega un papel determinante. Los periodos de velocidad de secado se aprecian si se representa la velocidad de secado (dx/dt : variación de la humedad con respecto del tiempo), En la figura 2.7 puede verse el tramo horizontal correspondiente a la velocidad constante y los tramos de velocidad decreciente. La humedad crítica coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente (Caps & Abril, 2003).

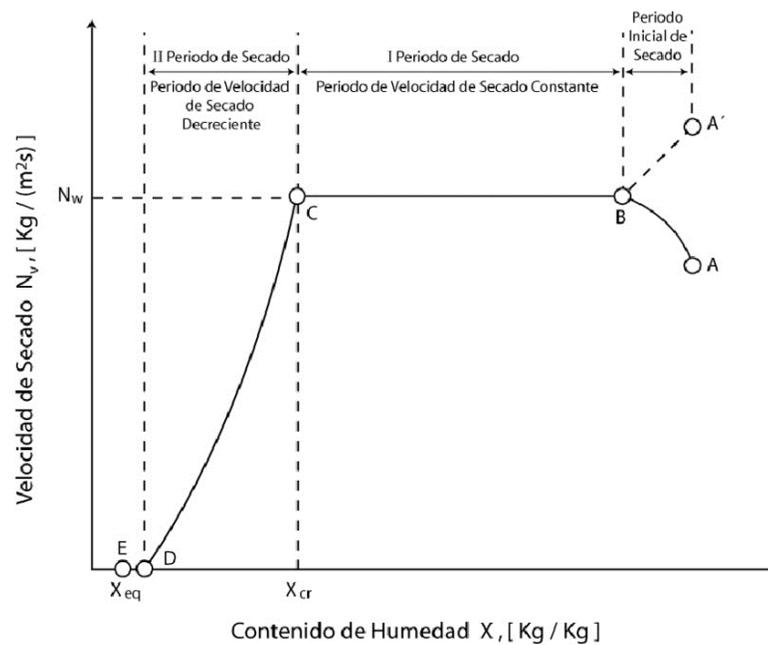
Donde:

N_v = Es la unidad de secado por unidad de área

N_w = Velocidad cuando el cuerpo está totalmente saturado

X_{cr} = Contenido de humedad crítico

X_{eq} = Contenido de humedad en equilibrio



Fuente: Mendieta & Icado, 2002

Figura 2.7. Cinética de secado

La figura 2.7 se muestra una curva de velocidad de secado en la que los puntos A y A' representan el inicio de secado para un material frío y caliente. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. El tramo de la curva B-C es conocido como periodo de velocidad constante de secado está asociado a la eliminación del agua no ligada al producto y termina cuando la humedad se reduce al contenido de humedad crítico (Ibarz & Barbosa, 2005).

El periodo de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado no se mantiene constante y empieza a disminuir. El punto C representa el inicio del periodo de velocidad decreciente. La primera de ellas se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está completamente seca (punto D), mientras que la segunda etapa de periodo de velocidad de secado decreciente se inicia en el punto B, cuando la superficie está completamente seca, y el plano de evaporación se traslada al interior del sólido y posteriormente se llega al equilibrio (Ibarz & Barbosa, 2005).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación “Elaboración de harina de coliflor variedad blanca”, se llevó a cabo en el Laboratorio Académico de la Carrera de Alimentos (LACIA), dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipo de intervención del trabajo de investigación a nivel experimental

Mediante el presente trabajo de investigación, se manejó la metodología experimental a nivel de laboratorio, con la finalidad de elaborar harina de coliflor variedad blanca en base a lo siguiente:

- Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la coliflor variedad blanca.
- Análisis organoléptico en el proceso de coliflor variedad blanca.
- Análisis del diseño factorial 2^3 de las variables en el proceso de secado de la coliflor.
- Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de harina de coliflor variedad blanca.
- Operacionalización de variables independientes y dependiente del proceso de secado para la elaboración de la harina de coliflor variedad blanca.

3.3 Paradigma investigativo

Según Hernández et al. (2018), el paradigma investigativo es una concepción del objeto de estudio de una ciencia, de la forma de explicar, interpretar y comprender los resultados de una investigación en base a un conjunto de creencias y actitudes, que implica una metodología determinada. Asimismo, Hurtado & Toro, (2007) afirman que el paradigma investigativo es un sistema de creencias, valores, metas y principios que determinan la visión que una determinada comunidad científica tiene de la realidad, así como los métodos y técnicas para la búsqueda de respuesta de soluciones del problema.

El presente trabajo de investigación está basado en un paradigma investigativo positivista, ya que se utilizó una metodología determinada para la organización e interpretación de los resultados.

3.4 Paradigma positivista

El paradigma positivista son las características que desde el punto de vista metodológico destacan significativamente la utilización de métodos y técnicas válidos y confiables, el procesamiento estadístico para un análisis objetivo riguroso de los datos, la posibilidad de generalizar los resultados (Hernández et al, 2018).

En el presente trabajo de investigación, se utilizó un paradigma positivista, ya que se tendrá en cuenta la utilización de métodos y técnicas para generalizar los resultados.

3.4.1 Enfoque de investigación

El enfoque investigativo, “es aquel cuantitativo que utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y confía en la medición numérica” (Maldonado, 2018, pág. 35). El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en un enfoque cuantitativo, ya que se realizó la recolección de datos de manera cuantitativa.

El presente trabajo de investigación se aplicó un enfoque cuantitativo, ya que se tendrá la recolección de datos de manera cuantitativa.

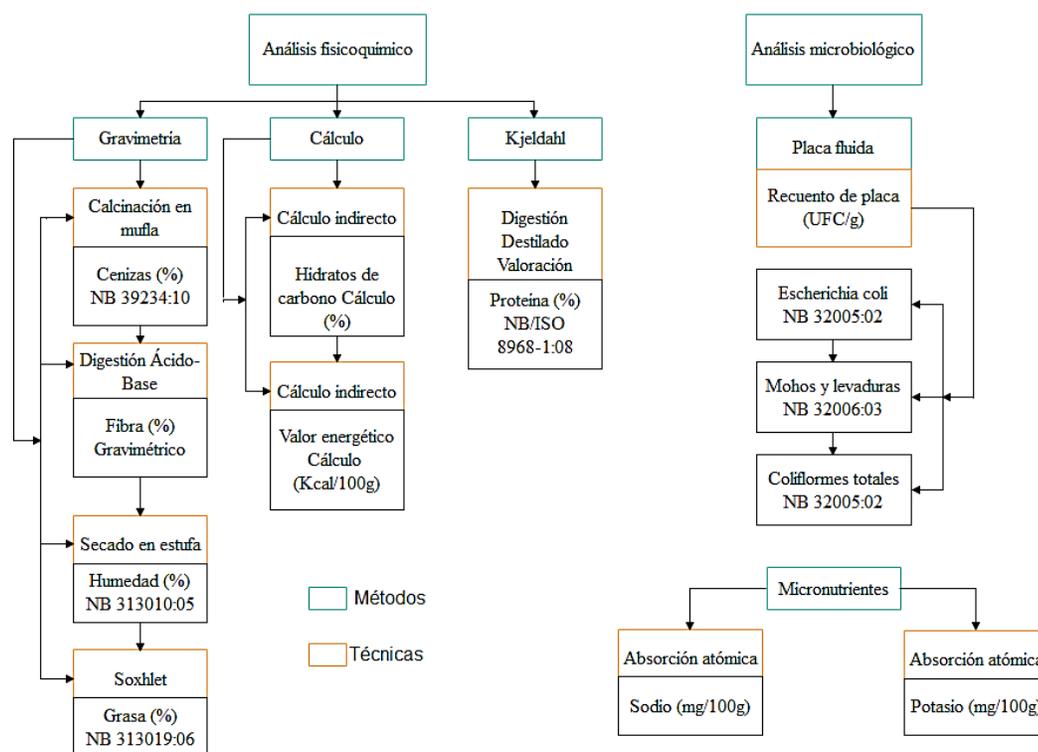
3.5 Métodos - técnicas para la determinación de análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Los métodos son las herramientas conceptuales o medios concretos mediante los cuales se recoge los datos e informaciones, mediante preguntas, ítems que exigen respuestas del investigado. Asumen diferentes formas de acuerdo con las técnicas que le sirven de base. Asimismo, las técnicas son un conjunto de normas y procedimientos para regular un determinado proceso y alcanzar un determinado proceso y alcanzar un determinado objetivo. Como así también los instrumentos son las herramientas conceptuales o

materiales que sirven a las técnicas de investigación especialmente a las técnicas de recolección de datos (Ñaupas et al, 2014). Los métodos y técnicas que se utilizaran en la obtención de resultados del presente trabajo de investigación.

3.5.1 Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la coliflor variedad blanca

En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas del análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la coliflor variedad blanca, del Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología.

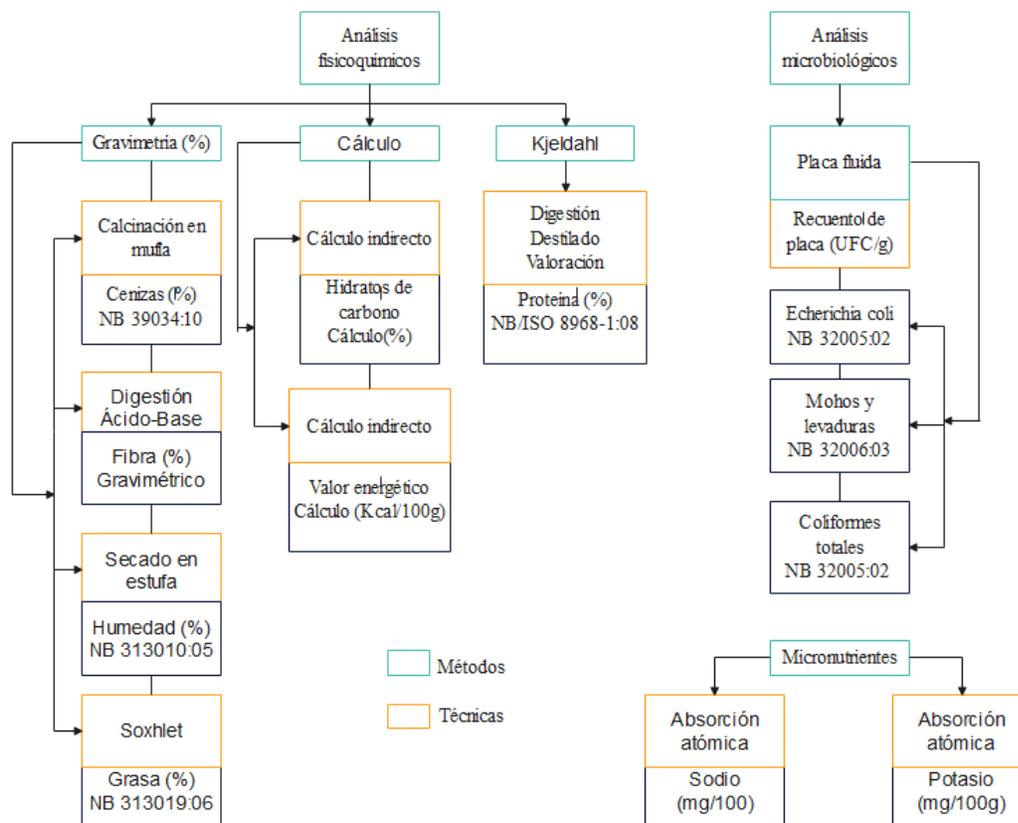


Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.1. Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes en la coliflor variedad blanca

3.5.2 Análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes de la harina de coliflor variedad blanca

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). La figura 3.2, muestra los métodos y técnicas que se utilizaron para determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes con el fin de conocer la composición nutricional y microbiológica de la harina de coliflor variedad blanca.



Fuente: CEANID, 2023

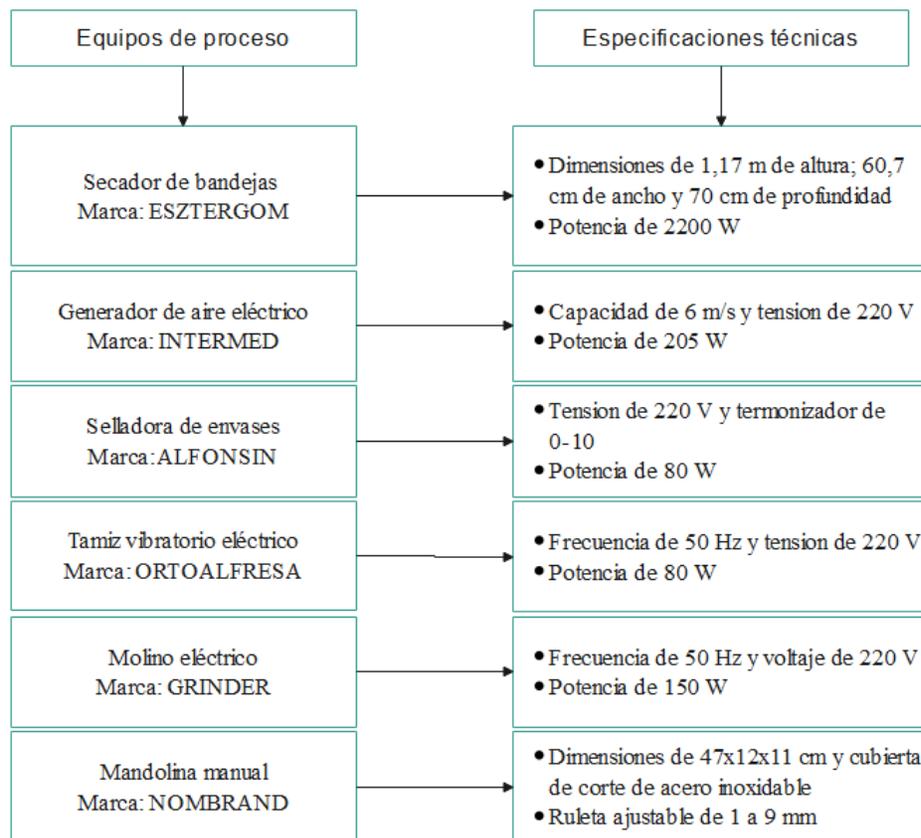
Figura 3.2. Métodos y técnicas para determinar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes en la harina de coliflor variedad blanca

3.6 Descripción de los equipos, instrumentos de laboratorio, utensilios de cocina y aditivos

A continuación, se describen los equipos, instrumentos de laboratorio, utensilios y aditivos que fueron utilizados en la parte experimental para obtener harina de coliflor variedad blanca.

3.6.1 Equipos de proceso

Los equipos requeridos para elaborar harina de coliflor variedad blanca se describen a continuación:

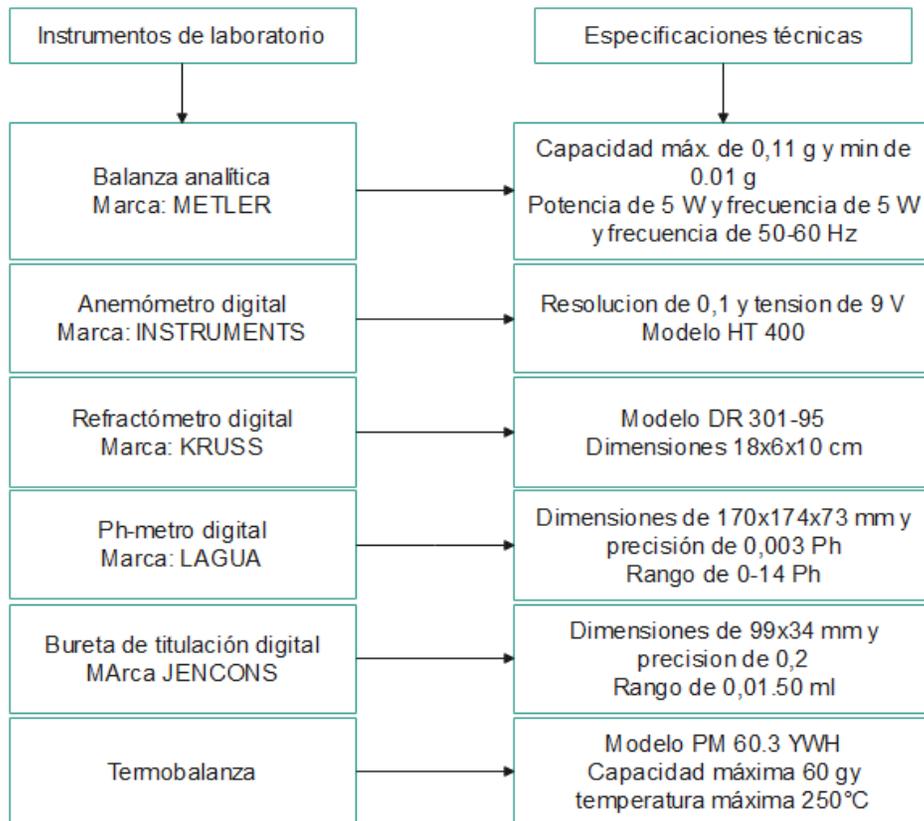


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3. Equipos del proceso de elaboración de harina de coliflor variedad blanca

3.6.2 Instrumentos del laboratorio

Los instrumentos utilizados en la parte experimental para obtener harina de coliflor variedad blanca, se detallan a continuación:



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Instrumentos de laboratorio

3.6.3 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina utilizados son:

- Cuchillo mediano de acero inoxidable
- Fuentes medianas de aluminio
- Olla mediana de aluminio
- Bandejas 35x35 con marco de aluminio y malla milimétrica de plástico
- Bandejas 60x60 con marco de aluminio y malla milimétrica de plástico
- Jarra graduada de 1 litro de plástico

- Colador metálico
- Tabla de cortar mediana de plástico
- Vaso descartable pequeño de plástico

3.6.4 Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo de investigación son:

- Termómetro de alcohol de vidrio de 0-100 °C
- Vidrio reloj mediano
- Paleta mediana de aluminio
- Vaso precipitado de vidrio de 100 ml
- Matraz Erlenmeyer de vidrio de 100 ml
- Pipeta de vidrio de 10 ml
- Desecador de 1 litro de capacidad de vidrio
- Termómetro de alcohol de vidrio de 0-100 °C
- Vidrio reloj mediano
- Paleta mediana de aluminio
- Vaso precipitado de vidrio de 100 ml
- Matraz Erlenmeyer de vidrio de 100 ml
- Pipeta de vidrio de 10 ml
- Desecador de 1 litro de capacidad de vidrio

3.7 Reactivos químicos de grado alimentario anti-pardeamiento

Los insumos alimentarios que se utilizaron durante el proceso para obtener harina de coliflor variedad blanca, se detallan a continuación en la tabla 3.1.

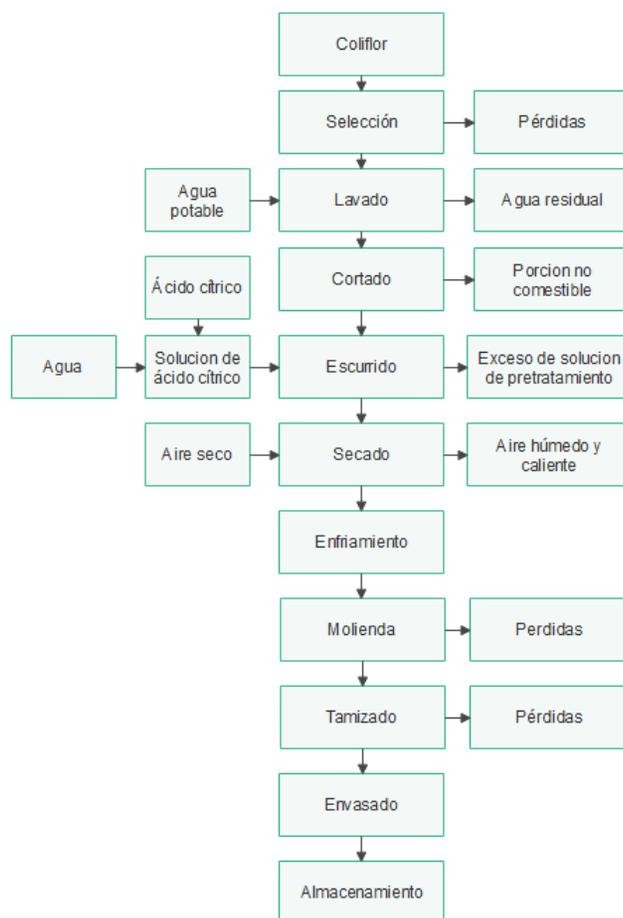
Tabla 3.1

<i>Insumos alimentarios</i>				
Ítems	Estado	Calidad	Marca	Cantidad (g)
Ácido ascórbico	Sólido	Alimenticio	Solquifar	5
Ácido cítrico	Sólido	Alimenticio	Solquifar	5
Meta bisulfito de potasio	Sólido	Alimenticio	Solquifar	5

Fuente: Elaboración propia

3.8 Diagrama de bloques para la obtención de harina de coliflor variedad blanca

En la figura 3.5, se muestra el diagrama de flujo para la obtención de harina de coliflor variedad blanca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de harina de coliflor variedad blanca

3.8.1 Descripción del diagrama de flujo del proceso de la harina de coliflor

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

3.8.1.1 Selección

La coliflor de variedad blanca que se utilizó en el presente trabajo de investigación, se obtuvo del Mercado Campesino de la provincia Cercado del departamento de Tarija, procedente de la comunidad Sella Norte, donde se seleccionó la parte comestible y no comestible de la misma; retirando impurezas como hojas, tallos, etc.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.6: Coliflor

3.8.1.2 Lavado

Se procedió a colocar las muestras de la coliflor variedad blanca en una fuente de acero inoxidable en la cual contenía agua potable con la una solución de DG6 con un tiempo de inmersión de seis minutos, con el fin de eliminar tierra, insectos y otras partículas extrañas que están contenidas en la misma flor.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.7: Lavado

3.8.1.3 Cortado

Después del lavado de las muestras de la coliflor, se procedió a separar la porción comestible (tallo y flor) y no comestible (tallo y hojas) con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable con el fin de facilitar el proceso de laminado.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.8: Cortado

3.8.1.4 Laminado

Una vez acondicionada la materia prima, se procedió con el troceado y laminado de la porción comestible de las muestras de la coliflor con el fin de facilitar la etapa de secado siendo en menor tiempo; esta etapa se realiza con la ayuda de una rebanadora de hortalizas de chuchillas de acero inoxidable donde se realizaron cortes de 0,1 y 0,3 cm.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.9: Laminado

3.8.1.5 Pretratamiento (solución de ácido cítrico)

El pretratamiento se realizó con la finalidad de evitar el pardeamiento de las muestras de la porción comestible de la coliflor durante la etapa de secado, el cual consistió en preparar soluciones con ácido cítrico, ácido ascórbico y escaldado en diferentes concentraciones (1%; 0,5%; 0,3%; 0,1%), una vez preparada las soluciones, las muestras fueron introducidas mediante inmersión por un tiempo de 1, 3, 5, 7 minutos para los diferentes tratamientos.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.10: Pretratamiento

3.8.1.6 Escurrido

Después de la etapa de pretratamiento se procedió a escurrir las muestras de porción comestible de la coliflor, colocándolas sobre un colador metálico con el fin de eliminar el exceso de solución del tratamiento químico y reducir el tiempo de secado de las muestras.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.11: Escurrido

3.8.1.7 Secado

Para poder determinar la pérdida de peso en función del tiempo de las muestras de la coliflor, se armó un equipo (bandeja, balanza digital, soporte metálico), de modo que el soporte forma la base sobre el secador en el cual se ubica la balanza digital. Posteriormente, se realizó una conexión por el conducto de salida del aire entre la balanza analítica y la bandeja milimétrica (14x14) cm la cual estaba ubicada en la cabina del secador, evitando el rozamiento con las paredes del tubo metálico. Después de ajustar las condiciones para el proceso de secado, se procedió a introducir las muestras de porción comestible de la coliflor en la bandeja milimétrica que se encuentra dentro de la cámara del secador, y la determinación de variación de pérdida del peso se registró cada 20 minutos hasta peso constante con lectura directa a la balanza digital. Terminando de secar las muestras de la coliflor, se procedió a enfriarlas en las mismas bandejas a temperatura ambiente (20-25) °C, luego se envasó en bolsas de polipropileno (9 cm de alto y 6 cm de ancho) con el fin de que no absorba humedad del ambiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.12: Secado

3.8.1.8 Molienda

El proceso de molienda consistió en introducir las muestras secas al molino analítico con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas y homogenizar las muestras hasta alcanzar la granulometría de (0,25) mm necesario para las harinas. En un tiempo de diez minutos.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.13: Molienda

3.8.1.9 Tamizado

Terminado la molienda, se procedió al tamizado de la muestra obtenida en polvo de la materia prima, el cual se realizó con un tamizador vibratorio eléctrico con aberturas de malla de: 0,50 y 0,25 mm en la serie Tyler, con la finalidad de obtener en polvo el producto. El tiempo utilizado para realizar esta etapa fue de 25 minutos a una velocidad de 2500 r.p.m.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.14: Tamizado

3.8.1.10 Envasado

Una vez finalizado todo el proceso se procedió al envasado en bolsas de polipropileno de alta densidad con cierre hermético, con el fin de proteger contra la humedad del ambiente y contaminación ambiental el producto final obtenido es almacenado en condiciones de temperatura ambiente; en un lugar oscuro con la finalidad de alargar su vida útil.



Fuente: Elaboración propia
Figura3.15: Envasado

3.9 Evaluación sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial se ha definido como la disciplina científica utilizada para revocar, medir, analizar e interpretar las respuestas a productos percibidos a través de los sentidos de la vista, olfato, el tacto, el gusto y el oído (Severiano, 2019).

En otras palabras, es la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consumo. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo (Hernández, 2005).

En la tabla 3.2, se detalla la evaluación sensorial que pretende ser elaborada durante el presente trabajo de investigación, con la finalidad de evaluar los atributos sensoriales a las muestras secadas de coliflor variedad blanca.

Tabla 3.2*Evaluación sensorial aspirada a las muestras secas de la coliflor variedad blanca*

Evaluación sensorial para determinar el producto final				
Lugar	Muestra	Atributo	Jueces	Escala
LES	HC01	Olor	18 jueces no entrenados	Hedónica 7 puntos
		Color		
		Apariencia		
LES	HC02	Color	18 jueces no entrenados	Hedónica 7 puntos
		Apariencia		
		Olor		
LES	HC03	Color	18 jueces no entrenados	Hedónica 7 puntos
		Apariencia		
		Olor		
LES	HC04	Color	18 jueces no entrenados	Hedónica 7 puntos
		Apariencia		
		Olor		

Fuente: Elaboración propia

3.10 Diseño experimental

Según Balluerca & Vergara, (2002) describe el diseño experimental como una combinación entre los conceptos “constancia”, “comparación”, “aleatorización” y “control”. En este tipo de estructura de investigación algunas variables se comparan entre sí, otras se mantienen constantes a un determinado nivel y, por lo tanto, se controlan, y otras varían sin restricción alguna bajo el supuesto de que sus posibles efectos perturbadores son promediados gracias al azar.

Un experimento puede definirse como una prueba o series de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada del proceso de un proceso o sistema para observar e identificar, los cambios que pudieran observarse en la variable respuesta de salida (Montgomery, 2004).

3.11 Diseño factorial

Según Balluerca & Vergara, (2002) el diseño factorial fraccionado proporciona la posibilidad de planificar nuevos experimentos con los factores que hayan resultado más efectivos en el experimento inicial. Los diseños que se factorizan habitualmente son diseños factoriales de dos niveles o diseños 2^k .

El diseño factorial a ser aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación, se muestra la ecuación 3.1:

$$2^k \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

2= Número de niveles

k= Número de variables (Factores)

Según Ferre, (2004), en un diseño factorial 2^k es fácil expresar los resultados del experimento en términos de un modelo de regresión. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C + \beta_{AxB} X_A X_B + \beta_{AxC} X_A X_C + \beta_{BxC} X_B X_C + \beta_{AxBxC} X_A X_B X_C$$

Ecuación 3.2

Donde:

β = Coeficiente de regresión

$X_A X_B X_C$ = Valor codificado tomado de los valores del experimento

3.12 Diseño factorial en la etapa de secado de la coliflor variedad blanca

El diseño experimental que se pretende aplicar para el siguiente trabajo de investigación en el proceso de secado, se designó de acuerdo a la ecuación 3.1 cuya ecuación corresponde a la ecuación 3.3.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos/prueba} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde las variables propuestas para el trabajo de investigación son: temperatura, tipo de corte y velocidad del aire a la entrada del secador; los niveles de variación de los factores se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

Niveles de variación de los factores en el proceso de secado

Factores	Nivel bajo	Nivel alto	Unidad
Temperatura de secado (A)	50,0	60,0	°C
Tipo de corte (B)	0,1	0,3	cm
Velocidad del aire (C)	5,0	6,0	m/s

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.4, se muestra la matriz del diseño factorial que fue aplicado en el proceso de secado de la coliflor variedad blanca, construido por tres variables: temperatura (A), tipo de corte (B) y velocidad del aire (C).

Tabla 3.4

Diseño factorial de la matriz de las variables para el proceso de secado

Combinación	Factores			Interacción de efectos				Respuesta	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y _i	Y _{i2}
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁	Y ₁
a	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂	Y ₂
b	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃	Y ₃
ab	+	+	-	+	-	-	-	Y ₄	Y ₄
c	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅	Y ₅
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆	Y ₆
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇	Y ₇
abc	+	+	+	-	+	+	+	Y ₈	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Y_i = Contenido de humedad de base seca (g agua/g sólido seco)

Y_{i2} = Contenido de humedad de base seca (g agua/g sólido seco)

3.13 Operacionalización de las variables en el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca

La Operacionalización de las variables es un proceso en cual se transforma una variable teórica compleja en variables, directamente observables, con la finalidad de que puedan ser medidas a través de la aplicación de un instrumento (Espinoza, 2018). En la tabla 3.5, se muestra la Operacionalización de las variables en la obtención de harina de coliflor variedad blanca para el secado.

Tabla 3.5

Operacionalización de las variables en la elaboración de harina de coliflor variedad blanca

Hipótesis	Variables		Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
La metodología experimental de secado por aire caliente a ser aplicada permitirá obtener harina de coliflor de variedad blanca (<i>Brassica oleracea L.</i>), permitió elaborar un producto dentro de la industria de panificación y preparaciones culinarias en la provincia de Cercado de Tarija.	Variable independiente	Proceso de secado mediante aire caliente	“Proceso por el cual un producto se somete a la acción de aire caliente, en el cual se elimina parcial o totalmente el contenido de agua del producto que la contiene (Fito et al., 2016)”.	Tiempo de secado	(3-6) h
				Contenido de humedad	(%)
				Temperatura de secado	(50-60)°C
				Tipo de corte	(0,1- 0,3) cm
				Velocidad del aire	(5 - 6) m/s
	Variable dependiente	Harina de coliflor variedad blanca	La harina se puede definir como “un polvo fino obtenido de la molienda de granos, cereales, semillas, tubérculos y otros productos vegetales ricos en almidón y proteínas” (García, 2015, Pág. 28.)	Proteína	(%)
				Hidratos de carbono	(%)
				Fibra	(%)
				Grasa	(%)
				Humedad	(%)
				Cenizas	(%)
				Valor energético	(Kcal/100g)
				Mohos y levaduras	(UFC/g)
				Escherichia coli	(UFC/g)
Coliformes totales	(UFC/g)				
Análisis organoléptico	Color				
	Apariencia				

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la coliflor variedad blanca

Para la caracterización de la coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea*), se tomaron en cuenta los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico, realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, los cuales se detallan a continuación:

4.1.1 Propiedades físicas de la coliflor variedad blanca

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos de las 15 muestras de coliflor variedad blanca tomadas aleatoriamente para determinar las propiedades físicas: altura, diámetro inferior, peso, porción comestible, porción no comestible y peso de las rodajas de coliflor variedad blanca realizadas en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4.1

Propiedades físicas de la coliflor variedad blanca

Muestras	Altura (cm)	Diámetro Inferior (cm)	Peso (gr)	Porción comestible (%)	Porción no comestible (%)	Láminas útiles(%)	Láminas no útiles (%)
1	20,1	18,9	928,36	89,92	10,08	93,16	6,84
2	24,3	20,1	802,99	78,68	21,32	98,04	1,96
3	20,2	19,9	973,33	86,27	13,73	90,04	9,96
4	25,4	20,3	900,33	87,20	12,80	91,13	8,87
5	27,6	23,1	878,95	84,35	15,65	89,89	10,11
6	22,3	20,0	990,60	91,92	8,08	98,99	1,01
7	21,6	22,1	991,46	89,93	10,07	96,97	3,03
8	22,6	20,1	914,38	89,99	10,01	92,12	7,88
9	20,1	18,0	828,39	73,28	26,72	99,10	0,90
10	20,6	20,0	902,36	90,48	9,52	98,16	1,84
11	20,0	17,4	898,60	89,04	10,96	88,14	11,86
12	22,4	20,3	991,10	88,08	11,92	85,99	14,01
13	23,6	20,5	971,63	85,59	14,41	97,87	1,13
14	27,8	20,0	906,99	74,82	25,18	91,20	8,80
15	22,1	20,0	990,60	84,58	15,42	90,13	9,87
Promedio	22,71	20,05	924,67	85,61	14,39	93,65	6,54

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se puede observar el promedio de los resultados obtenidos del análisis físico de la coliflor variedad blanca presenta un promedio: altura 22,71 cm; diámetro inferior 20,05 cm; peso 924,67 g; porción comestible 85,61 %; porción no comestible 14,39 %; láminas útiles 93,65 %, láminas no útiles 6,54 % de coliflor variedad blanca.

4.1.2 Análisis fisicoquímico de la coliflor variedad blanca

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la coliflor variedad blanca de los datos extraídos de los análisis de laboratorio (Anexo B).

Tabla 4.2

Análisis fisicoquímico de la coliflor variedad blanca

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,81
Fibra bruta	%	1,06
Grasa	%	0,19
Hidratos de carbono	%	6,46
Humedad	%	90,84
Proteína total	%	1,70
Valor energético	Kcal/100g	34,35

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la coliflor variedad blanca: ceniza 0,81 %, fibra bruta 1,06 %, grasa 0,19 %, hidratos de carbono 6,46 %, humedad 90,84 %, proteína total 1,70 % y valor energético 34,35 Kcal/100g.

4.1.3 Análisis microbiológico de la coliflor variedad blanca

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la coliflor variedad blanca de datos extraídos de análisis de laboratorio (Anexo B).

Tabla 4.3

Análisis microbiológico de la coliflor variedad blanca

Microorganismos	Unidad	Resultado
Echerichia coli	UFC/g	1,0x10 ¹
Salmonella	P/A/25g	Ausencia

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la coliflor variedad blanca presenta: *Echerichia coli* $1,0 \times 10^1$ UFC/g, Salmonella P/A/25g sin desarrollo.

4.1.4 Análisis de micronutrientes de la coliflor variedad blanca

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes de la coliflor variedad blanca de datos extraídos del Anexo B.

Tabla 4.4

Análisis de micronutrientes de la coliflor variedad blanca

Minerales	Unidad	Resultado
Potasio	mg/100g	344,0
Fósforo	mg/100g	55,4

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis de micronutrientes que la coliflor variedad blanca presenta: potasio 344,0 mg/100g y fósforo 55,4 mg/100g total.

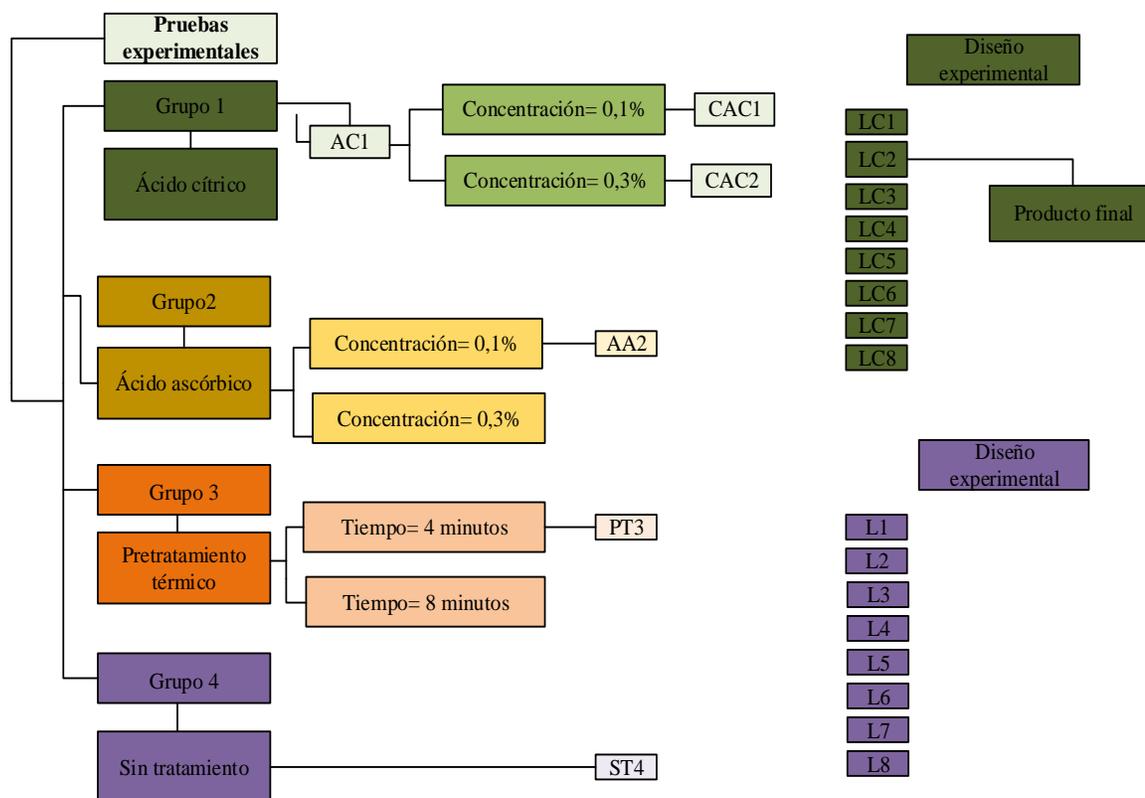
4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de harina de coliflor variedad blanca

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de harina de coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea*), se tomaron en cuenta las pruebas preliminares con el fin de obtener la mejor metodología para la elaboración de harina de coliflor variedad blanca.

4.2.1 Pruebas preliminares para la elaboración de harina de coliflor variedad blanca

En la figura 4.1, se muestran las pruebas preliminares clasificadas en cuatro grupos bajo las condiciones de: temperatura de secado (50 - 60 °C), espesor de corte de las rodajas (1,0 - 3,0 mm), velocidad de flujo de aire (5 m/s); utilizando diferentes soluciones a una concentración de ácido cítrico (0,3 - 0,6 %) y ácido ascórbico (0,1 -

0,2 %), pretratamiento térmico (70 - 80 °C), y sin tratamiento; con la finalidad de determinar el mejor pretratamiento para las muestras de coliflor variedad blanca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1. Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento de las rodajas de coliflor variedad blanca

Para desarrollar la parte experimental, se tomó en cuenta la base de la ecuación (2.2) para determinar el contenido de humedad en base seca (HBS) en laboratorio en función de los datos experimentales, tomando en cuenta la variación del peso en función del tiempo de secado para determinar el tipo de pretratamiento a aplicar, así como también poder obtener el dato el contenido de humedad en base humedad (HBH) de % (CEANID, 2023) y la ecuación 2.3 para el cálculo de masa de sólido seco (m_{ss}).

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

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

Donde:

m_{ss} = masa de sólido seco (Kg)

m_i = masa inicial (kg)

H_{BH} = contenido de humedad en base seca (kg de agua/kg de solido húmedo)

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

4.2.2 Pruebas preliminares para el pretratamiento con solución de ácido cítrico del grupo 1

Se realizó el pretratamiento a cuatro muestras de láminas de coliflor de variedad blanca variando la concentración de solución de ácido cítrico al 0,1 % (CC1); 0,3 % (CC2), preparadas a temperatura ambiente entre 20 - 25 °C de disolución, donde se sumergen las rodajas de coliflor, con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático y conservar el color propio de las muestras de coliflor, tomando en cuenta el contenido de humedad en base humedad (HBH) del 90,84 % (CEANID, 2023) y la ecuación 2.2. En la tabla 4.5, se observan las cuatro muestras de harina de coliflor variedad blanca pre tratadas con solución de ácido cítrico.

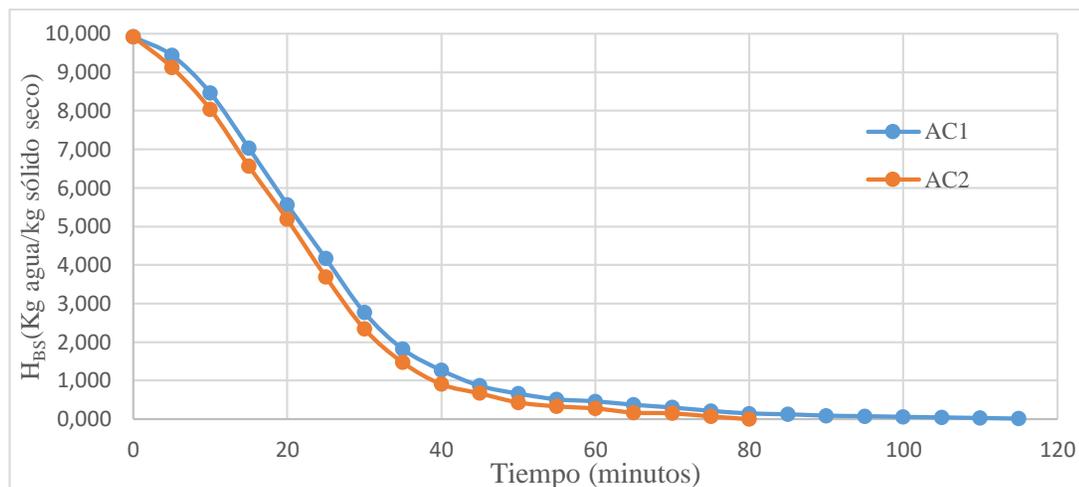
Tabla 4.5

Variación del contenido de humedad en base seca del grupo 1

Tiempo (min)	Ácido Cítrico					
	0,10% (AC1)			0,30% (AC2)		
	Peso	m _{ss}	H _{BS}	Peso	m _{ss}	H _{BS}
0	109,30	10,011	9,918	74,72	6,844	9,918
5	104,53	10,011	9,442	69,31	6,844	9,127
10	94,73	10,011	8,463	61,85	6,844	8,037
15	80,43	10,011	7,034	51,77	6,844	6,564
20	65,69	10,011	5,562	42,30	6,844	5,181
25	51,69	10,011	4,163	32,11	6,844	3,692
30	37,69	10,011	2,765	22,90	6,844	2,346
35	28,16	10,011	1,813	16,90	6,844	1,469
40	22,69	10,011	1,267	13,05	6,844	0,907
45	18,63	10,011	0,861	11,42	6,844	0,669
50	16,59	10,011	0,657	9,81	6,844	0,433
55	15,12	10,011	0,510	9,12	6,844	0,333
60	14,59	10,011	0,457	8,74	6,844	0,277
65	13,69	10,011	0,367	8,01	6,844	0,170
70	12,99	10,011	0,298	7,88	6,844	0,151
75	12,12	10,011	0,211	7,33	6,844	0,071
80	11,45	10,011	0,144	6,85	6,844	0,001
85	11,23	10,011	0,122	-	-	-
90	10,87	10,011	0,086	-	-	-
95	10,74	10,011	0,073	-	-	-
100	10,56	10,011	0,055	-	-	-
105	10,41	10,011	0,040	-	-	-
110	10,26	10,011	0,025	-	-	-
115	10,10	10,011	0,009	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2, se observa la curva variación de contenido de humedad en base seca en función del tiempo para elegir la concentración de ácido cítrico para el grupo 1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2. Curva de variación de contenido de humedad en base seca para elegir la concentración del grupo 1

Según la figura 4.2, se observa que para la muestra AC1 se observa que a 20 minutos contiene 5,562 Kg agua/Kg sólido seco, para AC2 con un tiempo de 40 minutos contiene 1,267 Kg agua/Kg sólido seco. Asimismo, se observa que la muestra AC1 finaliza el secado a los 115 minutos con 0,009 Kg agua/Kg sólido seco AC2 finaliza el secado con los 80 minutos con 0,001 Kg de agua/Kg sólido seco.

Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra AC2 con el tipo de concentración de 0,3%; ya que presentó menor contenido de humedad en base seca y menor tiempo de secado.

4.2.3 Pruebas preliminares para el pretratamiento con solución de ácido ascórbico del grupo 2

Se realizó el pretratamiento a cuatro muestras de láminas de coliflor de variedad blanca variando la concentración de solución de ácido ascórbico con 0,1 % (AA1); 0,3 % (AA2), preparadas a una temperatura ambiente de disolución, donde se sumergen las rodajas de coliflor, con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático y conservar el color propio de las muestras de coliflor, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (HBH) del 90,84 % (CEANID, 2023) y la ecuación 2.2. En la tabla 4.6, se observan las cuatro muestras de harina de coliflor variedad blanca pre tratadas con solución de ácido ascórbico.

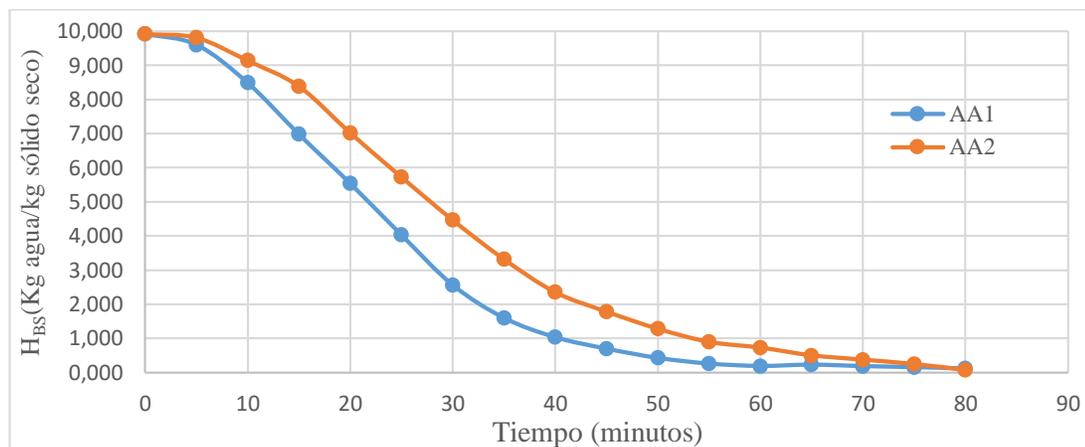
Tabla 4.6

Variación del contenido de humedad en base seca del grupo 2

Tiempo (min)	Ácido ascórbico					
	0,10%(AA1)			0,30%(AA2)		
	Peso	m _{ss}	H _{BS}	Peso	m _{ss}	H _{BS}
0	98,00	8,976	9,918	100,53	9,208	9,918
5	95,16	8,976	9,602	99,53	9,208	9,809
10	85,16	8,976	8,488	93,36	9,208	9,139
15	71,63	8,976	6,980	86,43	9,208	8,386
20	58,68	8,976	5,537	73,88	9,208	7,023
25	45,13	8,976	4,028	61,93	9,208	5,726
30	31,96	8,976	2,561	50,34	9,208	4,467
35	23,30	8,976	1,596	39,76	9,208	3,318
40	18,20	8,976	1,028	30,85	9,208	2,350
45	15,19	8,976	0,692	25,60	9,208	1,780
50	12,76	8,976	0,422	20,98	9,208	1,278
55	11,26	8,976	0,254	17,43	9,208	0,893
60	10,64	8,976	0,185	15,89	9,208	0,726
65	10,98	8,976	0,223	13,80	9,208	0,499
70	10,60	8,976	0,181	12,63	9,208	0,372
75	10,33	8,976	0,151	11,46	9,208	0,245
80	9,98	8,976	0,112	9,83	9,208	0,068

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.3, se observa la curva variación de contenido de humedad en base seca en función del tiempo para elegir la concentración de ácido ascórbico para el grupo 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3. Curva de variación de contenido de humedad en base seca para elegir la concentración del grupo 2

Según la figura 4.3, se observa que para la muestra AA1 se observa que a 30 minutos contiene 2,561 Kg agua/Kg sólido seco, para AA2 con un tiempo de 45 minutos contiene 1,780 Kg agua/Kg sólido seco. Asimismo, se observa que la muestra AA1 finaliza el secado a los 80 minutos con 0,112 Kg agua/Kg sólido seco AA2 finaliza el secado con los 80 minutos con 0,068 Kg de agua/Kg sólido seco.

Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra AA2 con el tipo de concentración de 0,3%; ya que presentó menor contenido de humedad en base seca y menor tiempo de secado.

4.2.4 Pruebas preliminares para el tiempo de pre tratamiento térmico del grupo 3

Se realizó el pre tratamiento térmico a cuatro muestras de láminas de coliflor de variedad blanca variando el tiempo PT1 de 4 minutos y PT2 de 8 minutos, preparadas a una temperatura ambiente, donde se realiza el pre tratamiento térmico, con la finalidad de evitar el pardeamiento enzimático y conservar el color propio de las muestras de coliflor, tomando en cuenta el contenido de humedad en base humedad (HBH) del 90,84 % (CEANID, 2023) y la ecuación (2.2). En la tabla 4.7, se observan las cuatro muestras de harina de coliflor variedad blanca pre tratadas.

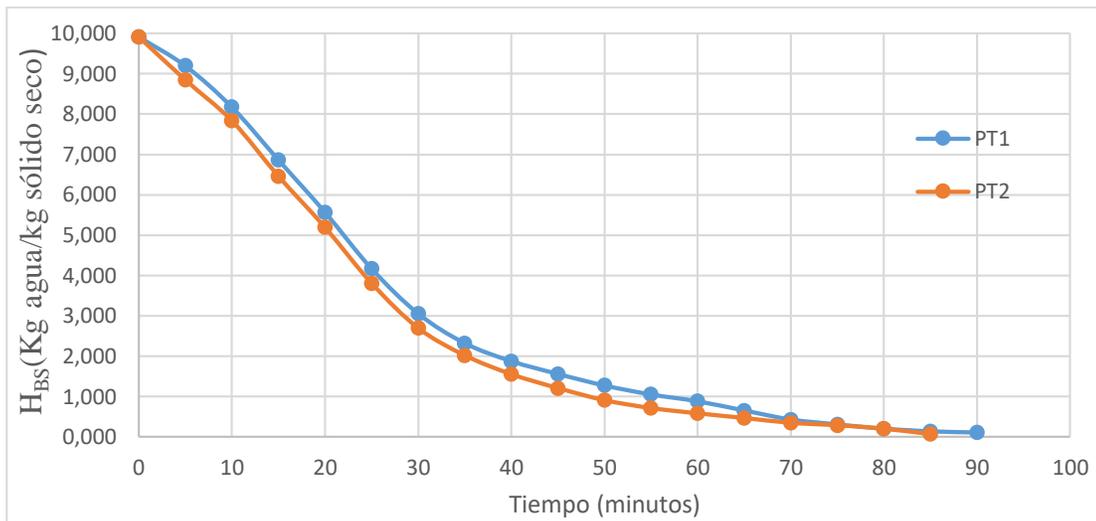
Tabla 4.7

Variación del contenido de humedad en base seca del grupo 3

Tiempo (min)	Pre tratamiento					
	4 minutos (PT1)			8 minutos (PT2)		
	Peso	mss	Hbs	Peso	mss	Hbs
0	107,23	9,822	9,917	124,13	11,37	9,917
5	100,17	9,822	9,199	112,01	11,37	8,851
10	90,12	9,822	8,175	100,49	11,37	7,838
15	77,23	9,822	6,863	84,84	11,37	6,462
20	64,50	9,822	5,567	70,41	11,37	5,193
25	50,76	9,822	4,168	54,67	11,37	3,808
30	39,83	9,822	3,055	42,03	11,37	2,697
35	32,63	9,822	2,322	34,33	11,37	2,019
40	28,26	9,822	1,877	29,02	11,37	1,552
45	25,15	9,822	1,561	25,09	11,37	1,207
50	22,33	9,822	1,273	21,68	11,37	0,907
55	20,15	9,822	1,052	19,46	11,37	0,712
60	18,49	9,822	0,883	17,97	11,37	0,580
65	16,25	9,822	0,654	16,66	11,37	0,465
70	14,06	9,822	0,431	15,30	11,37	0,346
75	12,86	9,822	0,309	14,61	11,37	0,285
80	11,82	9,822	0,203	13,64	11,37	0,200
85	11,18	9,822	0,138	12,11	11,37	0,065
90	10,89	9,822	0,109	-	-	-
95	10,60	9,822	0,079	-	-	-
100	10,13	9,822	0,031	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.4, se observa la curva variación de contenido de humedad en base seca en función del tiempo para elegir para el grupo 3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4. Curva de variación de contenido de humedad en base seca para elegir el tiempo del grupo 3

Según la figura 4.4, se observa que para la muestra PT1 se observa que a 40 minutos contiene 1,877 Kg agua/Kg sólido seco, para PT2 con un tiempo de 45 minutos contiene 1,207 Kg agua/Kg sólido seco. Asimismo, se observa que la muestra PT1 finaliza el secado a los 85 minutos con 0,109 Kg agua/Kg sólido seco PT2 finaliza el secado con los 75 minutos con 0,065 Kg de agua/Kg sólido seco.

Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra PT2 con el tiempo de 8 minutos de inmersión; ya que presentó menor contenido de humedad en base seca y menor tiempo de secado.

4.2.5 Pruebas preliminares para las muestras sin tratamiento del grupo 4

Se realizó las pruebas preliminares sin tratamiento de láminas de coliflor de variedad blanca variando la temperatura ST1 de 50°C y ST2 de 60°C, verificando si existe pardeamiento enzimático además de controlar en cuanto tiempo de secado tomando en cuenta el contenido de humedad en base humedad (HBH) del 90,84 % (CEANID, 2023) y la ecuación (2.2). En la tabla 4.8, se observan las cuatro muestras de harina de coliflor variedad blanca.

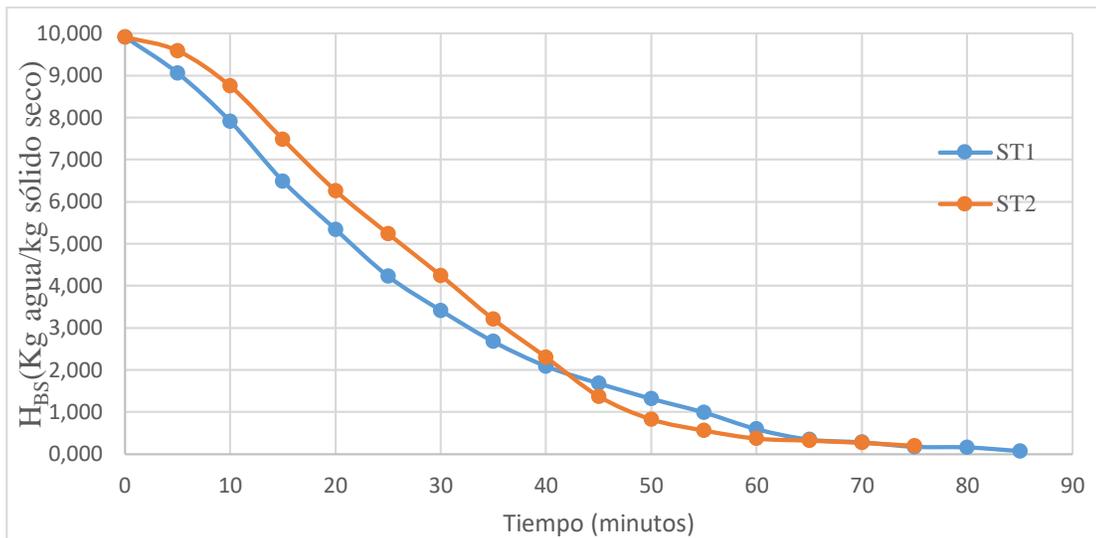
Tabla 4.8

Variación del contenido de humedad en base seca del grupo 4

Tiempo (min)	Sin tratamiento					
	50°C (ST1)			60°C (ST2)		
	Peso	mss	Hbs	Peso	mss	Hbs
0	74,50	6,824	9,917	99,53	9,116	9,918
5	68,64	6,824	9,059	96,54	9,116	9,590
10	60,81	6,824	7,911	88,88	9,116	8,750
15	51,13	6,824	6,493	77,35	9,116	7,485
20	43,29	6,824	5,344	66,21	9,116	6,263
25	35,69	6,824	4,230	56,87	9,116	5,238
30	30,15	6,824	3,418	47,84	9,116	4,248
35	25,08	6,824	2,675	38,34	9,116	3,206
40	21,10	6,824	2,092	30,11	9,116	2,303
45	18,32	6,824	1,685	21,66	9,116	1,376
50	15,83	6,824	1,320	16,66	9,116	0,828
55	13,60	6,824	0,993	14,24	9,116	0,562
60	10,90	6,824	0,597	12,49	9,116	0,370
65	9,21	6,824	0,350	12,05	9,116	0,322
70	8,77	6,824	0,285	11,56	9,116	0,268
75	8,05	6,824	0,180	10,94	9,116	0,200
80	7,95	6,824	0,165			
85	7,36	6,824	0,079			
90	7,10	6,824	0,040			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5, se observa la curva variación de contenido de humedad en base seca en función de la temperatura para elegir para el grupo 4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5. Curva de variación de contenido de humedad en base seca para elegir la temperatura del grupo 4

Según la figura 4.5, se observa que para la muestra ST1 se observa que a 40 minutos contiene 2,303 Kg agua/Kg sólido seco, para ST2 con un tiempo de 60 minutos contiene 0,597 Kg agua/Kg sólido seco. Asimismo, se observa que la muestra ST1 finaliza el secado a los 85 minutos con 0,079 Kg agua/Kg sólido seco ST2 finaliza el secado con los 75 minutos con 0,200 Kg de agua/Kg sólido seco.

Por tal motivo, se procedió a elegir la muestra ST1 con una temperatura de 60°; ya que presentó menor contenido de humedad en base seca y menor tiempo de secado.

4.2.6 Pruebas preliminares para elegir el tipo de tratamiento a ser aplicado para la obtención de harina de coliflor

En la tabla 4.6, se muestran los resultados de las pruebas iniciales realizadas sin tratamiento, solución de ácido cítrico 0,3%, ácido ascórbico 0,3%, por un tiempo de 1 minuto, y escaldado por 4 minutos; con una temperatura de secado de 60°C y velocidad de aire 5 m/s.

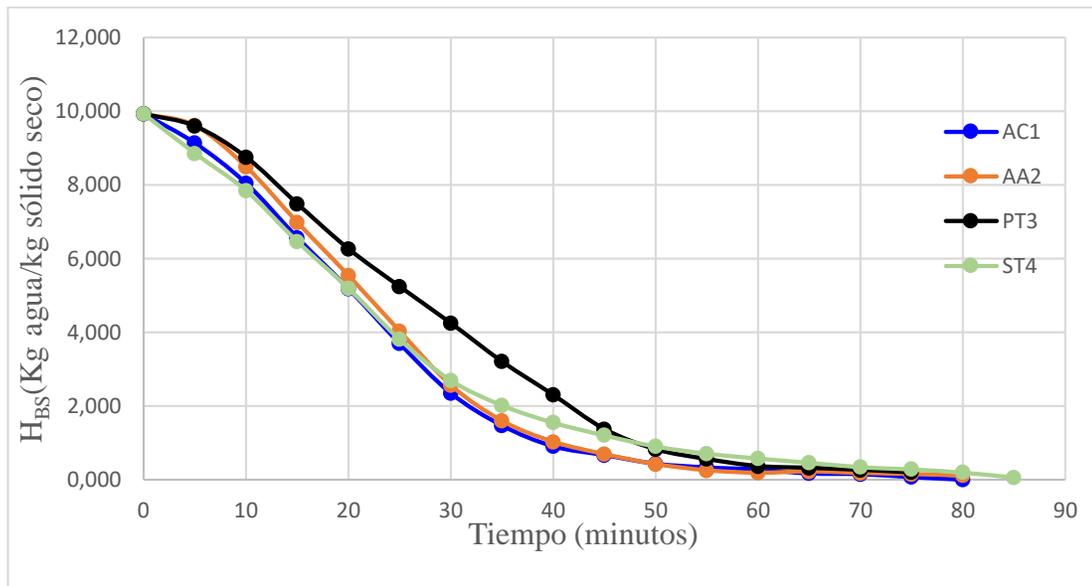
Tabla 4.9

Variación del contenido de humedad en base seca de la coliflor variedad blanca

Tiempo (min)	Ácido Cítrico			Ácido ascórbico			Pretratamiento			Sin tratamiento		
	AC1			AA2			PT3			ST4		
	Peso	m _{ss}	H _{BS}	Peso	m _{ss}	H _{BS}	Peso	m _{ss}	H _{BS}	Peso	m _{ss}	H _{BS}
0	74,72	6,844	9,918	98,00	8,976	9,918	99,53	9,116	9,918	124,13	11,37	9,917
5	69,31	6,844	9,127	95,16	8,976	9,602	96,54	9,116	9,590	112,01	11,37	8,851
10	61,85	6,844	8,037	85,16	8,976	8,488	88,88	9,116	8,750	100,49	11,37	7,838
15	51,77	6,844	6,564	71,63	8,976	6,980	77,35	9,116	7,485	84,84	11,37	6,462
20	42,30	6,844	5,181	58,68	8,976	5,537	66,21	9,116	6,263	70,41	11,37	5,193
25	32,11	6,844	3,692	45,13	8,976	4,028	56,87	9,116	5,238	54,67	11,37	3,808
30	22,90	6,844	2,346	31,96	8,976	2,561	47,84	9,116	4,248	42,03	11,37	2,697
35	16,90	6,844	1,469	23,30	8,976	1,596	38,34	9,116	3,206	34,33	11,37	2,019
40	13,05	6,844	0,907	18,20	8,976	1,028	30,11	9,116	2,303	29,02	11,37	1,552
45	11,42	6,844	0,669	15,19	8,976	0,692	21,66	9,116	1,376	25,09	11,37	1,207
50	9,81	6,844	0,433	12,76	8,976	0,422	16,66	9,116	0,828	21,68	11,37	0,907
55	9,12	6,844	0,333	11,26	8,976	0,254	14,24	9,116	0,562	19,46	11,37	0,712
60	8,74	6,844	0,277	10,64	8,976	0,185	12,49	9,116	0,370	17,97	11,37	0,580
65	8,01	6,844	0,170	10,98	8,976	0,223	12,05	9,116	0,322	16,66	11,37	0,465
70	7,88	6,844	0,151	10,60	8,976	0,181	11,56	9,116	0,268	15,30	11,37	0,346
75	7,33	6,844	0,071	10,33	8,976	0,151	10,94	9,116	0,200	14,61	11,37	0,285
80	6,85	6,844	0,001	9,98	8,976	0,112	-	-	-	13,64	11,37	0,200
85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,11	11,37	0,065

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de (AC1) ácido cítrico, (AA2) ácido ascórbico, (PT3) pre tratamiento, (ST4) sin tratamiento de la variación de contenido de humedad en base seca en función del tiempo en base a datos de la tabla 4.9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6. Curva de variación de contenido de humedad en función del tiempo de secado.

En la figura 4.6, se observa que la variación de contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras preliminares en condiciones de temperatura 60°C, velocidad de aire de 5m/s y corte de 0,1 cm. En tal sentido la muestra AC1 en un tiempo de 20 minutos contiene 5,181 (Kg agua/Kg sólido seco), la muestra AA2 en un tiempo de 20 minutos contiene 5,537 (Kg agua/Kg sólido seco), la muestra PT3 en un tiempo de 30 minutos contiene 4,248 (Kg agua/Kg sólido seco) y la muestra ST4 en un tiempo de 40 minutos contiene 1,552 (Kg agua/Kg sólido seco). Asimismo, se puede observar que las muestras finalizan su secado AC1 80 minutos, AA2 80 minutos, PT3 75 minutos, ST4 85 minutos.

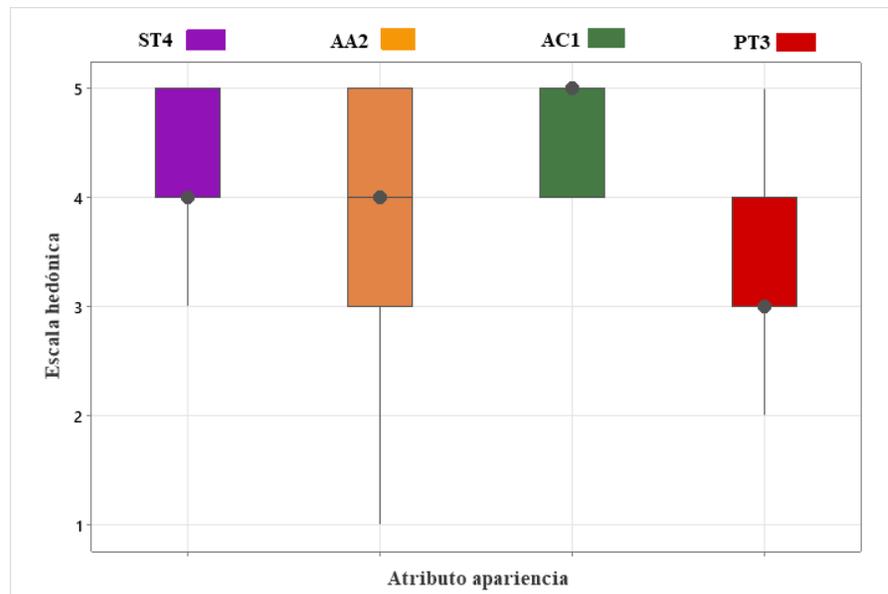
Teniendo en cuenta que el contenido de humedad en base seca sea menor se observa que la muestra AC1 a los 80 minutos tiene 0,01 (Kg agua/Kg sólido seco), y ST4 en un tiempo de 85 minutos tiene 0,065 (Kg agua/Kg sólido seco). Dándose a notar que las muestras elegidas en comparación PT3 y AA2 tienen menor contenido de humedad en base seca.

4.2.7 Evaluación sensorial para elegir el tipo de tratamiento para la obtención de harina de coliflor variedad blanca

En base a las muestras (AC1, AA2, PT3 y ST4), se procedió a la molienda y posteriormente a la evaluación sensorial de las muestras de harina de coliflor variedad blanca, para los atributos apariencia y color utilizando 20 jueces no entrenados en la escala hedónica de 5 puntos con la finalidad de seleccionar el tipo de pre tratamiento.

4.2.7.1 Estadístico de caja y bigote del atributo apariencia para elegir el pretratamiento

En la figura 4.7, se muestra los resultados del estadístico Tukey para atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos de la tabla E.1.12 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7. Caja y bigote del atributo apariencia para elegir pretratamiento

En la figura 4.7, se observa que la muestra AC1 del atributo apariencia tiene una mediana de puntuación mayor de 5 puntos en relación a las demás muestras por lo tanto indica que el 50% de los jueces que evaluaron dieron una puntuación mayor a 4 puntos, seguida por las muestras ST4 con una mediana de 4,0 la muestra AA2 con una mediana de 4,0 y PT3 con una mediana 3,0.

4.2.7.2 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia para elegir el pretratamiento

En la tabla 4.10, se muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia en muestras experimentales de datos extraídos del Anexo E

Tabla 4.10

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia

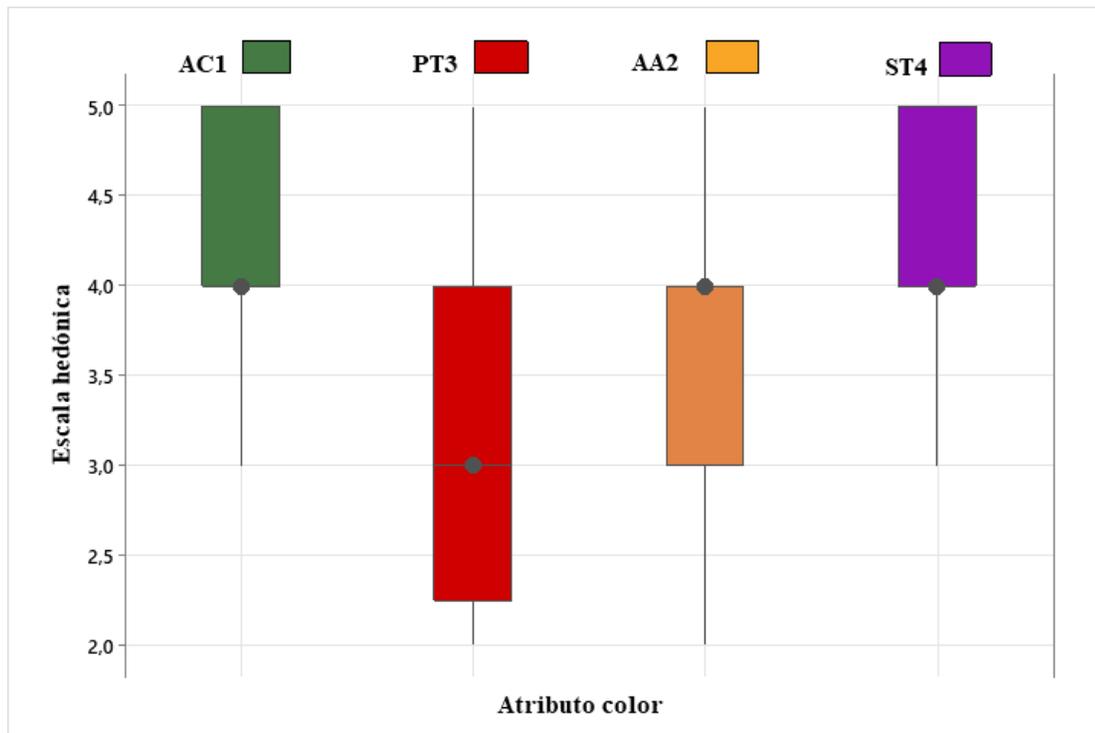
Tratamiento	N	Mediana	Agrupación		
			A	B	C
AC1	20	4,550	A		
AA2	20	3,850	A	B	
PT3	20	3,250		B	
ST4	20	4,050	A		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se muestra que existe significancia entre los tratamientos AC1 - ST4 no hay diferencia significativa y para las muestras AA2 - PT3 si hay diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.7.3 Estadístico caja y bigote del atributo color para elegir el tipo de pretratamiento de la muestra inicial

En la figura 4.8, se muestra los resultados de caja y bigote del atributo color para elegir el pretratamiento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8. Caja y bigote del atributo color para elegir pretratamiento

En la figura 4.8, se puede observar que el atributo color para las muestras AC1 - ST4 tienen una mediana mayor 4,0, AA2 tiene datos por debajo de 4,0 y el PT3 tiene una mediana de 3,0 que es menor.

4.2.7.3.1 Estadístico de Tukey para el atributo color para elegir la muestra preliminar

En la tabla 4.8, se muestra los resultados del análisis de Tukey para el atributo color de los datos extraídos del Anexo C.

Tabla 4.11

Estadístico de Tukey para el atributo color

Tratamiento	N	Mediana	Agrupación		
			A	B	C
AC1	20	4,400	A		
AA2	20	3,300			C
PT3	20	3,650		B	C
ST4	20	4,150	A	B	

Fuente: Elaboración propia

Según la evaluación sensorial realizada para el atributo color, en la tabla 4.8, se puede observar que si existe diferencia significativa estadísticas entre las muestras AC1 - AA2 - PT3 - ST4 para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Realizada la evaluación sensorial para el atributo color y apariencia tomando en cuenta el tiempo total de secado en las muestras, se seleccionó las muestras con solución ácido cítrico AC1 80 minutos, sin tratamiento ST4 85 minutos presentando un menor tiempo de secado durante la obtención de harina de coliflor variedad blanca; y también mayor aceptación del atributo color y apariencia.

4.3 Diseño experimental en el proceso de secado de coliflor variedad blanca

De acuerdo con las muestras seleccionadas AC1, ST4; se determinó aplicar el diseño factorial 2^3 en el proceso de secado, donde se tomaron en cuenta las variables: Temperatura entre 50 - 60 °C, velocidad de aire entre 5 - 6 m/s y el tipo de corte entre 0,1 - 0,3 cm. Asimismo, se tomó en cuenta 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.

4.3.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento

En la tabla 4.12, se observan las variables controladas durante el proceso de secado con aire caliente de las muestras de coliflor variedad blanca, así como los resultados de las variables respuesta del contenido de humedad en base seca detallada en el Anexo F.

Tabla 4.12

Matriz de contenido de humedad en base seca de muestras de coliflor sin tratamiento

Combinación de tratamiento	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Corte (cm)			
	A	B	C			
(1)	50	5	0,1	0,118	0,148	0,266
a	60	5	0,3	0,105	0,101	0,206
b	50	6	0,1	0,112	0,115	0,227
c	60	6	0,1	0,150	0,127	0,277
ab	50	5	0,3	0,123	0,112	0,235
ac	60	5	0,3	0,100	0,111	0,211
bc	50	6	0,3	0,120	0,144	0,264
abc	60	6	0,3	0,113	0,115	0,228

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1 Análisis de varianza en el proceso de secado para muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento

En la tabla 4.13, se puede observar los resultados del análisis de varianza del diseño factorial 2^3 aplicado en el proceso de secado en función de la variable respuesta del contenido de humedad en base seca. Los cuales fueron introducidos en el programa Statgraphics Centurion XVI por Windows y los resultados son detallados en el Anexo E.1.2.

Tabla 4.13

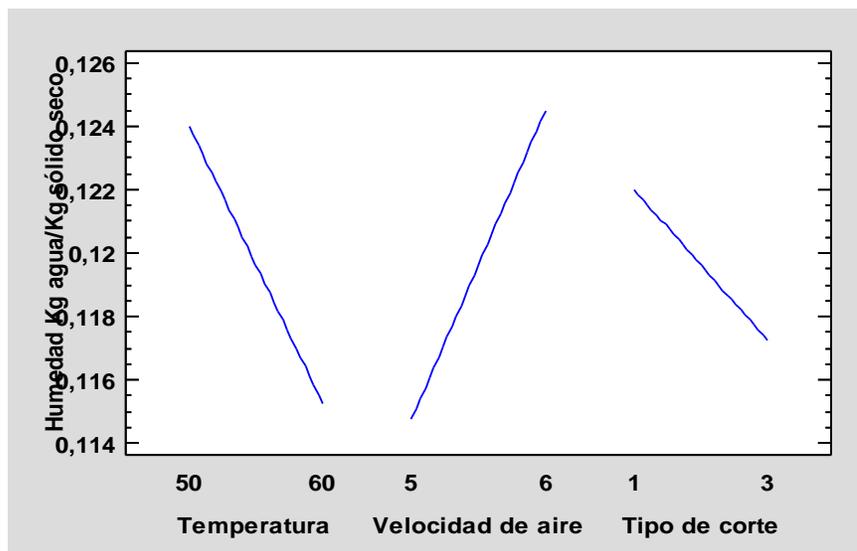
Análisis de varianza en función de la variable respuesta

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>Fcal</i>	<i>Ftab</i>
Factor A	0,543906	1	0,543906	9,99	5,32
Factor B	0,406406	1	0,406406	7,46	5,32
Factor C	0,146306	1	0,146306	2,69	5,32
Interacción AB	0,029756	1	0,029756	0,55	5,32
Interacción AC	0,299756	1	0,299756	5,51	5,32
Interacción BC	0,805506	1	0,805506	14,80	5,32
Interacción ABC	0,841806	1	0,841806	15,46	5,32
Error total	0,435550	8	0,054443	-	-
Total	3,508990	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza en la tabla 4.13, se observa que las interacciones (AC, BC Y ABC) no son significativas debido que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, los factores A y B existe diferencia significativa en el proceso de secado, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

En la figura 4.9, se muestra los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad de aire) y C (tipo de corte) en relación con la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco).



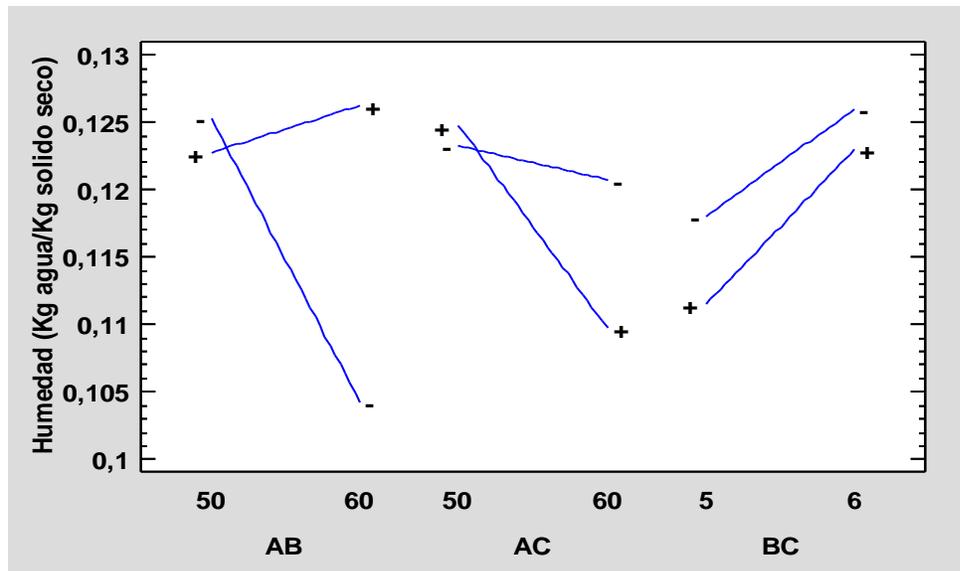
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9. Efectos principales para el contenido de humedad en base seca

En la figura 4.9, se observa que los factores B (velocidad del aire) entre los valores 5,0 - 6,0 m/s y factor A (temperatura) entre 50° - 60° C; influyen significativamente en la variable respuesta del contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en niveles altos y bajos. Sin embargo, el factor B (tipo de corte) entre 0,1 - 0,3 cm no influye significativamente en su nivel alto y bajo; debido que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la figura 4.9, se muestran las interacciones para los factores AB (temperatura - velocidad de aire), AC (temperatura - velocidad de aire - tipo de corte) y BC (velocidad

del aire – tipo de corte), en función de la variable respuesta contenido de humedad en base seca.



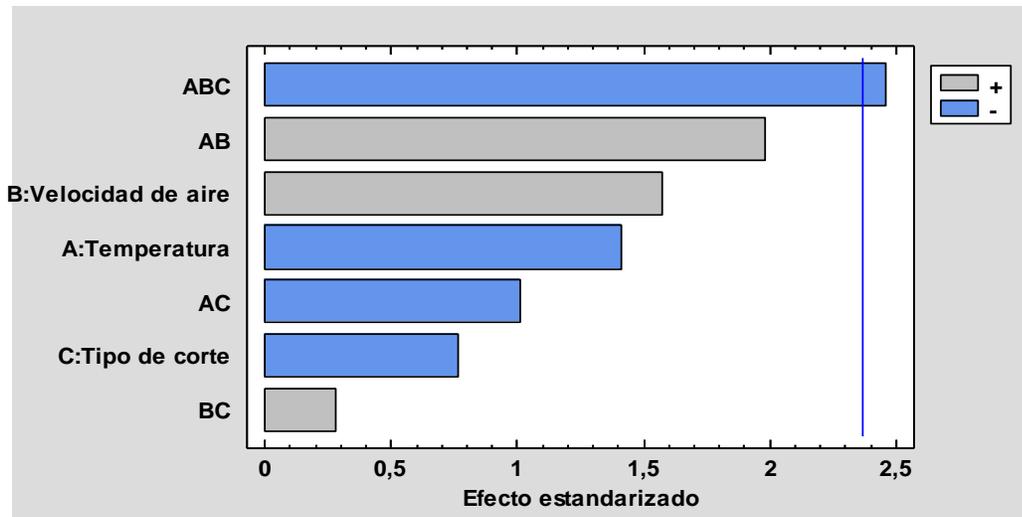
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10. Interacción de los factores para el contenido de humedad en base seca

En la figura 4.10, se observa que en la interacción AB (temperatura – velocidad de aire) a temperatura de 50°C el contenido de humedad se ve afectado por el factor B (velocidad del aire), ya que se encuentra su nivel alto y bajo 5,0 – 6,0 m/s; sin embargo, para una temperatura de 60°C el contenido de humedad es mínimo cuando el factor B se encuentra en su nivel alto y bajo. Asimismo, en la interacción AC (temperatura – tipo de corte) es significativo debido a que existe intersección de las variables entre sí, para el nivel alto de temperatura de 60°C el contenido de humedad en base seca se ve afectada cuando el factor C (tipo de corte) que se encuentra en su nivel alto y bajo entre 0,1 - 0,3 cm; asimismo para la interacción BC (velocidad de aire – tipo de corte) es significativo ya que existe intersección entre sí, para una velocidad de 5,0 m/s, el contenido se encuentra en su nivel alto y bajo 5,0 – 6,0 m/s.

En la figura 4,11 se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomando en cuenta para el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia estadística lo determina la línea vertical de referencia con valor de 5,0 por lo tanto, los

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11. Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca

Según la figura 4.11, se puede observar que los factores B (velocidad de aire) y A (temperatura) exceden la línea de referencia, por lo tanto, es estadísticamente significativo en comparación con el factor C (tipo de corte), BC (velocidad del aire – tipo de corte); ya que no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.1.2 Coeficientes de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento

Según la ecuación 3.1 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 muestras de coliflor sin tratamiento de datos extraídos del Anexo D.

$$\text{Humedad} = 2,655 + 0,046*A - 0,464*B - 0,900*C + 0,008*A*B + 0,0165*A *C + 0,169*B*C - 0,0030*A*B*C$$

Ecuación 4.1

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

4.3.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de coliflor variedad blanca

En la etapa de secado de las muestras de coliflor variedad blanca a nivel experimental se elaboraron ocho muestras sin tratamiento, donde las variables tomadas en cuenta se escriben en la tabla 4.14.

Tabla 4.14

Optimización de variables respuestas

Muestras	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Tipo de corte (cm)
L1	50	5,0	0,1
L2	60	5,0	0,1
L3	50	6,0	0,1
L4	60	6,0	0,1
L5	50	5,0	0,3
L6	60	5,0	0,3
L7	50	6,0	0,3
L8	60	6,0	0,3

Fuente: Elaboración propia

La optimización de la variable respuesta se realizó de acuerdo al contenido de humedad en base seca de las ocho muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento, donde los datos fueron introducidos en el software “Statgraphics Centurion XVI” con la finalidad de optimizar las variables de la etapa de secado.

En la tabla 4.14, se puede observar que los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de coliflor variedad blanca sin tratamiento de los datos extraídos de la tabla en Anexo E.

Tabla 4.15

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	50,0	60,0	50,0
Velocidad de aire (B)	5,0	6,0	6,0
Tipo de corte (C)	0,1	0,3	0,1

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.15, se puede observar que los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en las muestras de coliflor variedad blanca son: temperatura 50°C, velocidad de aire 6,0 m/s y tipo de corte 0,1 cm. Por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra L3 con la finalidad de minimizar el contenido de humedad en base seca.

En conclusión, en base a los datos que fueron obtenidos del software “Statgraphics Centurion XVI” al valor óptimo del contenido de humedad en base seca de 0,115 (Kg agua/ kg solido seco). Para elegir la muestra L3 debido a que la finalidad del proceso es minimizar el contenido de humedad en base seca y por lo tanto se considera como muestra elegida, la misma fue obtenida con una temperatura 50°C, velocidad de aire caliente 6,0 m/s y tipo de corte 0,1 cm, y un contenido de humedad en base seca en la variable respuesta de 0,112 (Kg agua/kg solido seco).

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

De acuerdo a la muestra ideal L2, se procedió a aplicar de manera experimental el diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para elaboración de harina de coliflor, donde se tomaron en cuenta las variables: Temperatura entre (50 – 60) °C, la velocidad de aire caliente entre (5,0 – 6,0) m/s y tipo de corte (0,1 – 0,3) cm. Asimismo, se tomó como variable respuesta al contenido de humedad en base seca (Kg agua/kg solido seco) empleando la termobalanza y su metodología aplicada se detalla en el Anexo F.

4.4.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado por aire caliente para las muestras de coliflor con solución de ácido cítrico

En la 4.16, se observa las variables controladas durante el proceso de secado por aire caliente de las muestras de coliflor con solución de ácido cítrico y los resultados de las muestras de coliflor con solución de ácido cítrico y los resultados de las variables respuestas del contenido de humedad en base seca.

Tabla 4.16

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

Combinación de tratamiento	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Temperatura (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Corte (cm)			
	A	B	C			
(1)	50	5	0,1	0,096	0,091	0,187
A	60	5	0,3	0,094	0,090	0,184
B	50	6	0,1	0,072	0,080	0,152
C	60	6	0,1	0,090	0,093	0,183
AB	50	5	0,3	0,084	0,087	0,171
AC	60	5	0,3	0,086	0,079	0,165
BC	50	6	0,3	0,088	0,096	0,184
ABC	60	6	0,3	0,082	0,080	0,162

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.1 Análisis de varianza del diseño experimental para las muestras de coliflor variedad blanca con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.17, se muestran los resultados obtenidos en base al diseño factorial 2^3 aplicando en el proceso de secado se realizó el análisis de varianza en función de la variable del contenido de humedad en base seca. Resultados obtenidos de donde los datos fueron introducidos en el software “Statgraphics Centurion XVI” para Windows y son detallados en el Anexo F.

Tabla 4.17

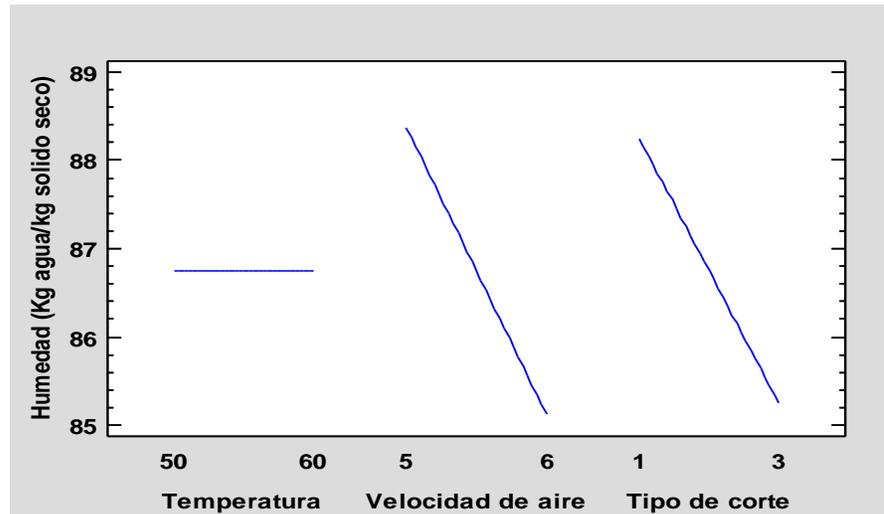
Análisis de varianza en función de la variable respuesta

FV	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Factor A	0,00000000	1	0,00000000	0,00	5,32
Factor B	0,00004225	1	0,00004225	2,82	5,32
Factor C	0,00003600	1	0,00003600	2,40	5,32
Interacción AB	0,00002025	1	0,00002025	1,35	5,32
Interacción AC	0,00019600	1	0,00019600	13,07	5,32
Interacción BC	0,00013225	1	0,00013225	8,82	5,32
Interacción ABC	0,00015625	1	0,00015625	10,42	5,32
Error total	0,00012000	8	0,00001500	-	-
Total	0,00070300	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de varianza en la tabla 4.17, se puede observar que $F_{cal} < F_{tab}$ y $F_{cal} > F_{tab}$ existe diferencia significativa; por tanto, no se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha=0,05$

En la figura 4.12, se demuestra los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad de aire) y C (tipo de corte) en relación con las variables respuestas contenido de humedad (Kg agua/kg sólido seco).

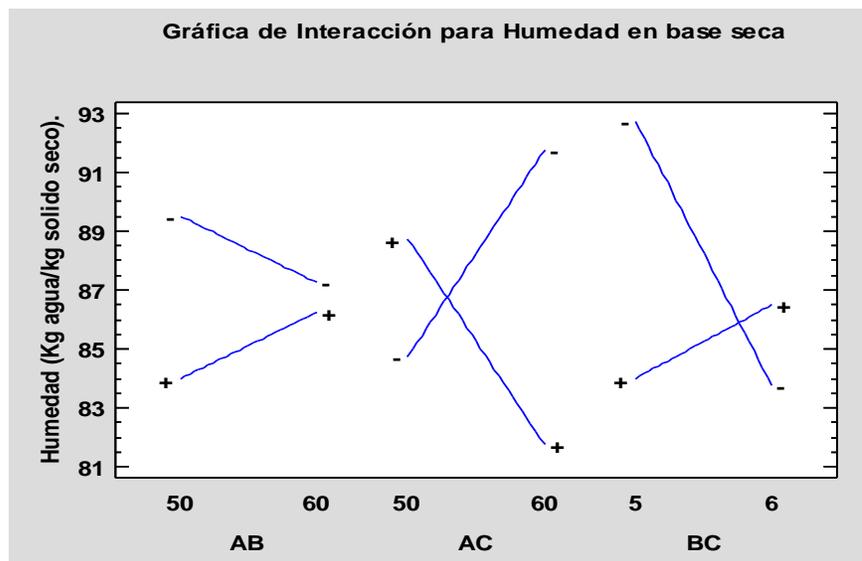


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12. Efectos principales para el contenido de humedad en base seca

En la figura 4.12, se puede observar que el factor A (temperatura) entre los valores de 50 – 60 °C y el factor B (velocidad de aire) entre los valores 5,0 – 6,0 m/s y el factor C (tipo de corte) entre los valores 0,1 – 0,3 cm, no incide 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 mínimo.

En la figura 4.13, se muestran las interacciones para los factores: AB (temperatura – velocidad de aire), AC (temperatura – tipo de corte) y BC (velocidad de aire – tipo de corte), en función de la variable respuesta contenido de humedad en base seca.

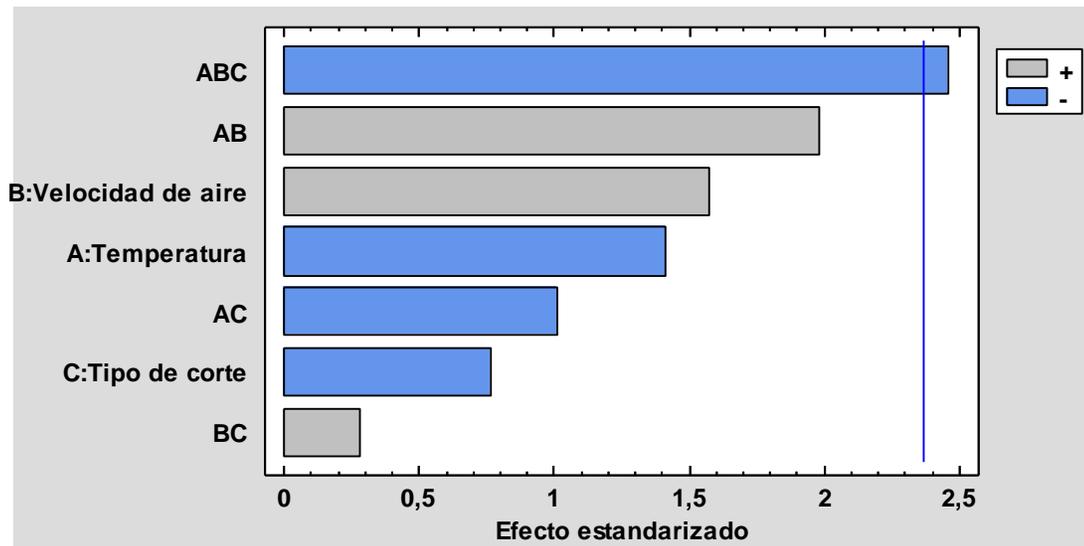


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13. Interacción de factores para el contenido de humedad en base seca

Según la figura 4.13, se puede observar que la interacción AB (temperatura – velocidad de aire) no afecta significativamente debido a que existe intersección y que la humedad no se ve afectado cuando la temperatura se encuentre en su nivel alto y bajo. Para la interacción AC (temperatura – tipo de corte) para una temperatura de 60 °C el contenido de humedad se ve afectado por el factor C (tipo de corte) cuando se encuentra en su nivel alto y bajo (0,1 – 0,3) cm. Sin embargo, para la temperatura de 50°C el contenido de humedad es mínimo cuando el factor C (tipo de corte) se encuentra en su nivel alto y bajo. Para la interacción BC (velocidad de aire – tipo de corte) es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí, para una de 60°C el contenido de humedad se ve afectada cuando el factor C se encuentra en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.14, se puede observar el diagrama de Pareto estandarizado para los factores tomando en cuenta para el diseño experimental. Por tal efecto, el nivel de significancia estadística lo determina la línea vertical de referencia, los factores que exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14. Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en base seca

Según la figura 4.14, se puede observar que los factores B (velocidad de aire) y A (temperatura) exceden la línea de referencia, por lo tanto, es estadísticamente significativo en comparación con el factor C (tipo de corte), BC (velocidad del aire – tipo de corte); ya que no son estadísticamente significativos 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 coliflor variedad blanca con solución de ácido cítrico

Según la ecuación 3.1 del modelo de regresión para un diseño de 2^k ; en la ecuación 4.2, se observa el modelo de regresión que se ajustó a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de las muestras de coliflor variedad blanca con ácido cítrico Anexo D.

$$\text{Humedad} = (0,98625 - 0,014825 * A - 0,177 * B - 0,37275 * C + 0,00295 * A * B + 0,006175 * A * C + 0,0745 * B * C - 0,00125 * A * B * C)$$

Ecuación 4.2

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

4.4.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras de coliflor variedad blanca con solución de ácido cítrico

En la etapa de secado de las muestras de coliflor variedad blanca a nivel experimental se elaboraron ocho muestras con ácido cítrico, donde las variables tomadas en cuenta se escriben en la tabla 4.18.

Tabla 4.18

Optimización de variables respuesta para el diseño factorial

Muestras	Temperatura (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Tipo de corte (cm)
LC1	50	5,0	0,1
LC2	60	5,0	0,1
LC3	50	6,0	0,1
LC4	60	6,0	0,1
LC5	50	5,0	0,3
LC6	60	5,0	0,3
LC7	50	6,0	0,3
LC8	60	6,0	0,3

Fuente: Elaboración propia

La optimización de la variable respuesta se realizó de acuerdo al contenido de humedad en base seca de las ocho muestras de coliflor con la solución de ácido cítrico, donde los datos fueron introducidos en el software “Statgraphics Centurion XVI” para Windows con la finalidad de optimizar las variables de la etapa de secado.

En la tabla 4.19, observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de coliflor; datos extraídos de la tabla de Anexo D.

Tabla 4.19

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	50,0	60,0	60,0
Velocidad de aire (B)	5,0	6,0	6,0
Tipo de corte (C)	0,1	0,3	0,1

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.19, se puede observar que los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en las muestras de coliflor con solución ácido

cítrico son: temperatura 60°C, velocidad de aire 6 m/s y tipo de corte 0,1 cm, por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra LC4 con la finalidad de minimizar el contenido de humedad en base seca.

En conclusión, en base al valor óptimo del contenido de humedad en base seca de 0,0935 (Kg agua/kg solido seco). Para elegir la muestra final en la obtención de harina de coliflor se optó para elegir la muestra LC2 debido a que la finalidad del proceso es minimizar el contenido de humedad en base seca por lo tanto se considera como muestra elegida, la misma fue obtenida a una temperatura 60°C, velocidad de aire 5,0 m/s, tipo de corte 0,3 cm y un contenido de humedad en base seca en la variable respuesta de 0,094 (Kg agua/kg solido seco).

4.5 Influencia del contenido de humedad en base seca en el proceso de secado de las muestras de coliflor variedad blanca

Experimentalmente para determinar el contenido de humedad en base seca, se realizó a partir de la pérdida de peso que se registró durante el proceso de secado de las muestras, con un peso inicial entre 100 – 180 g de coliflor, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{BH}) 90,84% (CEANID, 2023) y la ecuación 2.2 para el cálculo de la masa de solido seco.

En la tabla 4,20, se observa las variables temperatura (A), velocidad de aire (B) y tipo de corte (C), en función de estas variables se analizó el contenido de humedad en base seca.

Tabla 4.20

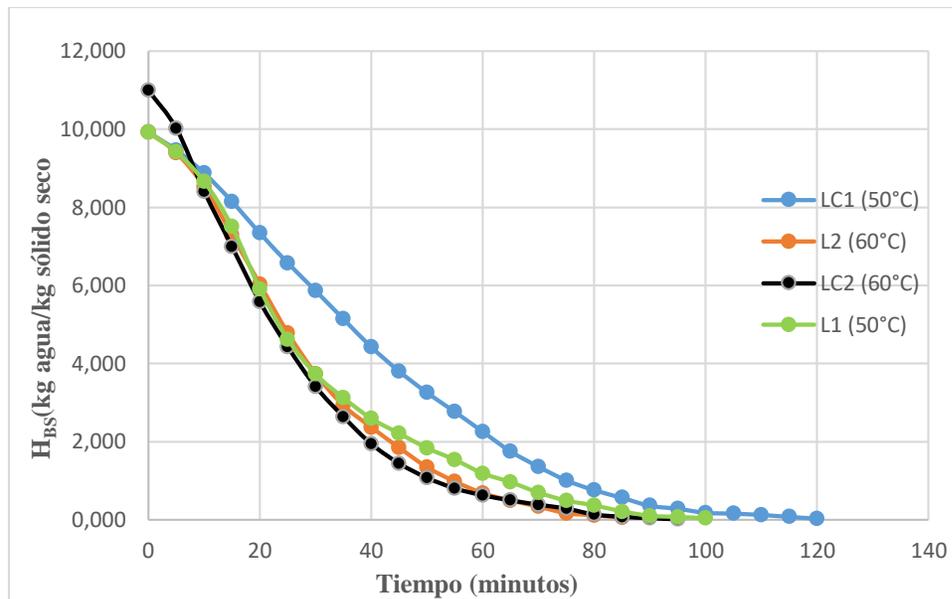
Influencias de las variables sobre el contenido de humedad en base seca

Características	
Temperatura	A ₁ =50 °C
	A ₂ =60°C
Velocidad de aire	B ₁ =5,0 m/s
	B ₂ =6,0 m/s
Tipo de corte	C ₁ =0,1 cm
	C ₂ =0,3 cm

Fuente: Elaboración propia

4.5.1 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60 °C); B_1 (5,0 m/s) en función de C_1 (0,1 cm)

En la figura 4.15, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca para las muestras sin tratamiento L1 y L2 y en solución de ácido cítrico LC1 y LC2; controlando cada 5 minutos; variando la temperatura de secado entre 50 – 60 °C, manteniendo constante el tipo de corte 0,1 cm y velocidad de aire 5,0 m/s. El dato obtenido se detalla en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

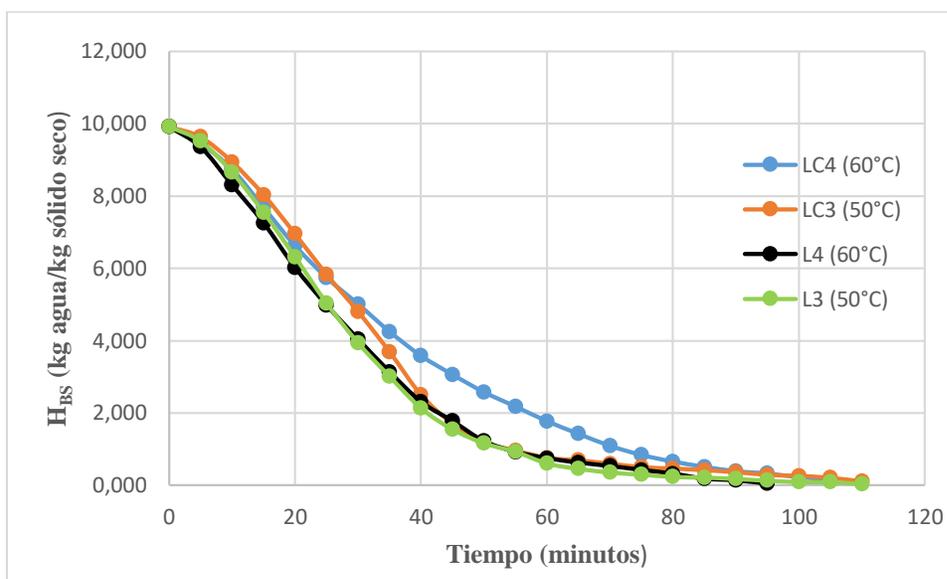
Figura 4.15. Variación del contenido de humedad a temperatura entre A_{12} (50 - 60 °C); B_1 (5,0 m/s) en función de C_1 (0,1 cm)

En la figura 4.15, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L1, LC1, L2 y LC2; a temperatura de 50°C, velocidad de aire 5,0 m/s y tipo de corte 0,1 cm; a los 35 minutos L1 presenta 3,117 kg agua/kg sólido seco, para LC1 a los 95 minutos presenta 1,359 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, para temperatura de 60 °C, velocidad de aire 5 m/s y tipo de corte 0,1 cm; L2 a 30 minutos 3,725 kg agua/kg sólido seco, LC2 a 65 minutos presenta 3,725 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras LC1 y L1 finalizan su secado en mayor tiempo comparadas con L2 y LC2; para LC1 y L1 el secado finaliza a los 120 minutos con 0,027 – 0,033 kg agua/kg sólido

seco respectivamente. Sin embargo, L2 a 85 minutos 0,208 kg agua/kg sólido seco y LC2 a 95 minutos con 0,065 kg agua/kg sólido seco.

4.5.2 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A₁₂ (50 -60 °C); B₂ (6,0 m/s) en función de C₁ (0,1 cm)

En la figura 4.16, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L3 y L4 y en solución de ácido cítrico LC3 y LC4; controlando cada 5 minutos; variando la temperatura de secado entre 50 – 60 °C, manteniendo constante el tipo de corte 0,1 cm y velocidad de aire 6,0 m/s. El dato obtenido se detalla en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

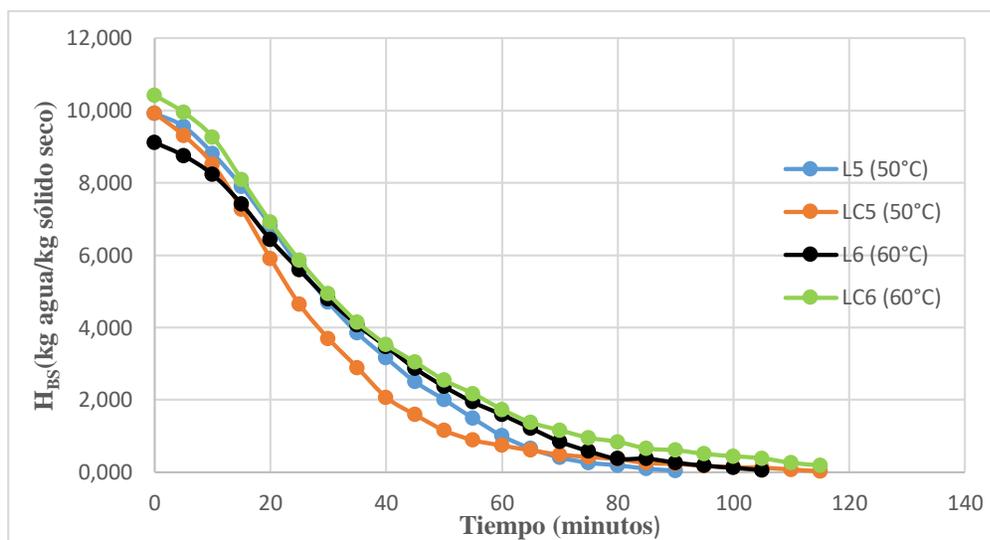
Figura 4.16. Variación del contenido de humedad a temperatura entre A₁₂ (50 - 60 °C); B₁ (6,0 m/s) en función de C₁ (0,1 cm)

En la figura 4.16, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L3, LC3, L4 y LC4; a temperatura de 50°C, velocidad de aire 6,0 m/s y tipo de corte 0,1 cm; a los 30 minutos L3 presenta 3,939 kg agua/kg sólido seco, para LC3 a los 45 minutos presenta 1,548 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a temperatura de 60 °C, velocidad de aire 6,0 m/s y tipo de corte 0,1 cm; L4 a los 30 minutos 4,044 kg agua/kg sólido seco, LC4 a los 85 minutos presenta 0,508 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede

observar que las muestras L3 y LC3 finalizan su secado en mayor tiempo ambas a un tiempo de 110 minutos (0,0108 – 0,0401) kg agua/kg sólido seco respectivamente y las muestras LC4 y L4; para LC4 su secado finaliza a los 105 minutos con un peso de (0,163) kg agua/kg sólido seco, mientras que L4 su secado finaliza a los 95 minutos (0.043) kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.3 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A₁₂ (50 - 60 °C); B₁ (5,0 m/s) en función de C₂ (0,3 cm)

En la figura 4.17, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca para las muestras sin tratamiento L5 y L6 y en solución con ácido cítrico LC5 y LC6; controlando cada 5 minutos; variando la temperatura de secado entre 50 – 60 °C, manteniendo constante el tipo de corte 0,3 cm y velocidad de aire 5,0 m/s. El dato obtenido se detalla en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

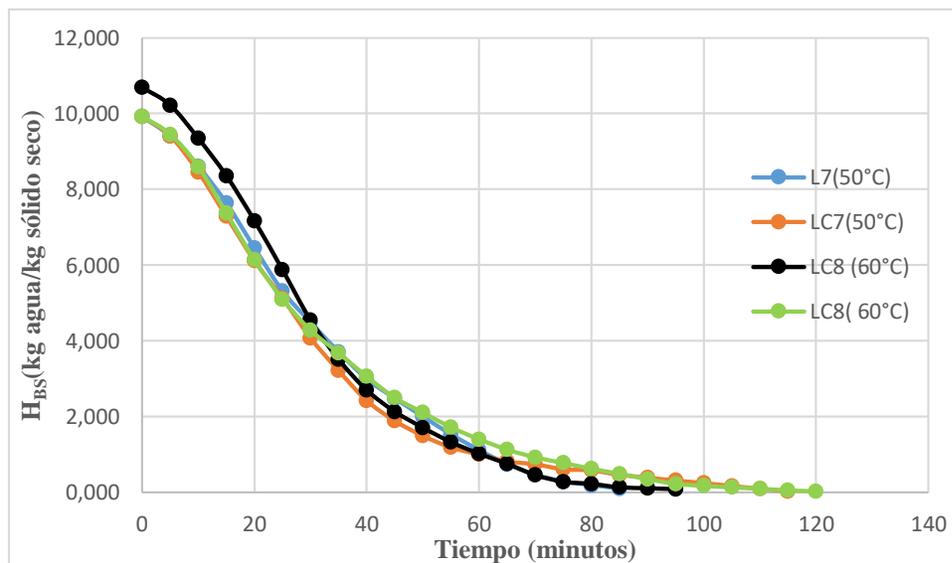
Figura 4.17. Variación del contenido de humedad a temperatura entre A₁₂ (50 - 60 °C); B₁ (5,0 m/s) en función de C₁ (0,3 cm)

En la figura 4.17, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L5, LC5, L6 y LC6; a temperatura de 50°C, velocidad de aire 5,0 m/s y tipo de corte 0,3 cm; a los 20 minutos L5 presenta 6,818 kg agua/kg sólido seco, para LC5 a los 15 minutos presenta 7,276 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a temperatura de 60 °C, velocidad de aire 5,0 m/s y tipo de

corte 0,3 cm; L6 a los 35 minutos 4,076 kg agua/kg sólido seco, LC6 a los 80 minutos presenta 0,840 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras LC5 y LC6 finalizan su secado en mayor tiempo ambas a un tiempo de 115 minutos 0,031 – 0,0189 kg agua/kg sólido seco respectivamente y las muestras L5 y L6; para L5 su secado finaliza a los 90 minutos con un peso de 0,046 kg agua/kg sólido seco, mientras que L6 su secado finaliza a los 105 minutos 0.060 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.4 Variación del contenido de humedad a temperatura entre A₁₂ (50 - 60 °C); B₂ (6,0 m/s) en función de C₂ (0,3 cm)

En la figura 4.18, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca para las muestras sin tratamiento L7 y L8 y en solución de ácido cítrico LC7 y LC8; controlando cada 5 minutos; variando la temperatura de secado entre 50 – 60 °C, manteniendo constante el tipo de corte 0,3 cm y velocidad de aire 6,0 m/s. El dato obtenido se detalla en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

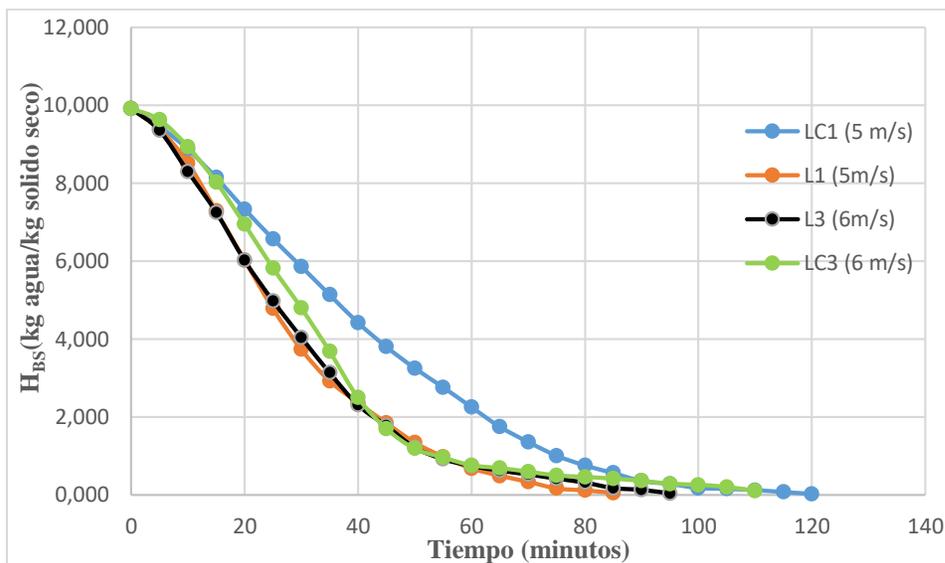
Figura 4.18. Variación del contenido de humedad a temperatura entre A₁₂ (50 – 60 °C); B₁ (6,0 m/s) en función de C₁ (0,3 cm)

En la figura 4.18, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L7, LC7, L8 y LC8; a temperatura de

50°C, velocidad de aire 6,0 m/s y tipo de corte 0,3 cm; a los 20 minutos L7 presenta 6,453 kg agua/kg sólido seco, para LC7 a los 30 minutos presenta 4,079 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a temperatura de 60 °C, velocidad de aire 6,0 m/s y tipo de corte 0,3 cm; L8 a los 30 minutos 4,076 kg agua/kg sólido seco, LC8 a los 35 minutos presenta 4,547 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que la muestra LC8 finaliza su secado en mayor tiempo a un tiempo de 120 minutos 0,037 kg agua/kg sólido seco; la muestra LC7 finaliza su secado en un tiempo de 115 minutos 0,035 kg agua/kg sólido seco respectivamente y las muestras L7 y L8 finalizan su secado en menor tiempo; para L7 finaliza su secado en 85 minutos con un peso de 0,097 kg agua/kg sólido seco, mientras que L8 su secado finaliza a los 95 minutos con un peso de 0.091 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.5 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5,0 – 6,0 m/s); A₁ (50 °C) en función de C₁ (0,1 cm)

En la figura 4.19, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L1 y L3 en solución con ácido cítrico LC1 y LC3. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando la velocidad de aire 5 – 6 m/s, manteniendo constante la temperatura 50°C y el tipo de corte 0,1 cm los resultados se detallan en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

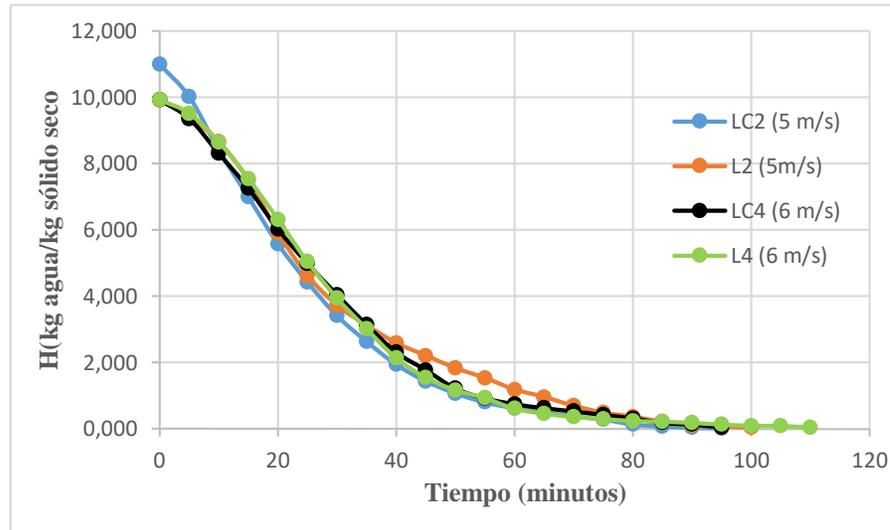
Figura 4.19. Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5 - 6 m/s); A₁ (50 °C) en función de C₁ (0,1 cm)

En la figura 4.19, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L1, LC1, L3 y LC3; a una velocidad de aire de 5 m/s, temperatura 50°C y tipo de corte 0,1 cm; a los 20 minutos L1 presenta 6,027 kg agua/kg sólido seco, para LC1 a los 15 minutos presenta 8,143 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a una velocidad de aire de 6 m/s, temperatura de 50 °C, y tipo de corte 0,1 cm; L3 a los 20 minutos 6,020 kg agua/kg sólido seco, LC3 a los 50 minutos presenta 1,189 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras LC1 y LC3 finalizan su secado en mayor tiempo comparadas con las muestras L1 y L3; para LC1 120 minutos y LC3 110 minutos con 0,027 – 0,0108 kg agua/kg sólido seco respectivamente y las muestras L1 y L3 finalizan su secado en menor tiempo; para L1 finaliza su secado en 85 minutos con un peso de 0,052 kg agua/kg sólido seco, mientras que L3 su secado finaliza a los 95 minutos con un peso de 0.043 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.6 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5,0 – 6,0 m/s); A₂ (60 °C) en función de C₁ (0,1 cm)

En la figura 4.20, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L2 y L4 en solución con ácido

cítrico LC2 y LC4. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando la velocidad de aire 5 – 6 m/s, manteniendo constante la temperatura 60° y el tipo de corte 0,1 cm los resultados se detallan en el Anexo G.



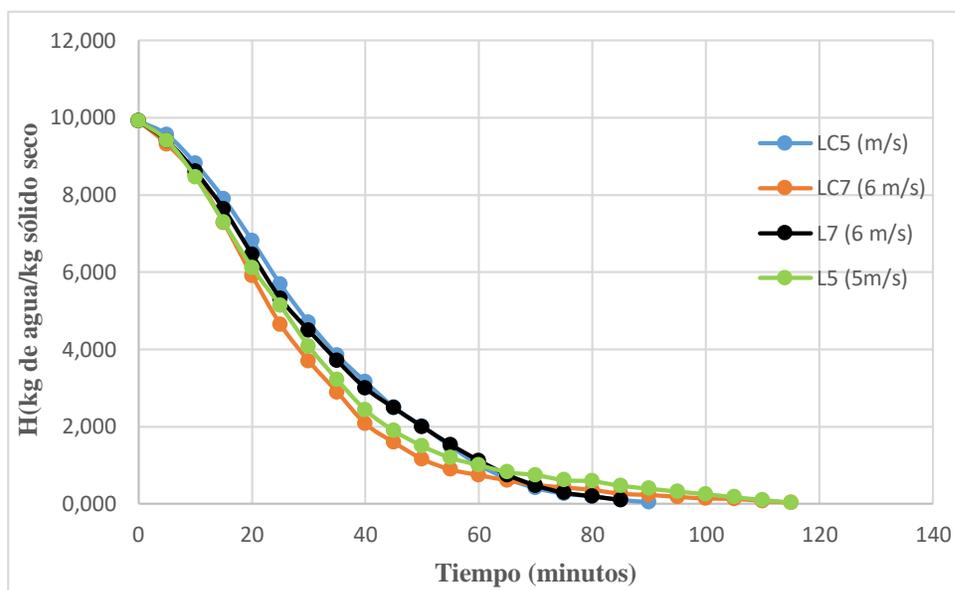
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20. Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5 - 6 m/s); A₂ (60 °C) en función de C₁ (0,1 cm)

En la figura 4.20, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L2, LC2, L4 y LC4; a una velocidad de aire de 5 m/s, temperatura 60°C y tipo de corte 0,1 cm; a los 20 minutos L2 presenta 5,907 kg agua/kg sólido seco, para LC2 a los 10 minutos presenta 8,406 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a una velocidad de aire de 6 m/s, temperatura de 60 °C, y tipo de corte 0,1 cm; L4 a los 35 minutos 3,012 kg agua/kg sólido seco, LC4 a los 50 minutos presentan 3,135 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras L2 y L4 finalizan el secado en mayor tiempo comparadas con las muestras LC2 y LC4; L2 finaliza el secado en un tiempo de 100 minutos con peso de 0,033 kg agua/kg sólido seco respectivamente, la muestra L4 finaliza el secado en un tiempo de 110 minutos con un peso de 0,041 kg agua/kg sólido seco respectivamente; mientras que las muestras LC2 y LC4 finalizan el secado en menor tiempo; para LC2 y LC4 ambas finalizan el secado en 95 minutos con un peso de 0,010 – 0,043 kg agua/kg de sólido seco respectivamente.

4.5.7 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5,0 – 6,0 m/s); A₁ (50 °C) en función de C₂ (0,3 cm)

En la figura 4.21, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L5 y L7 en solución con ácido cítrico LC5 y LC7. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando la velocidad de aire 5 – 6 m/s, manteniendo constante la temperatura 50°C y el tipo de corte 0,3 cm los resultados se detallan en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

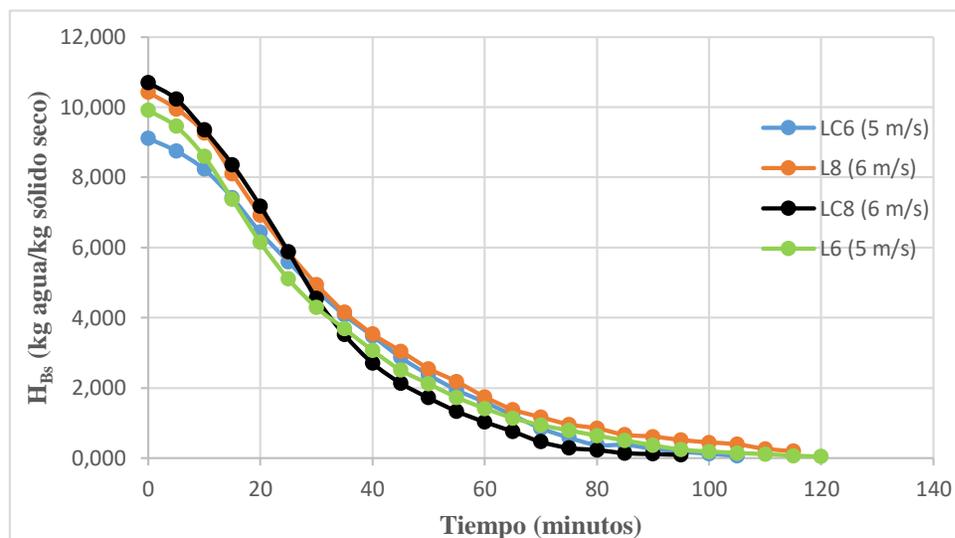
Figura 4.21. Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5 - 6 m/s); A₁ (50 °C) en función de C₂ (0,3 cm)

En la figura 4.21, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L5, LC5, L7 y LC7; a una velocidad de aire de 5 m/s, temperatura 50°C y tipo de corte 0,3 cm; a los 35 minutos LC5 presenta 3,851 kg agua/kg sólido seco, para LC7 a los 10 minutos presenta 8,519 kg agua/kg sólido seco. Así mismo a una velocidad de aire de 6 m/s, temperatura de 50 °C, y tipo de corte 0,3 cm; L7 a los 65 minutos 0,748 kg agua/kg sólido seco, L5 a los 60 minutos presenta 1,005 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras LC7 y L5 finalizan el secado en mayor tiempo comparadas con las muestras LC7 – L5 ambos finalizan el secado en un tiempo de 115 minutos con

peso de 0,031 – 0,035 kg agua/kg sólido seco respectivamente; mientras que las muestras LC5 y L7 finalizan el secado en menor tiempo; para LC5 finaliza el secado en 90 minutos con un peso de 0,046 kg agua/kg sólido seco respectivamente, mientras L7 finaliza el secado en un tiempo de 85 minutos con un peso de 0,097 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.8 Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5,0 – 6,0 m/s); A₂ (60 °C) en función de C₂ (0,3 cm)

En la figura 4.22, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L6 y L8 en solución con ácido cítrico LC6 y LC8. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando la velocidad de aire 5 – 6 m/s, manteniendo constante la temperatura 60°C y el tipo de corte 0,3 cm los resultados se detallan en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

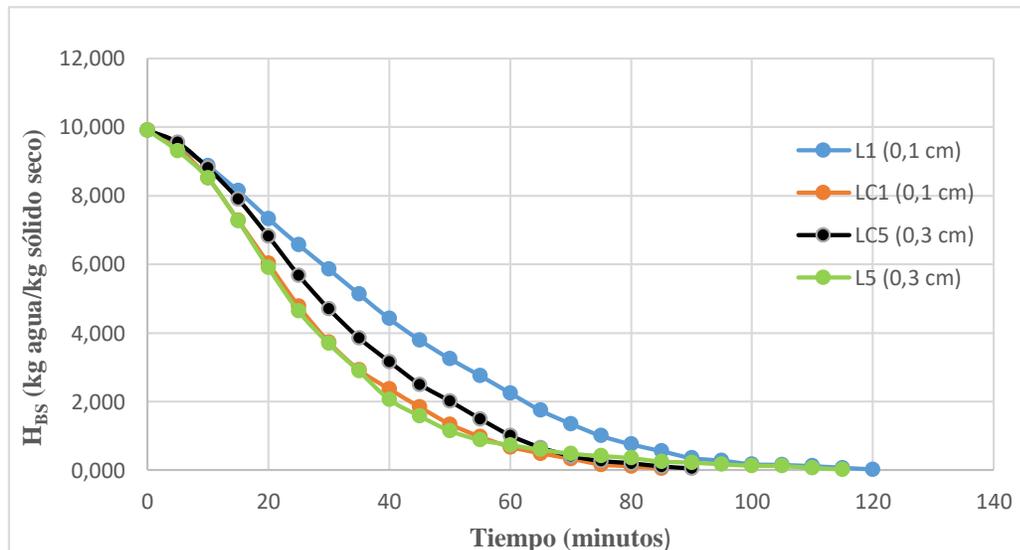
Figura 4.22. Variación del contenido de humedad a velocidad de aire entre B₁₂ (5 - 6 m/s); A₂ (60 °C) en función de C₂ (0,3 cm)

En la figura 4.22, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L6, LC6, L8 y LC8; a una velocidad de aire de 5 m/s, temperatura 60°C y tipo de corte 0,3 cm; a los 25 minutos L6 presenta 5,103 kg agua/kg sólido seco, para LC6 a los 30 minutos presenta 4,785 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a una velocidad de aire de 6 m/s, temperatura de 60 °C, y tipo

de corte 0,3 cm; L8 a los 65 minutos 1,375 kg agua/kg sólido seco, LC8 a los 60 minutos presenta 1,028 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras L6 y L8 finalizan el secado en mayor tiempo comparadas con las muestras LC6 y LC8; la muestra L6 finaliza el secado en un tiempo de 105 minutos con un peso de 0,060 kg agua/kg sólido seco, L8 finaliza el secado en un tiempo de 115 minutos con un peso de 0,189 kg agua/kg sólido seco, la muestra LC6 finaliza el secado en un tiempo de 105 minutos con un peso de 0,060 kg agua/kg sólido y la muestra LC8 finaliza con un secado de 95 minutos con un peso de 0,091 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.9 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,3) cm; A_1 (50 °C) en función de B_1 (0,5 m/s)

En la figura 4.23, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L1 y L5 en solución con ácido cítrico LC1 y LC5. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando el tipo de corte 0,1 – 0,3 cm, manteniendo constante la temperatura 50°C y velocidad de aire 5 m/s los resultados se detallan en el Anexo G.



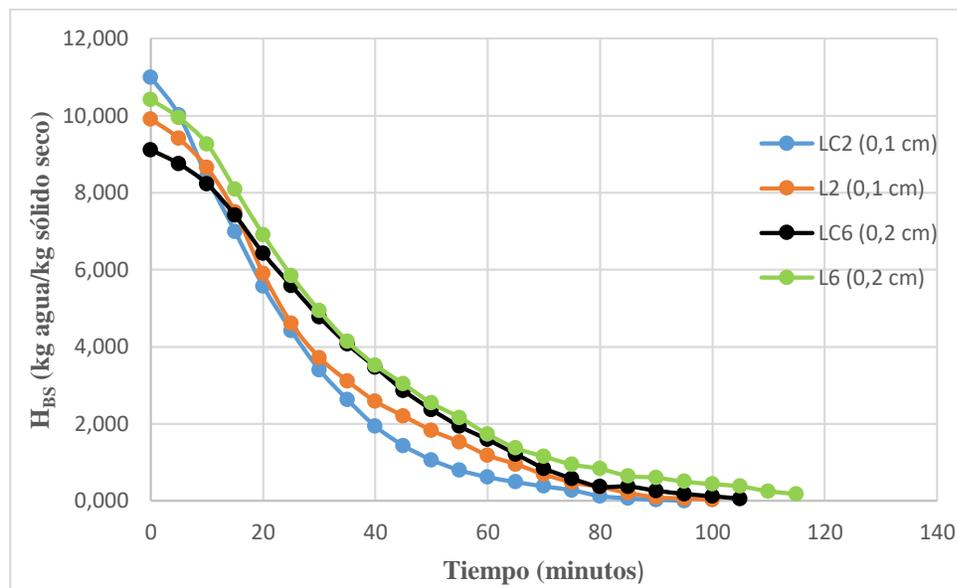
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23. Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,3 cm); A_2 (50 °C) en función de B_1 (0,5 m/s)

En la figura 4.23, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L1, LC1, L5 y LC5; a una temperatura de 50°C, velocidad de aire 5 m/s y tipo de corte 0,1 cm; a los 25 minutos L1 presenta 6,573 kg agua/kg sólido seco, para LC1 a los 20 minutos presenta 7,336 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a una temperatura de 60 °C, velocidad de aire 5 m/s y tipo de corte 0,3 cm; L5 a los 35 minutos presenta 2,892 kg agua/kg sólido seco, LC5 a los 70 minutos presenta 0,409 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras L1 y L5 finalizan el secado en mayor tiempo comparadas con las muestras LC1 y LC5; la muestra L1 finaliza el secado en un tiempo de 105 minutos con un peso de 0,060 kg agua/kg sólido seco, L5 finaliza el secado en un tiempo de 115 minutos con un peso de 0,189 kg agua/kg sólido seco, la muestra LC1 finaliza con un secado de 85 minutos con un peso de 0,052 kg agua/kg sólido seco respectivamente y la muestra LC5 finaliza con un secado de 90 minutos con un peso de 0,046 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.10 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C₁₂ (0,1 – 0,3 cm); A₂ (60 °C) en función de B₁ (0,5 m/s)

En la figura 4.24, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L2 y L6 en solución con ácido cítrico LC2 y LC6. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando el tipo de corte 0,1 – 0,3 cm, manteniendo constante la temperatura 60°C y velocidad de aire 5 m/s los resultados se detallan en el Anexo G.



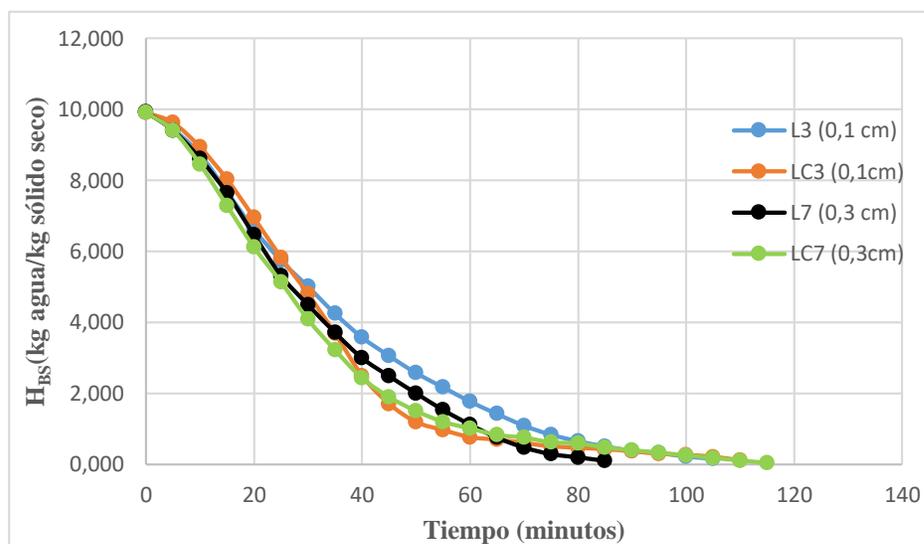
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24. Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,2 cm); A_2 (60 °C) en función de B_1 (0,5 m/s)

En la figura 4.24, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L2, LC2, L6 y LC6; a una temperatura de 60°C, velocidad de aire 5 m/s y tipo de corte 0,1 cm; a los 15 minutos L2 presenta 7,502 kg agua/kg sólido seco, para LC2 a los 10 minutos presenta 8,406 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a una temperatura de 60 °C, velocidad de aire 5 m/s y tipo de corte 0,3 cm; L6 a los 35 minutos presenta 4,147 kg agua/kg sólido seco, LC6 a los 70 minutos presenta 0,850 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras L6 y LC6 finalizan el secado en mayor tiempo comparadas con las muestras L2 y LC2; la muestra L6 finaliza el secado en un tiempo de 115 minutos con un peso de 0,189 kg agua/kg sólido seco, LC6 finaliza el secado en un tiempo de 105 minutos con un peso de 0,060 kg agua/kg sólido seco, la muestra LC2 finaliza con un secado de 95 minutos con un peso de 0,010 kg agua/kg sólido seco respectivamente y la muestra L2 finaliza con un secado de 100 minutos con un peso de 0,033 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.11 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,3 cm); A_1 (50 °C) en función de B_2 (0,3 m/s)

En la figura 4.25, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L3 y L7 en solución con ácido cítrico LC3 y LC7. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando le tipo de corte 0,1 – 0,3 cm, manteniendo constante la temperatura 50°C y velocidad de aire 6 m/s los resultados se detallan en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

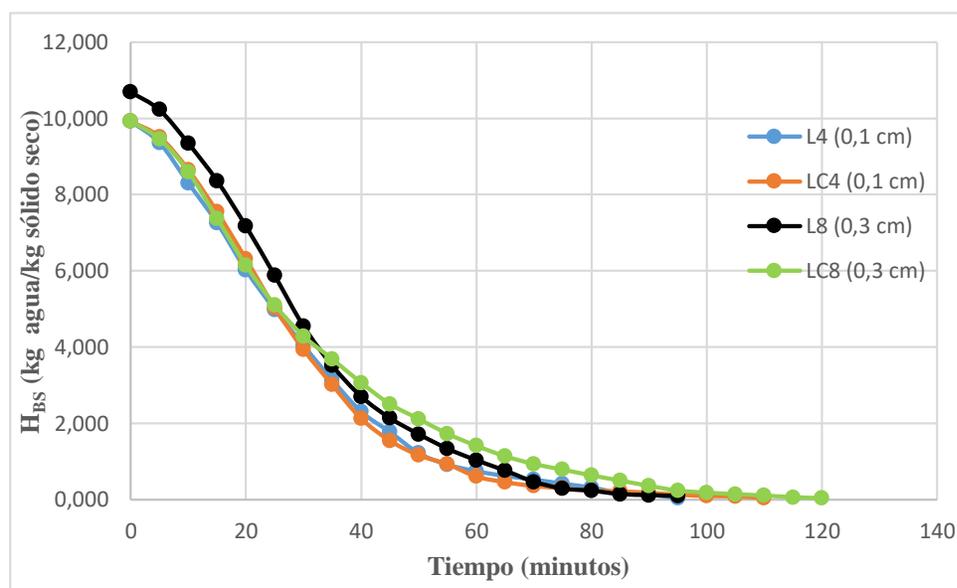
Figura 4.25. Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C_{12} (0,1 – 0,2 cm); A_2 (50 °C) en función de B_1 (0,6 m/s)

En la figura 4.25, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L3, LC3, L7 y LC7; a una temperatura de 50°C, velocidad de aire 6 m/s y tipo de corte 0,1; a los 25 minutos L3 presenta 5,473 kg agua/kg sólido seco, para LC3 a los 30 minutos presenta 4,800 kg agua/kg sólido seco. Asimismo, a una temperatura de 60 °C, velocidad de aire 5 m/s y tipo de corte 0,3 cm; L7 a los 30 minutos presenta 4,488 kg agua/kg sólido seco, LC7 a los 55 minutos presenta 1,193 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras LC3 y LC7 finalizan el secado en mayor tiempo comparadas con las muestras L3 y L7; la muestra LC3 finaliza el secado en un tiempo de 110 minutos con un peso de 0,108 kg agua/kg sólido seco, LC7 finaliza el secado en un

tiempo de 85 minutos con un peso de 0,097 kg agua/kg sólido seco, la muestra L3 finaliza con un secado de 105 minutos con un peso de 0,0163 kg agua/kg sólido seco respectivamente y la muestra L7 finaliza con un secado de 85 minutos con un peso de 0,097 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

4.5.12 Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C₁₂ (0,1 – 0,3 cm); A₂ (60 °C) en función de B₂ (0,3 m/s)

En la figura 4.26, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras sin tratamiento L4 y L8 en solución con ácido cítrico LC4 y LC8. Para tal efecto, se tomaron datos a intervalos de 5 minutos variando le tipo de corte 0,1 – 0,3 cm, manteniendo constante la temperatura 60°C y velocidad de aire 6 m/s los resultados se detallan en el Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26. Variación del contenido de humedad a tipo de corte entre C₁₂ (0,1 – 0,2 cm); A₂ (60 °C) en función de B₂ (0,6 m/s)

En la figura 4.26, se puede observar que la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras L4, LC4, L8 y LC8; a una temperatura de 50°C, velocidad de aire 6 m/s y tipo de corte 0,1 cm; a los 20 minutos L4 presenta 6,020 kg agua/kg sólido seco, para LC4 a los 25 minutos presenta 5,038 kg agua/kg sólido seco. Así mismo a una temperatura de 60 °C, velocidad de aire 5 m/s y tipo de

corte 0,3 cm; L8 a los 30 minutos presenta 4,547 kg agua/kg sólido seco, LC8 a los 35 minutos presenta 3,683 kg agua/kg sólido seco respectivamente. Por otro lado, se puede observar que las muestras LC4 y LC8 finalizan el secado en mayor tiempo comparadas con las muestras L4 – L8; la muestra LC4 finaliza el secado en un tiempo de 110 minutos con un peso de 0,0401 kg agua/kg sólido seco, LC8 finaliza el secado en un tiempo de 120 minutos con un peso de 0,037 kg agua/kg sólido seco, la muestra L4 finaliza con un secado de 95 minutos con un peso de 0,043 kg agua/kg sólido seco respectivamente y la muestra L8 finaliza con un secado de 95 minutos con un peso de 0,091 kg agua/kg sólido seco respectivamente.

En conclusión, se pudo evidenciar que las muestras sin pretratamiento tienen un tiempo de secado mayor con relación a las que se realizó el pretratamiento realizadas; asimismo cuando se incrementa la velocidad de aire de entrada, las muestras tienden a perder mayor contenido de agua en la parte de la flor mientras que del tallo sigue estando húmedo.

Analizando las variables controladas de temperatura 50°C, tipo de corte 0,3 cm y velocidad de aire 5m/s se concluye que la variación del contenido de humedad de las muestras de coliflor variedad blanca es mínima, por lo tanto, estadísticamente se concluye que no existe diferencia significativa en las muestras tratadas con y sin pretratamiento en las distintas condiciones de temperatura, tipo de corte y velocidad de aire.

4.6 Cinética de secado

En la cinética de secado se pudo observar el proceso de secado en la elaboración de harina de coliflor variedad blanca tanto para las muestras sin tratamiento como para las muestras con ácido cítrico.

4.6.1 Cinética de secado para el proceso de secado en la elaboración de harina de coliflor variedad blanca con ácido cítrico

En la tabla 4.21, se muestran los resultados obtenidos para la cinética de secado de la muestra LC2 de coliflor con solución de ácido cítrico al 0,3%; en condiciones de temperatura de 60 °C, tipo de corte 0,1 cm y velocidad de aire 5 m/s, donde los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2016).

- Cantidad de materia prima: 128,30 g
- Contenido de humedad: 90,84 % (CEANID, 2024)
- Área de la bandeja: 0,035 m²
- Tiempo de secado: 1 hora y 35 minutos

Tabla 4.21

Variación del contenido de humedad final y velocidad de secado para la obtención de harina de coliflor variedad blanca ácido cítrico al 0,3%

Tiempo (min)	Peso (g)	H _{BS} (kg/kg)	H _{BS} media (kg/kg)	Δθ (h)	Δ H _{BS} (kg/kg)	Δ H _{BS} /Δθ (kg/kg*h)	N (kg/m ² *h)
0	128,30	9,917	-	-	-	-	-
5	120,40	9,245	9,581	0,083	0,672	8,099	2,7
10	111,02	8,447	8,846	0,083	0,798	9,616	3,2
15	96,36	7,199	7,823	0,083	1,247	15,029	5,0
20	82,25	5,999	6,599	0,083	1,201	14,466	4,8
25	67,69	4,760	5,379	0,083	1,239	14,927	5,0
30	57,08	3,857	4,308	0,083	0,903	10,877	3,6
35	47,52	3,044	3,450	0,083	0,813	9,801	3,3
40	37,99	2,233	2,638	0,083	0,811	9,770	3,3
45	32,05	1,727	1,980	0,083	0,505	6,090	2,0
50	27,01	1,298	1,513	0,083	0,429	5,167	1,7
55	23,10	0,966	1,132	0,083	0,333	4,009	1,3
60	20,22	0,721	0,843	0,083	0,245	2,953	1,0
65	18,26	0,554	0,637	0,083	0,167	2,009	0,7
70	16,89	0,437	0,495	0,083	0,117	1,405	0,5
75	15,81	0,345	0,391	0,083	0,092	1,107	0,4
80	15,51	0,320	0,333	0,083	0,026	0,308	0,1
85	14,68	0,249	0,284	0,083	0,071	0,851	0,3
90	14,11	0,201	0,225	0,083	0,049	0,584	0,2
95	13,88	0,181	0,191	0,083	0,020	0,236	0,1
100	13,02	0,108	0,144	0,083	0,073	0,882	0,3
105	13,00	0,106	0,107	0,083	0,002	0,021	0,0
110	12,45	0,059	0,083	0,083	0,047	0,564	0,2
115	11,78	0,002	0,031	0,083	0,057	0,687	0,2

Fuente: Elaboración propia

Donde:

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

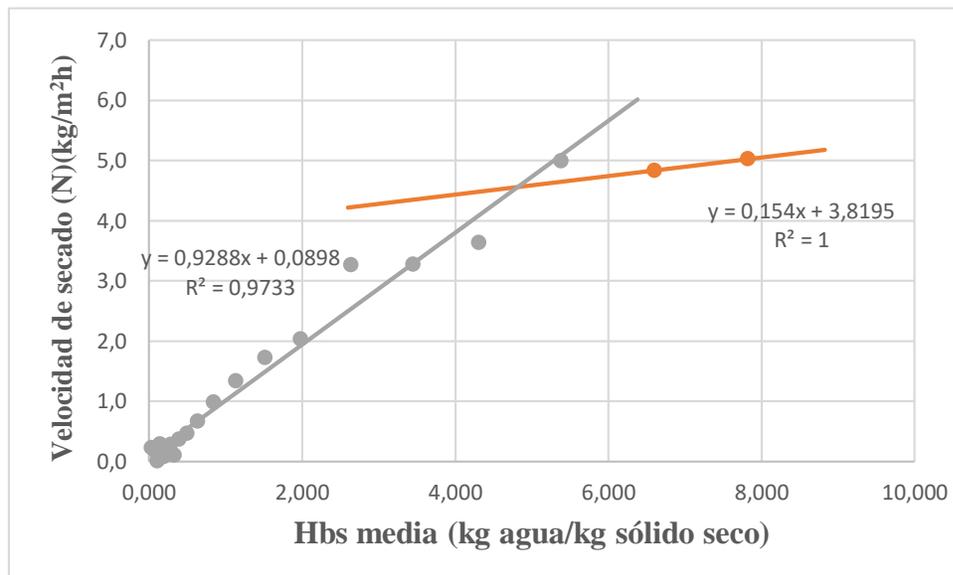
H_{BS} media= Contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco)

ΔH_{BS} = Gradiente de humedad en base seca sobre la gradiente de tiempo (kg agua/kg sólido seco * h)

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

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

En la figura 4.27, se muestra la cinética en el proceso de secado para las muestras de coliflor sin tratamiento en función del contenido de humedad media en base a los datos de la tabla 4.21



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27. Cinética en el proceso de secado para las muestras de coliflor con ácido cítrico

En la figura 4.27, se puede observar el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado, donde se pudo concluir que existe dos direcciones distintas:

La dirección (A – B) representa el periodo ante-critico donde el contenido de humedad de las muestras de coliflor migra desde el interior hasta la superficie con una velocidad de secado constante hasta alcanzar la humedad critica, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión $R^2(1)$ se describe en la ecuación 4.3.

$$y= 0,154x + 3,8195 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

El tramo (B – C) representa el periodo pos-critico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad de las muestras de coliflor alcance el equilibrio, logrando un secado total en la superficie, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión $R^2 (0,9733)$, se describe en la ecuación 4.4.

$$y= 0,9288x - 0,0898 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

4.6.2 Cinética desecado para las muestras de coliflor sin tratamiento

En la tabla 4.22 se muestran los resultados ajustados a la cinética de secado de la muestra L3 de coliflor variedad blanca sin tratamiento bajo las condiciones de temperatura 50 °C, tipo de corte 0,1 cm y velocidad de aire 6 m/s, donde los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2016).

Por lo tanto, las condiciones fueron las siguientes:

- Cantidad de materia prima: 128,21 g
- Contenido de humedad: 90,84 % (CEANID, 2024)
- Área de la bandeja: 0,035 m²
- Tiempo de secado: 1 hora y 55 minutos

Tabla 4.22

Variación del contenido de humedad final y velocidad de secado para la obtención de harina de coliflor variedad blanca 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	128,21	9,917	-	-	-	-	-
5	120,19	9,234	9,576	0,083	0,683	8,228	2,8
10	107,85	8,183	8,709	0,083	1,051	12,660	4,2
15	95,77	7,155	7,669	0,083	1,029	12,393	4,1
20	80,03	5,815	6,485	0,083	1,340	16,148	5,4
25	66,88	4,695	5,255	0,083	1,120	13,491	4,5
30	55,09	3,691	4,193	0,083	1,004	12,095	4,0
35	43,15	2,674	3,183	0,083	1,017	12,249	4,1
40	34,05	1,899	2,287	0,083	0,775	9,336	3,1
45	28,00	1,384	1,642	0,083	0,515	6,207	2,1
50	22,01	0,874	1,129	0,083	0,510	6,145	2,1
55	19,25	0,639	0,757	0,083	0,235	2,831	0,9
60	18,10	0,541	0,590	0,083	0,098	1,180	0,4
65	17,03	0,450	0,496	0,083	0,091	1,098	0,4
70	16,54	0,408	0,429	0,083	0,042	0,503	0,2
75	15,00	0,277	0,343	0,083	0,131	1,580	0,5
80	14,89	0,268	0,273	0,083	0,009	0,113	0,0
85	13,01	0,108	0,188	0,083	0,160	1,929	0,6
90	12,99	0,106	0,107	0,083	0,002	0,021	0,0
95	11,88	0,012	0,059	0,083	0,095	1,139	0,4

Fuente: Elaboración propia

Donde:

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

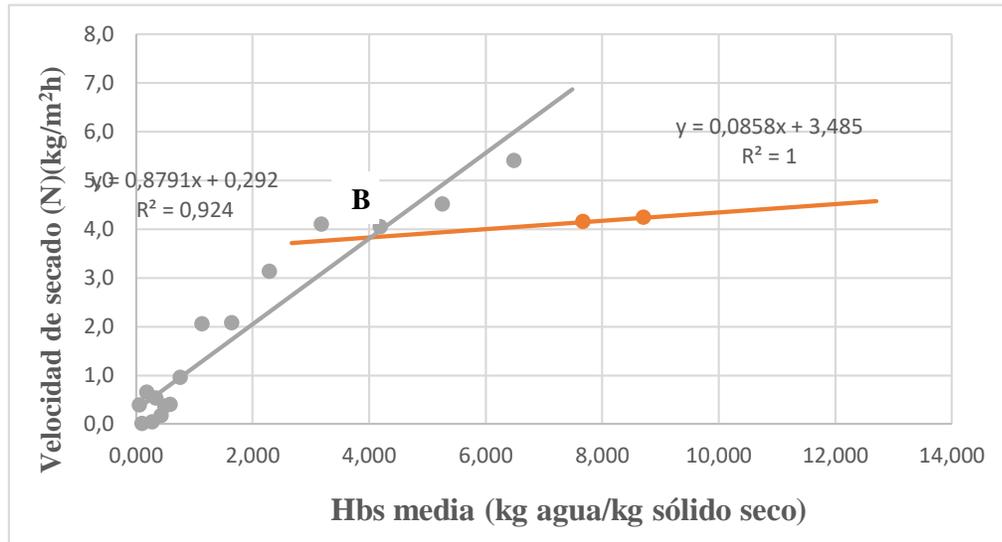
H_{BS} media= Contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco)

ΔH_{BS} = Gradiente de humedad en base seca sobre la gradiente de tiempo (kg agua/kg sólido seco * h)

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

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

En la figura 4.28, se muestra la cinética en el proceso de secado para las muestras de coliflor sin tratamiento en función del contenido de humedad media en base a los datos de la tabla 4.22



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28. Cinética en el proceso de secado para las muestras de coliflor sin tratamiento

En la figura 4.28, se puede observar el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado, donde se pudo concluir que existe dos direcciones distintas:

La dirección (A – B) representa el periodo ante-crítico donde el contenido de humedad de las muestras de coliflor migra desde el interior hasta la superficie con una velocidad de secado constante hasta alcanzar la humedad crítica, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión $R^2(1)$ se describe en la ecuación 4.4.

$$y = 0,0858x + 3,485 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

El tramo (B – C) representa el periodo pos-crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad de las muestras de coliflor alcance el equilibrio, logrando un secado total en la superficie, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión $R^2(0,924)$, se describe en la ecuación 4.5.

$$y = 0,8791x - 0,292 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

4.7 Caracterización de la harina de coliflor variedad blanca

Para la caracterización de harina de coliflor variedad blanca, se tomaron en cuenta los siguientes análisis: fisicoquímicos, microbiológicos y micronutrientes los cuales se detalla a continuación.

4.7.1 Análisis fisicoquímico de la harina de coliflor variedad blanca

En la tabla 4.23, se muestran los resultados de análisis fisicoquímico de harina de coliflor de datos extraídos del Anexo B.

Tabla 4.23

Análisis fisicoquímicos de harina de coliflor

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	8,83
Fibra	%	8,98
Grasa	%	2,84
Hidratos de carbono	%	53,54
Proteína total (N*6,25)	%	26,06
Humedad	%	8,73
Valor energético	Kcal/100 g	344

Fuente: CEANID, 2024

Como se observa en la tabla 4.23, se expresan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de harina de coliflor que contiene: Cenizas 8,83%; Fibra 8,98%; Grasa 2,84%; Hidratos de carbono 53,54%; Proteína total (N*6,25) 26,06%; Humedad 8,73% y Valor energético 344 Kcal/100 g.

4.7.2 Análisis de minerales de la harina de coliflor variedad blanca

En la tabla 4.24, se presentan los resultados de análisis de minerales de harina de coliflor de datos extraídos del Anexo B.

Tabla 4.24*Análisis de minerales de harina de coliflor*

Minerales	Unidad	Resultado
Fósforo	mg/100 g	275
Potasio	mg/100 g	6,8

Fuente: CEANID, 2024

Como se puede observar en la tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos del análisis de minerales de harina de coliflor que contiene: Fósforo 275 mg/100 g y Potasio 6,8 mg/100 g.

4.7.3 Análisis microbiológico de harina de coliflor variedad blanca

En la tabla 4.25, se muestran los resultados de análisis microbiológicos de harina de coliflor de datos extraídos del Anexo B.

Tabla 4.25*Análisis microbiológicos de harina de coliflor*

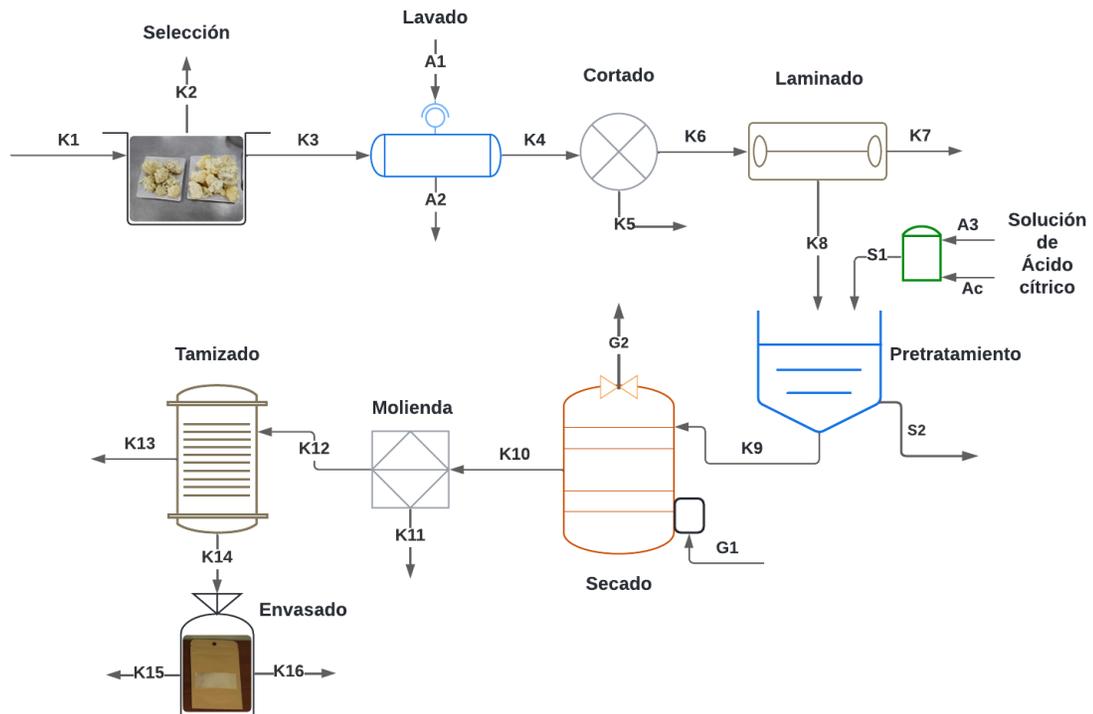
Microorganismos	Unidad	Resultado
Staphylococcus aureus	UFC/g	$<1 \times 10^1$ (*)
Escherichia coli	UFC/g	$<1 \times 10^1$ (*)
Salmonella	P/A/25 g	Ausencia
(*) no se observa desarrollo de colonias		

Fuente: CEANID, 2024

En la tabla 4.25, se observan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de harina de coliflor: Staphylococcus aureus $<1 \times 10^1$ UFC/g (*); Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (*) y Salmonella, Ausencia P/A/25 g.

4.8 Balance general de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca

En la figura 4.29, se representa el proceso productivo de la obtención de harina de coliflor variedad blanca, mediante un balance general de materia y un diagrama de flujo característico, para realizar el balance de materia, la base de cálculo será de 1000 g de coliflor variedad blanca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29. Balance general de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca

Donde:

K_1 = Coliflor variedad blanca (g)

K_2 = Rechazo de coliflor variedad blanca (g)

K_3 = Coliflor seleccionada variedad blanca (g)

A_1 = Agua potable (g)

A_2 = Agua residual (g)

K_4 = Coliflor lavada variedad blanca (g)

K_5 = Pérdida en el cortado (g)

K_6 = Coliflor cortada variedad blanca (g)

K_7 = Pérdida en el laminado (g)

$K_8 =$ Coliflor laminada variedad blanca (g)

$A_3 =$ Agua para pretratamiento (g)

$A_c =$ Ácido cítrico (g)

$S_1 =$ Solución de Ácido cítrico

$K_9 =$ Coliflor pre tratada variedad blanca (g)

$G_1 =$ Cantidad de aire en la entrada (g)

$G_2 =$ Cantidad de aire en la salida (g)

$K_{10} =$ Coliflor laminada seca variedad blanca (g)

$K_{11} =$ Cantidad de pérdida en la molienda (g)

$K_{12} =$ Coliflor molida seca variedad blanca (g)

$K_{13} =$ Pérdida en el tamizado de coliflor seca variedad blanca (g)

$K_{14} =$ Harina tamizada de coliflor variedad blanca (g)

$K_{15} =$ Pérdida en el envasado de coliflor seca variedad blanca (g)

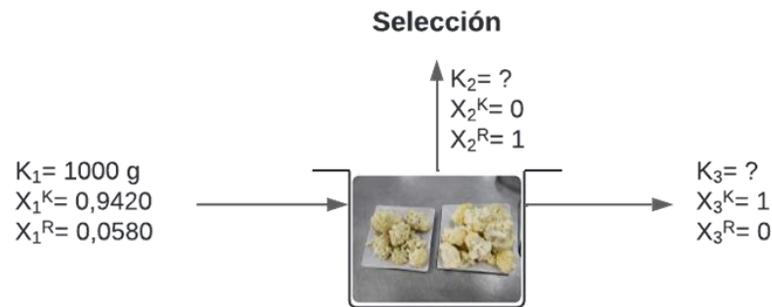
$K_{16} =$ Harina final envasada de coliflor variedad blanca (g)

$X_1^K =$ Fracción de coliflor seleccionada

$X_1^R =$ Fracción de coliflor rechazada

4.8.1 Balance de materia en la etapa de selección

En la figura 4.30, se muestra la sub etapa de selección de coliflor variedad blanca a partir de 1000 g de materia prima, tomando en cuenta el 94,2% de coliflor seleccionada para comenzar a realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30. Etapa de selección de coliflor variedad blanca

Balance general de materia en la etapa de selección

$$K_1 = K_2 + K_3 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Balance de materia parcial para componente sólido en la etapa de selección

$$K_1 X_1^R = K_2 X_2^R + \cancel{K_3 X_3^R} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Despejando K_2 de la ecuación 4.5:

$$K_2 = \frac{K_1 X_1^R}{X_2^R}$$

$$K_2 = \frac{1000 \text{ g} * 0,0580}{1}$$

$K_2 = 58$ g de rechazo de coliflor en la etapa de selección

Despejando K_3 de la ecuación 4.4:

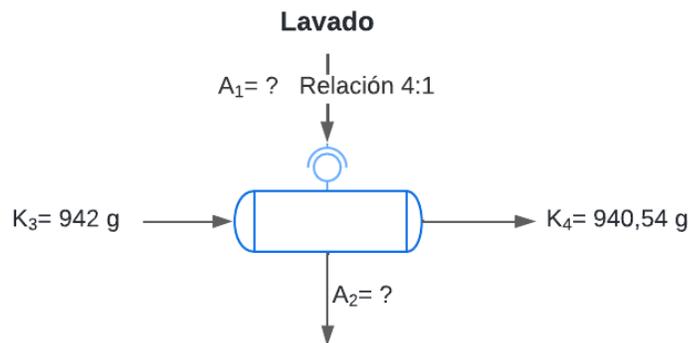
$$K_3 = K_1 - K_2$$

$$K_3 = 1000 \text{ g} - 58 \text{ g}$$

$K_3 = 942$ g de coliflor seleccionada

4.8.2 Balance de materia en la etapa de lavado

En la figura 4.31, se muestra la etapa de lavado a partir de 942 g de coliflor variedad blanca seleccionada para realizar el balance de materia mencionado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31. Etapa de lavado de coliflor variedad blanca

Balance general de materia en la etapa de lavado

$$K_3 + A_1 = K_4 + A_2 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Cálculo de agua que ingresa al lavado en relación agua: coliflor (4:1)

$$A_1 = 4 * K_3$$

$$A_1 = 4 * (942 \text{ g})$$

$A_1 = 3768 \text{ g}$ de agua potable utilizada para el lavado

Despejando A_2 de la ecuación 4.6:

$$A_2 = K_3 + A_1 - K_4$$

$$A_2 = 942 \text{ g} + 3768 \text{ g} - 940,54 \text{ g}$$

$A_2 = 3769,46 \text{ g}$ de agua de lavado con impurezas de tierra

Cálculo de la masa sólida e impurezas

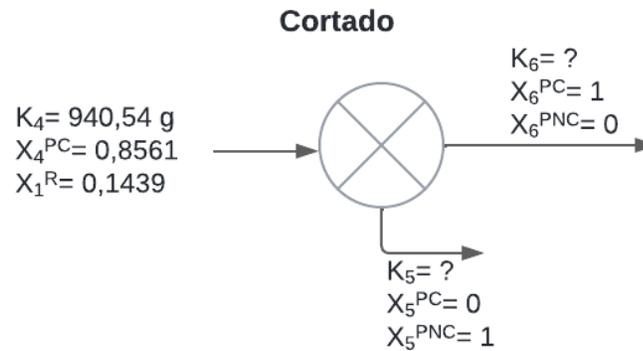
$$I = A_2 - A_1 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$I = 3769,46 \text{ g} - 3768 \text{ g}$$

$I = 1,46 \text{ g}$ de impurezas (entre tierra e insectos)

4.8.3 Balance de materia en la etapa de cortado

En la figura 4.32, se demuestra la etapa de cortado a partir de 940,54 g de coliflor variedad blanca, para realizar el balance de materia correspondiente se toma en cuenta los datos de la tabla 4.1, porción comestible 85,61% y porción no comestible 14,39%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32. Etapa de cortado de coliflor variedad blanca

Balance general de materia en la etapa de cortado

$$K_4 = K_5 + K_6 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Balance de materia parcial para la porción comestible en el cortado

$$K_4 X_4^{PC} = K_5 X_5^{PC} + K_6 X_6^{PC} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Despejando K_6 de la ecuación 4.7:

$$K_6 = \frac{K_4 X_4^{PC}}{X_6^{PC}}$$

$$K_6 = \frac{940,54 \text{ g} * 0,8561}{1}$$

$K_6 = 805,1963$ g de cortado de coliflor variedad blanca

Cálculo de la masa no comestible en el cortado

Despejando K_5 de la ecuación 4.6:

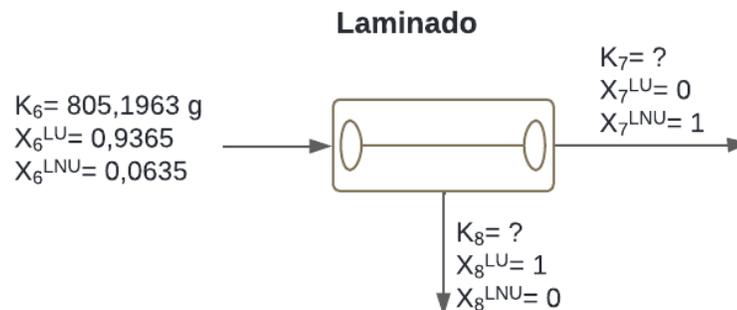
$$K_5 = K_4 - K_6$$

$$K_5 = 940,54 \text{ g} - 805,1963 \text{ g}$$

$K_5 = 135,3437 \text{ g}$ de tallo de coliflor (porción no comestible)

4.8.4 Balance de materia en la etapa de laminado

En la figura 4.33, se demuestra la etapa de laminado a partir de 805,1963 g de coliflor variedad blanca, para realizar el balance de materia correspondiente se toma en cuenta el 93,65% de laminado efectivo de la coliflor previamente cortada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33. Etapa de laminado de coliflor variedad blanca

Balance general de materia en la etapa de laminado

$$K_6 = K_7 + K_8 \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Balance en fracción para láminas útiles

$$K_6 X_6^{LU} = \cancel{K_7 X_7^{LU}} + K_8 X_8^{LU} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Despejando K_8 de la ecuación 4.9:

$$K_8 = \frac{K_6 X_6^{LU}}{X_8^{LU}}$$

$$K_8 = \frac{805,1963 \text{ g} * 0,9365}{1}$$

$K_8 = 754,0663 \text{ g}$ de láminas útiles de coliflor variedad blanca

Despejando K_7 de la ecuación 4.8:

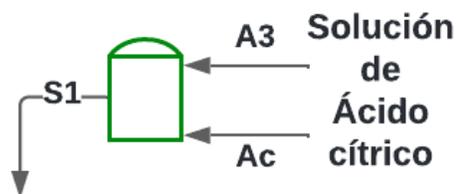
$$K_7 = K_6 - K_8$$

$$K_7 = 805,1963 \text{ g} - 754,0663 \text{ g}$$

$K_7 = 51,13 \text{ g}$ de láminas de coliflor de desecho

4.8.5 Balance de materia en la etapa de solución de ácido cítrico

En la figura 4.34, se muestra la etapa de preparación de solución de ácido cítrico, la cual se preparó a una concentración de 0,3% (6 g para 2000 g de agua).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34. Etapa de solución de ácido cítrico

Balance general de materia en la etapa de solución de ácido cítrico

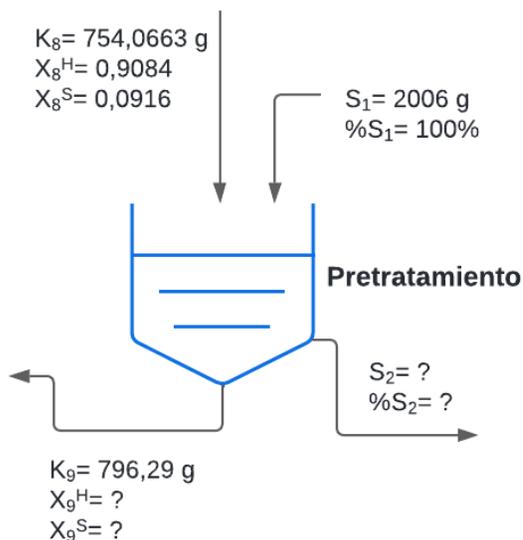
$$S_1 = A_3 + Ac \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$S_1 = 2000 \text{ g} + 6 \text{ g}$$

$S_1 = 2006 \text{ g}$ de solución de ácido cítrico

4.8.6 Balance de materia en la etapa de pretratamiento

En la figura 4.35, se muestra la etapa de pretratamiento que se realizó con 2006 g de solución de ácido cítrico y 754,0663 g de coliflor laminada, con un contenido de humedad inicial en base húmeda de 90,84% (CEANID, 2023).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35. Etapa de pretratamiento

Balance general de materia en la etapa de pretratamiento

$$K_8 + S_1 = K_9 + S_2$$

Ecuación 4.10

Despejando S_2 de la ecuación 4.10:

$$S_2 = K_8 + S_1 - K_9$$

$$S_2 = 754,0663 \text{ g} + 2006 \text{ g} - 796,29 \text{ g}$$

$S_2 = 1963,7763 \text{ g}$ de solución de ácido cítrico residual

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de pretratamiento

$$\%S_2 = \frac{S_2 * 100}{S_1}$$

$$\%S_2 = \frac{1963,7763 \text{ g} * 100}{2006 \text{ g}}$$

$\%S_2 = 97,8951\%$ de solución de ácido cítrico residual

Balance de materia parcial por componentes sólidos solubles de la coliflor

$$K_8 X_8^S + S_1 X_1^S = K_9 X_9^S + S_2 X_2^S$$

Ecuación 4.11

Despejando X_9^S de la ecuación 4.11:

$$X_9^S = \frac{K_8 X_8^S}{K_9}$$

$$X_9^S = \frac{754,0663 \text{ g} * 0,0916}{796,29 \text{ g}}$$

$X_9^S = 0,0867$ fracción de sólidos solubles secos de la coliflor escurrida

Cálculo de fracción húmeda para coliflor pre tratada y escurrida

$$1 = X_9^S + X_9^H \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despejamos X_9^H de la ecuación 4.12:

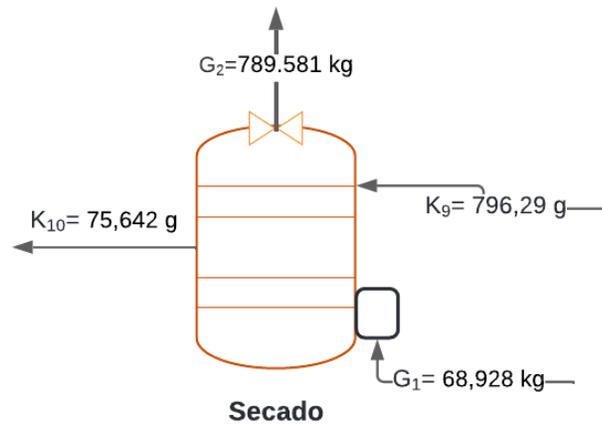
$$X_9^H = 1 - X_9^S$$

$$X_9^H = 1 - 0,0867$$

$X_9^H = 0,9133$ fracción de humedad de la coliflor escurrida.

4.8.7 Balance de materia en la etapa de secado

En la figura 4.36, se muestra la etapa del secado en el proceso, misma que se realizó con 796,29 g de coliflor variedad blanca pre tratada, donde se tomaron en cuenta los cálculos realizados para la base húmeda del mismo, dando como resultado una humedad inicial de 91,33% en base húmeda; y al final del proceso el contenido de humedad final de la coliflor es de 8,73% (CEANID, 2024).



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.36. Etapa de secado

Balance de materia global en la etapa de secado

Para realizar el balance de materia global en la etapa de secado, se tomó en cuenta la ecuación 4.13 citada por Singh y Heldman (2009).

$$K_9 + G_1 = K_{10} + G_2 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

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

$$K_9 * X_9^S = K_{10} * X_{10}^S \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Despejando K_{10} de la ecuación 4.13:

$$K_{10} = \frac{K_9 X_9^S}{X_{10}^S}$$

$$K_{10} = \frac{796,29 \text{ g} * 0,0867}{0,9127}$$

$K_{10} = 75,642$ g de coliflor seca.

Agua evaporada será igual a:

$$A_{\text{evaporada}} = K_9 - K_{10}$$

$$A_{\text{evaporada}} = 796,29 - 75,642$$

$$A_{\text{evaporada}} = 720,648 \text{ g}$$

Balance parcial de materia en base seca en la etapa de secado

Para el realizar el balance parcial de materia en base seca en la etapa de secado se tomó en cuenta la ecuación 4.14 citada por Singh y Heldman (2009).

$$K_9 X_9 + G_1 Y_{G1} = K_{10} X_{10} + G_2 Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Donde las variables:

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

G_2 = Cantidad de masa de agua evaporada (Kg)

K = Cantidad de masa del producto (Kg de sólido seco)

X = Humedad del producto (Kg de agua/Kg de sólido seco)

Y = Humedad del aire (Kg de agua/Kg de aire seco)

Reemplazando variables en la ecuación 4.14, se obtiene:

$$K X_9 + G Y_{G1} = K X_{10} + G Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Dividiendo a la ecuación 4.15 entre K se obtiene:

$$X_9 + G Y_{G1}/K = X_{10} + G Y_{G2}/K \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Ordenando la ecuación 4.16 por dominio se obtiene:

$$G \frac{Y_{G1}}{K} - G \frac{Y_{G2}}{K} = X_{10} - X_9 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Factorizando G/K de la ecuación 4.17 se obtiene:

$$G = \frac{(X_9 - X_{10}) * K}{Y_{G1} - Y_{G2}} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

El contenido de Humedad en base seca de la coliflor escurrida en la etapa de secado se determinó según la ecuación 4.19 citada por Singh y Heldman (2009).

$$H_{BS} = \frac{X_{\text{agua}}}{X_{\text{Sólido Seco}}} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

A partir de la ecuación 4.19 se calcula la humedad inicial en base seca del proceso de secado.

$$X_9 = \frac{0,9133}{0,0867} \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$$

$$X_9 = 10,5340 \text{ kg agua/kg sólido seco}$$

En base a la ecuación 4.19 se determinó la humedad en base seca al final del proceso de secado

$$X_{10} = \frac{0,0873}{0,9127} \text{ (kg agua/kg sólido seco)}$$

$$X_{10} = 0,0956 \text{ kg agua/kg sólido seco}$$

Según Mazzinghi (2012) la altura de Tarija es de 1866 msnm; por lo tanto, los datos fueron introducido en Software Psicrom 1.0 de psicrometría y los resultados se muestran en la tabla 4.23 en base a temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del secador de bandejas.

Tabla 4.23

Propiedades psicrométricas 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)	10,59	22,05
PVP (Kpa)	1,28	2,63

Fuente: Elaboración propia

Donde:

PVP = Presión parcial de vapor de agua (kpa)

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

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

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

Para una cantidad de coliflor con pretratamiento de (K_9) 796,29 g la relación de cantidad de coliflor seca (K_{10}) es 75,642 g.

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

$$G = \frac{(X_9 - X_{10}) * K}{Y_{G2} - Y_{G1}}$$

Reemplazando valores:

$$G_1 = \frac{(10,5340 - 0,0956) \text{ g agua/g sólido seco} * 75,642 \text{ g sólido seco}}{(22,05 - 10,595) \text{ g agua/kg de aire seco}}$$

$G_1 = 68,928$ kg aire seco

Para calcular la masa de agua evaporada, se tomó en cuenta la ecuación 4.19 citada por Valiente (1994).

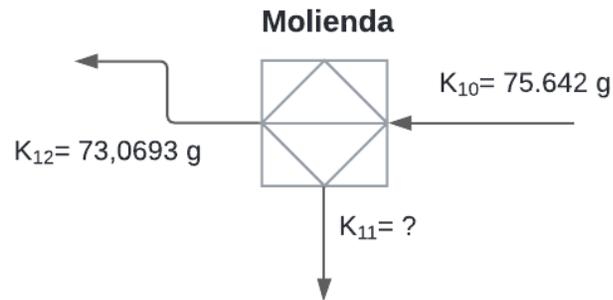
$$G_2 = (X_9 - X_{10}) * K \quad \text{Ecuación 4.19}$$

$$G_2 = (10,5340 - 0,0956) \text{ g agua/g sólido seco} * 75,642 \text{ g sólido seco}$$

$$G_2 = 789,581 \text{ kg agua evaporada}$$

4.8.8 Balance de materia en la etapa de molienda

En la figura 4.37, se muestra el balance de materia en la etapa de molienda, el cual se realizó con 75,642 g de coliflor seca, y terminado el proceso se obtuvo 73.0693 g.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.37. Etapa de molienda

Balance general de materia en la etapa de molienda

El balance general de materia para la etapa de molienda queda expresado en la ecuación 4.20.

$$K_{10} = K_{11} + K_{12} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Despejando K_{11} de la ecuación 4.20:

$$K_{11} = K_{10} - K_{12}$$

$$K_{11} = 75,642 \text{ g} - 73,0693 \text{ g}$$

$K_{11} = 2,5727 \text{ g}$ de pérdida en la etapa de molienda

Cantidad en porcentaje de pérdida en la etapa de molienda

$$\%P_M = \frac{K_{11}}{K_{10}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.21}$$

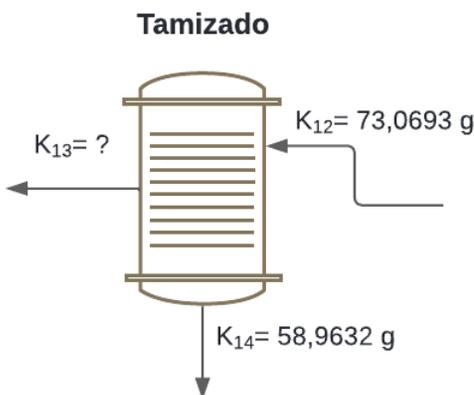
Despejando X_{12} , y reemplazando valores de la ecuación 4.21 tenemos:

$$\%P_M = \frac{2,5727}{75,642} * 100$$

$K_{11} = 3,401 \%$ de pérdida en la etapa de molienda

4.8.9 Balance de materia en la etapa de tamizado

En la figura 4.38, se muestra el balance de materia en la etapa de tamizado, el cual se realizó con 73,0693 g de harina de coliflor molida, y terminado el proceso se obtuvo 58,9632 g.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.38. Etapa de tamizado

Balance general de materia en la etapa de tamizado

El balance general de materia para la etapa de tamizado queda expresado en la ecuación 4.22.

$$K_{12} = K_{13} + K_{14} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Despejando K_{13} de la ecuación 4.22:

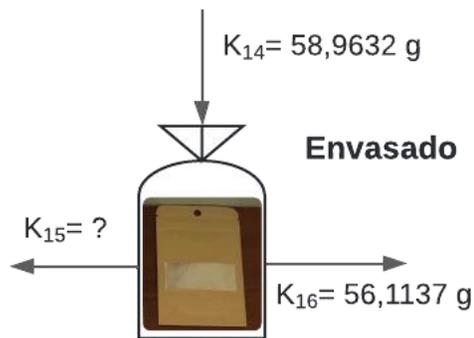
$$K_{13} = K_{12} - K_{14}$$

$$K_{13} = 73,0693 \text{ g} - 58,9632 \text{ g}$$

$$K_{13} = 14,1061 \text{ g de pérdida en la etapa de tamizado.}$$

4.8.10 Balance de materia en la etapa de envasado

En la figura 4.39, se muestra el balance de materia en la etapa de envasado, el cual se realizó con 58,9632 g de harina de coliflor tamizada, y terminado el proceso se obtuvo 56,1137 g de harina final.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.39. Etapa de envasado

Balance general de materia en la etapa de envasado

El balance general de materia para la etapa de tamizado queda expresado en la ecuación 4.23.

$$K_{14} = K_{15} + K_{16} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Despejando K_{15} de la ecuación 4.22:

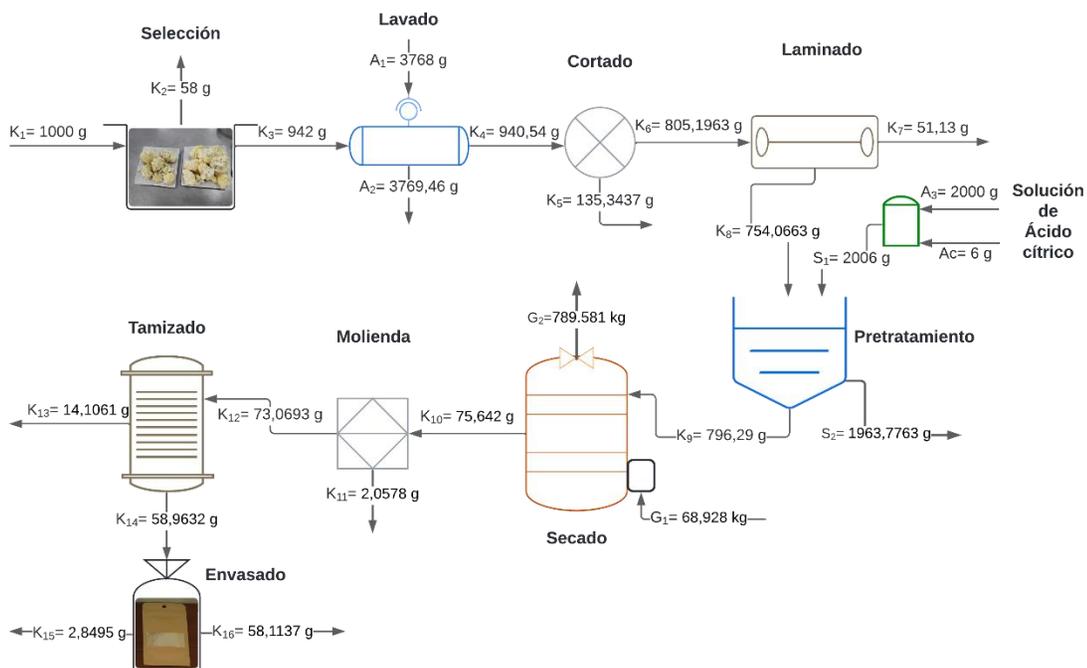
$$K_{15} = K_{14} - K_{16}$$

$$K_{15} = 58,9632 \text{ g} - 56,1137$$

$K_{15} = 2,8495 \text{ g}$ de pérdida en la etapa de envasado.

4.9 Resumen general de balance de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca

En la figura 4.40, se encuentran las etapas del resumen de balance de materia general para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca.



Fuente: Elaboración propia

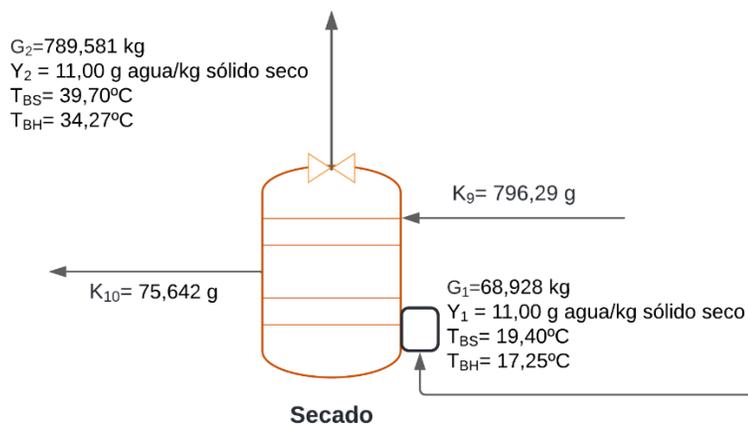
Figura 4.40. Resumen general de balance de materia para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca

4.10 Balance de energía para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca

El balance de energía se realizó tomando en cuenta los factores de temperatura de secado 50°C , espesor de corte de la muestra $0,3\text{ cm}$ y velocidad de flujo de aire 5 m/s para el proceso de obtención de harina de coliflor variedad blanca.

4.10.1 Balance de energía en la etapa de secado

En la figura 4.41, se muestra el balance de energía para el proceso de secado de las muestras de coliflor variedad blanca con pretratamiento térmico.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.41. Balance de energía en la etapa de secado

Balance combinado de materia y energía en el proceso de secado, se describe en la ecuación 4.24 Valiente, (2002)

$$K_9 * H_{K9} + G_1 * H_{G1} + Q_P = K_{10} * H_{K10} + G_2 * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Donde las variables:

K_9 = Cantidad de coliflor a la entrada del secador (g)

K_{10} = Cantidad de coliflor a la salida del secador (g)

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

G_2 = Cantidad de masa de agua evaporada (g)

H_{K9} = Entalpia de la coliflor a la entrada del secador (kj/kg sólido seco)

H_{K10} = Entalpia de la coliflor en la entrada del secador (kj/kg sólido seco)

H_{G1} = Entalpia del aire seco de entrada al secador (kj/kg sólido seco)

H_{G2} = Entalpia del agua evaporada a la salida del secador (kj/kg sólido seco)

Q_P = Calor aportado al sistema (kj)

Reemplazando los valores en la ecuación 4.24, se obtiene la ecuación 4.25:

$$K_9 * H_{K9} + G_1 * H_{G1} + Q_P = K_{10} * H_{K10} + G_2 * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Despejando QK de la ecuación 4.25, se obtiene la ecuación 4.26:

$$Q_P = K_{10} * H_{K10} + G_1 * H_{G2} - K_9 * H_{K9} + G_2 * H_{G1} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Ordenando las variables de la ecuación 4.26, se obtiene la ecuación 4.27:

$$Q_P = G(H_{G2} - H_{G1}) + K(H_{K10} - H_{K9}) \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Para calcular la entalpia del aire a la entrada y salida del secador se toma en cuenta la ecuación 4.28 citada por Sing & Heldman, (2009).

$$H_a = C_s(T_a - T_0) + Y * L_v \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Donde:

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

T_a = Temperatura del aire (°C)

T_0 = Temperatura de referencia (°C)

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

L_v = Calor latente de evaporación del agua (kJ/kg de agua)

Para calcular el calor húmedo del aire, se tomó en cuenta la ecuación 4.29, citado por Singh & Heldman, (2009) en donde el calor específico del aire seco es 1,005 (kJ/kg aires seco °C) y el calor específico para el agua 1,88 (kJ/kg aire seco °C).

$$C_s = (1,005 + 1,88 * Y) \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Reemplazando datos de la ecuación 4.29 en la ecuación 4.28, se obtiene la ecuación 4.30:

$$H_a = (1,005 + 1,88 * Y)(T_a - T_0) + Y * L_v \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Según SENAMHI, (2023) la altitud de la ciudad de Tarija es 1862 msnm. Entonces, para determinar la presión atmosférica en función de la altura se realizó utilizando la ecuación 4.31:

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

$$P_{\text{atm}} = 10,3297 \left(\frac{293 - 0,0065 * 1862}{293} \right)^{5,26}$$

$$P_{\text{atm}} = 8,28 \text{ mH}_2\text{O} * \frac{73,569 \text{ mmHg}}{1 \text{ mH}_2\text{O}} = 609,15 \text{ mmHg de presión de Tarija}$$

Ecuación 4.31

Ajustando los datos de la ecuación 4.30, a presión de la ciudad de Tarija (609,15 mmHg), se obtiene que el calor específico del aire seco es 0,81 (kJ/kg aire seco) y el calor específico del agua 1,51 (kJ/kg agua °C). Por tanto, se obtiene la ecuación 4.32:

$$H_a = (0,81 + 1,51 * Y)(T_a - T_0) + Y * L_v \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Para determinar la entalpia del aire (H_{G1}) a la entrada del secador se empleó las propiedades del agua saturada. Para lo cual, en base a la temperatura de bulbo seco 19,40 °C se determinó el calor latente de vaporización (L_v) 2455,54 (kJ/kg agua °C) a la entrada del secador de bandejas; reemplazando datos en la ecuación 4.32.

Donde:

$$L_v = 2455,54 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C a } 19,49 \text{ } ^\circ\text{C (Anexo F)}$$

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

$$T = 19,40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

Ajustando el valor L_v (2455,54 kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (609,15 mmHg), se obtiene el valor ajustado es 1967,63 kJ/kg de agua a 19,40 °C.

$$H_{G1} = (0,81 + (1,51 * 0,01 \text{ kg/kg}))(19,40 - 0) + (0,011 \text{ kg/kg} * 1967,63 \text{ kJ/kg})$$

$$H_{G1} = 22,74 \text{ kJ/kg aire seco}$$

Para determinar la entalpia del aire (H_{G2}) a la salida del secador se empleó las propiedades del agua saturada. Para lo cual, en base a la temperatura de bulbo seco

39,70 °C se determinó el calor latente de vaporización (L_v) 2407,42 (kJ/kg agua °C) a la salida del secador de bandejas; reemplazando datos en la ecuación 4.48:

Donde:

$$L_v = 2407,42 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C a } 39,70 \text{ } ^\circ\text{C (Anexo F)}$$

$$Y_{G2} = 0,022 \text{ kg agua/kg aire seco}$$

$$T = 39,70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

Ajustando el valor L_v (2407,74 kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (609,15mmHg), se obtiene el valor ajustado es 1928,74 kJ/kg de agua a 39,70 °C.

$$H_{G2} = (0,81 + (1,51 * 0,022\text{kg/kg}))(39,70 - 0) + (0,022\text{kg/kg} * 1928,47\text{kJ/kg})$$

$$H_{G2} = 75,90 \text{ kJ/kg aire seco}$$

Para calcular la entalpia del producto, se tiene la ecuación 4.33

$$H_K = C_{pK}(T_K - T_0) + X_K C_{pKX}(T_K - T_0) \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Donde:

$$H_K = \text{Entalpia del producto (kJ/kg aire seco)}$$

$$C_{pK} = \text{Calor especifico del producto (Kj/kg } ^\circ\text{C)}$$

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

$$T_0 = \text{temperatura de referencia (} ^\circ\text{C)}$$

$$X_K = \text{Humedad del producto (kg agua/kg sólido seco)}$$

$$C_{pKX} = \text{Calor especifico del agua (Kj/kg agua } ^\circ\text{C)}$$

Para calcular el calor especifico de cualquier tipo de alimentos, se tiene la ecuación 4.34, citada por Singh & Heldman, (2009).

$$C_{Pk} = X_c * C_{Pc} + X_p * C_{Pp} + X_f * C_{Pf} + X_a * C_{Pa} + X_w * C_{Pw} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

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

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

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

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

$C_{Pw} = 4,187$ (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 los valores en la ecuación 4.34, se obtiene la ecuación 4.35:

$$C_{Pk} = X_c * 1,424 + X_p * 1,549 + X_f * 1,675 + X_a * 0,837 + X_w * 4,187$$

Ecuación 4.35

Para calcular el calor específico de la coliflor, se tomó en cuenta de los datos de la tabla 4.24 de los datos extraídos del Anexo A.1

Tabla 4.24

Datos de la composición fisicoquímica de la coliflor

Parámetros	Símbolo	Resultado
Carbohidratos	X_c	0,0646
Proteína	X_p	0,0170
Grasa	X_f	0,0019
Cenizas	X_a	0,0081
Humedad	X_w	0,9084

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, reemplazando datos de la tabla 4.20 en la ecuación 4.35 se obtiene:

$$C_{PK9} = (0,0646 * 1,424 + 0,017 * 1,549 + 0,0019 * 1,675) + (0,0081 * 0,837 + 0,9084 * 4,187)$$

$$C_{PK9} = 3,932 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.33 reemplazando datos se obtiene la entalpia de la coliflor a la entrada de secador de bandejas:

$$H_K = C_{PK}(T_K - T_0) + X_K C_{PKX}(T_K - T_0)$$

$$H_{K9} = C_{P11}(T_{K11} - T_0) + X_{P11} C_{P11}(T_{K11} - T_0)$$

$$H_{K9} = 3,932 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (28,56 - 0)^\circ\text{C} + 10,5340 * 4,187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (28,56 - 0)^\circ\text{C}$$

$$H_{K9} = 1369,70 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Para calcular el calor específico de la harina de coliflor variedad blanca, se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.25, de datos extraídos de la composición fisicoquímica de la harina extraídos del (Anexo A.2)

Tabla 4.25

Datos de la composición fisicoquímica de la harina de coliflor

Parámetros	Símbolo	Resultado
Carbohidratos	X_c	0,5354
Proteína	X_p	0,2606
Grasa	X_f	0,0284
Cenizas	X_a	0,0883
Humedad	X_w	0,0873

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, reemplazando datos de la tabla 4.24 en la ecuación 4.51 se obtiene:

$$C_{PK10} = (0,5354 * 1,424 + (0,2606 * 1,549) + (0,0284 * 1,675 + 0,0883 * 0,837 + 0,0873 * 4,187))$$

$$C_{PK10} = 1,65 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.33 y reemplazando datos se obtiene la entalpia de la coliflor a la salida de secador de bandejas:

$$H_{K10} = C_{PK10}(T_K - T_0) + X_{K9} C_{P12}(T_K - T_0)$$

$$H_{K10} = 1,65 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (38,80 - 0)^\circ\text{C} + 0,0956 * 4,187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (38,80 - 0)^\circ\text{C}$$

$$H_{K10} = 219,33 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Tenemos los siguientes datos:

$$H_{K9} = 1369,70 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$H_{K10} = 219,33 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$H_{G1} = 22,74 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$H_{G2} = 75,90 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$G_{\text{Inicial}} = 68,928 \text{ kg aire seco}$$

$$K_{\text{Inicial}} = 75,642 = 0,0756 \text{ kg sólido seco}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.27 se obtiene:

$$Q_P = 68,928 \text{ kg}(75,90 \text{ kJ/kg} - 22,74 \text{ kJ/kg}) + (219,33 \text{ kJ/kg} - 1369,70) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_P = 2513,512 \text{ kJ}$$

$$Q_P = 616,462 \text{ kcal}$$

El calor necesario para el proceso de secado de las muestras de coliflor variedad blanca es de 616,462 kcal para obtener una cantidad de 75,642 g de coliflor seco.

Balance de energía en el proceso de molienda

Para el balance de energía en la etapa de molienda se utilizó el molino eléctrico con una potencia de 150 W durante 0,130 horas.

Para determinar la energía eléctrica necesaria se utilizó la ecuación 4.26 (Rodríguez, 2016).

$$E = P * \theta \quad \text{(Ecuación 4.36)}$$

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia (W)

θ = Tiempo (horas)

Así mismo 1 kcal/h: 1,170 W

Reemplazando los valores en la ecuación 4.52 se obtiene:

$$P=150 \text{ W} * \frac{\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}\right)}{1,170 \text{ W}} * 0,125 \text{ h}$$

E = 16,025 kcal energía eléctrica necesaria para la etapa de molienda de la coliflor seca.

Balance de energía en el proceso de tamizado

Para el balance de energía en el proceso de tamizado se utilizó tamiz vibratorio con una potencia de 80 W durante 0,13 horas.

Reemplazando los valores en la ecuación 4.52 se obtiene:

$$P=80 \text{ W} * \frac{\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}\right)}{1,163 \text{ W}} * 0,13 \text{ h}$$

E = 8,94 kcal energía eléctrica necesaria para la etapa de tamizado de harina de coliflor variedad blanca.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo experimental de elaboración de harina de coliflor variedad blanca y según datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ En base a las propiedades físicas de la coliflor presentó un promedio de altura de 22,71 cm; diámetro inferior 20,05 cm; peso 924,67 g; porción comestible 85,61 %; porción no comestible 14,39 %; láminas útiles 93,65%: láminas no útiles 6,54 %.
- ✓ En base a los análisis fisicoquímicos de la coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea L. var. Botrytis*), se vio que contiene ceniza 0,81 %, fibra bruta 1,06 %; fósforo 55,4 mg/100g; grasa 0,19%; hidratos de carbono 6,46 %; humedad 90,84%; potasio 344 mg/100 g; proteína total 1,70 %; valor energético 34,35 Kcal/100 g.
- ✓ En base a los análisis microbiológicos de la coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea L. var. Botrytis*), se evidenció que contiene: echerichia coli $<1,0 \times 10^1$; salmonella (ausencia), donde no se observa desarrollo de colonias.
- ✓ Realizada la evaluación sensorial para elegir el tipo de pretratamiento aplicado en las muestras de coliflor, se pudo determinar que la muestra AC2 tiene mayor preferencia por los jueces, la cual fue aplicada en una solución de 0,3% de ácido cítrico por un tiempo de inmersión de 3 minutos.
- ✓ En base a la variación de los factores: temperatura A1 50 °C a A2 60 °C, velocidad del aire B1 5,0 m/s a B2 6,0 m/s y corte C1 0,1 cm a C2 0,3 cm, las muestras con solución 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 LC2 para tiempo de 85 minutos presenta 0,112 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, la variación del factor temperatura, velocidad del aire y corte para las muestras sin tratamiento no son muy significativos, ya que influye mínimamente en el tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.

- ✓ Realizada las pruebas del diseño factorial 2^3 con solución de ácido cítrico LC1 – LC2 – LC3 – LC4 – LC5 – LC6 – LC7 – LC8 y sin tratamiento L1 – L2 – L3 – L4 – L5 – L6 – L7 – L8, se logró demostrar que la muestra LC2 es la muestra elegida debido a que presenta menor cantidad de humedad.
- ✓ la muestra AC2 para un tiempo de 80 minutos presentó 0,001 kg agua/kg sólido seco y la muestra ST2 para un tiempo de 75 minutos presentó 0,200 kg agua/kg sólido seco, por lo cual, se procedió a elegir la muestra con solución de ácido cítrico que presenta menor cantidad de humedad.
- ✓ En base a los análisis fisicoquímicos de harina de coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea L. var. Botrytis*), se vio que contiene ceniza 8,83 %, fibra 8,98 %; fósforo 275 mg/100g; grasa 2,84%; hidratos de carbono 53,54 %; humedad 8,73%; potasio 6,8 mg/100 g; proteína total 26,06 %; valor energético 344 Kcal/100 g.
- ✓ En base a los análisis microbiológicos de la coliflor variedad blanca (*Brassica oleracea L. var. Botrytis*), se evidenció que contiene: echerichia coli $<1,0 \times 10^1$; salmonella (ausencia), donde no se observa desarrollo de colonias.
- ✓ En base al balance de materia – energía se determinó que la cantidad de calor necesario para secar muestras de la coliflor laminados con pretratamiento de 90,84% de humedad inicial hasta 0,002% de humedad final es de 8,94Kcal

5.2 Recomendaciones

- La harina de coliflor blanca presenta un perfil nutricional saludable, destacando por su bajo contenido calórico, alto contenido en fibra y una considerable cantidad de vitaminas y minerales, como la vitamina C, vitamina K, folato y potasio estos atributos nutricionales la convierten en una opción adecuada para la formulación de alimentos saludables, y principalmente para personas que no pueden consumir gluten.
- Se recomienda un estudio experimental con otros tipos de conservación para que este vegetal pueda ser cultivado a grandes escalas y ser utilizados en diferentes tipos de presentaciones.
- Promover la agricultura sostenible y ofrecer una alternativa nutritiva y funcional de las harinas tradicionales, contribuyendo también a la reducción del desperdicio alimentario al aprovechar coliflores que no cumplen con los estándares estéticos del mercado fresco, por ende, se recomienda la implementación de una planta piloto para la obtención de harina de coliflor en la provincia de cercado, con la finalidad de contribuir al desarrollo agroindustrial de la ciudad de Tarija.