

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La papa o patata es un tubérculo, de la familia de las solanáceas siendo originaria de la cordillera Andina. Hoy en día hay muchísimas variedades y se cultiva en la mayoría de países. La papa en Bolivia se produce en siete departamentos, con excepción de Beni y Pando (Angelo, 2023).

La papa (*Solanum Tuberosum*), conocida como Ch'oqe en el mundo aymara, es el cuarto cultivo alimenticio más importante del mundo, después del arroz, el maíz y el trigo. En Bolivia se tiene registrada la producción de aproximadamente 230 variedades de las 4500 variedades existente en el mundo. (Ticona, 2023).

Hasta el 2019 en Bolivia se tenía que doscientas mil familias producían Papa en aproximadamente 130000 hectáreas, según el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE). La producción anual promedio en los últimos años es de aproximadamente 750000 toneladas por año, sin embargo, existen más de cien variedades de papas nativas y no se ha aprovechado todavía su potencial culinario, nutritivo y económico (Angelo, 2023).

En la campaña agrícola 2020 – 2021, según los datos del INE, Bolivia ha alcanzado la producción de papa de 1272649 toneladas en una superficie total de 191321 hectáreas, alcanzando el rendimiento promedio de 6.65 toneladas/hectáreas, siendo que en la Campaña agrícola 2019 – 2020 el total producido alcanzó las 1317923 toneladas y un rendimiento de 7.2 toneladas/hectáreas (Ticona, 2023).

Una de las expresiones de lo anterior, es que el cultivo de la papa en Bolivia se da en siete de los nueve departamentos del país. Es uno de los cultivos que más productores aglutina, se tiene que más de 200000 unidades campesinas están involucradas en su producción en el país, o sea más de 900000 personas, entre el productor, su cónyuge y sus hijos en la zona rural (Levandro, 2017)

La producción de papa en el país es un suceso que tiene varios factores como uno de ellos que algunos productores están orientado a la producción de papa para el consumo y otros productores que simplemente producen semilla de papa. En el caso de Villazón

la producción de papa está dirigida a satisfacer la demanda de semilla de papa del país ya que sus principales compradores de semilla de papa es Chuquisaca, Santa Cruz, Tarija, Cochabamba (Levandro, 2017).

En la feria de la papa en San Andrés, donde tenemos 14 variedades que se producen por la zona, tales como *Americana*, *Revolucionaria*, *Desiré*, *Cardinal*, *Marcela*, *Collareja*, *Jaspi*, *Runa criolla*, *Runa cron* y otras más. Estas serán puestas a la venta en precios muy accesibles (La voz de Tarija, 2019).

En cinco municipios del departamento de Tarija fueron entregadas 8610 bolsas de 50 kilos de semilla de papa certificada, además de insumos fitosanitarios para combatir plagas y el tratamiento de semillas de papa. Como resultado de la entrega se prevé incrementar la producción de papa de 7.43 toneladas a 11.84 toneladas por hectárea; además, las familias productoras recibirán asistencia técnica en el manejo agronómico de cultivo de papa; y se contribuirá a la seguridad alimentaria y mejorará la economía de los productores (ABI, 2023).

La variedad *Desiré* por su extraordinario tamaño que en muchos casos superaba los 30 centímetros de diámetro, además de tener curiosas protuberancias. Esta es la papa que más buscan las empresas porque es rica en sabor y rendimiento, desde su introducción en los cultivos locales ha sido muy solicitada por su consistencia, sabor y versatilidad. Se usa para todo, desde un buen saice hasta para hacer esas papas fritas que se venden en bolsitas, y por eso la gente que ya la conoce la busca siempre (Argenpapa, 2017).

1.2 Justificación

- Debido a la alta producción de papa *Desiré* en la provincia Cercado del departamento de Tarija provoca cuantiosas pérdidas del tubérculo, lo que ha generado buscar otras alternativas para el uso de la papa, es por ello, la necesidad de realizar este trabajo de investigación con la finalidad de darle valor agregado a esta materia prima y evitar las pérdidas post-cosecha ya que la papa no puede tener un período de almacenamiento largo por el alto

contenido de agua que posee y que pierde por efecto de la respiración lo cual disminuye la vida de almacén de la papa y la de sus atributos de calidad.

- La producción de papa es alta en nuestro departamento, existiendo en ocasiones una sobre producción la cual obliga a los productores a comercializar a precios muy bajos generándoles poca utilidad. La no aplicación de tecnologías en el procesamiento de papas es un problema, obligando a los productores a comercializar el producto rápido para no tener demasiadas pérdidas post cosecha.
- A nivel nacional, los cambios en los hábitos alimenticios de consumo de la población, con preferencia por la comida rápida, lo instantáneo que es una buena solución para aquellas personas que atienden grandes compromisos y no hay tiempo para realizar todo el proceso completo, además es saludable puesto que no tienen ningún tipo de restricciones médicas hacen determinar una mayor participación de la papa en la dieta de los consumidores. El procesamiento radica en aprovechar el producto, para evitar los problemas como la perecibilidad, dando la oportunidad de una mayor comercialización.
- El puré de papa instantáneo es una fuente de carbohidratos proteína, potasio y vitamina C, de fácil preparación y buen sabor, sin aditivos químicos y sobre todo que conserve las propiedades sensoriales conferidas por la materia prima, cumpliendo con las medidas de higiene y de inocuidad que exigen las diferentes normas que rigen la comercialización nacional.

1.3 Objetivos

Para realizar el proyecto de investigación puré de papa instantáneo a partir de la variedad *Desiré*, se tienen los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo general

Obtener puré de papa instantáneo a partir de la variedad *Desiré* mediante la metodología experimental de secado por aire caliente para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y minerales de la papa variedad *Desiré*.
- Determinar las variables del proceso de elaboración del puré instantáneo a partir de la papa *Desiré* con la finalidad de establecer las adecuadas condiciones en el proceso.
- Aplicar diseño factorial en el proceso de secado por aire caliente en la obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*.
- Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas, minerales y organolépticas del producto final con la finalidad de conocer su composición nutricional.
- Realizar balance de materia y energía en el proceso de elaboración con la finalidad de obtener el rendimiento.

1.4 Planteamiento del problema

En el departamento de Tarija los derivados de consumo de este tubérculo papa (*Desiré*) aún es incipiente, ya que sólo es consumida como materia prima o producto fresco. Tomando en cuenta que en nuestro departamento se produce mayor cantidad de esta variedad que es comercializada en restaurantes y microempresas de elaboración de papas fritas, a pesar de ello hay un exceso en la producción de papa *Desiré*, por esta razón se plantea una alternativa dándole un valor agregado a la papa en la transformación de puré de papa instantáneo mediante la metodología de secado por aire caliente.

1.5 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental a ser aplicada en el proceso de secado por aire caliente para obtener puré de papa instantáneo para la provincia Cercado del departamento de Tarija?

1.6 Objeto de estudio

Elaboración de puré de papa instantáneo a partir de la variedad *Desiré* mediante el proceso de secado por aire caliente.

1.7 Campo de acción

Para la realización de este trabajo de investigación, se delimitaron los siguientes campos de acción:

✓ **Espacial**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

✓ **Temporal**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la gestión 2024.

✓ **Institucional**

Las instituciones en donde se elaboró el presente trabajo de investigación son: Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.8 Hipótesis

La aplicación del proceso de secado por aire caliente establece la obtención de puré de papa instantáneo a partir de la variedad *Desiré* para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del puré de papa instantáneo

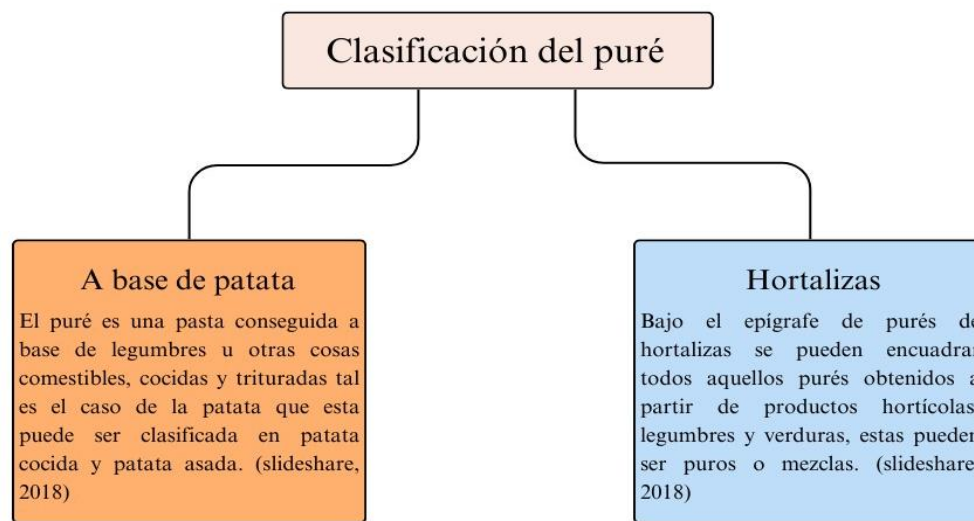
El puré de patatas instantáneo fue el resultado del proceso de copos desarrollado en los años 1950 y 1960 en el Centro de Investigación Regional del Este, una instalación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en las afueras de Filadelfia. El proceso para reconstituir el puré de patatas instantáneo ideado en esta instalación utilizó tecnología de deshidratación, basado en una patente para fabricar hojuelas en un pequeño secador de doble tambor que secaba las patatas en unos veinte segundos desde un 80% de humedad hasta un 5% (Sullivan, 2007).

2.2 Definición de puré instantáneo

El puré es definido como una papilla elaborada a base de legumbres, frutas o vegetales alimentos, cocidos y triturados para obtener su característica masa uniforme y libre de impurezas. Los alimentos cocidos de reconstitución instantánea como los purés son para consumo directo, su composición puede ser de granos o tubérculos, y debe tener una consistencia pastosa, una variante industrial del clásico puré de papas, la cual se expende en forma de copos o de polvo que elimina parte de las tareas más pesadas de la elaboración de la receta (Calleja, 2018).

2.3 Clasificación del puré instantáneo

De acuerdo a la materia prima que fue seleccionada para el proceso de elaboración en la Figura 2.1 podemos diferenciar la clasificación del puré.

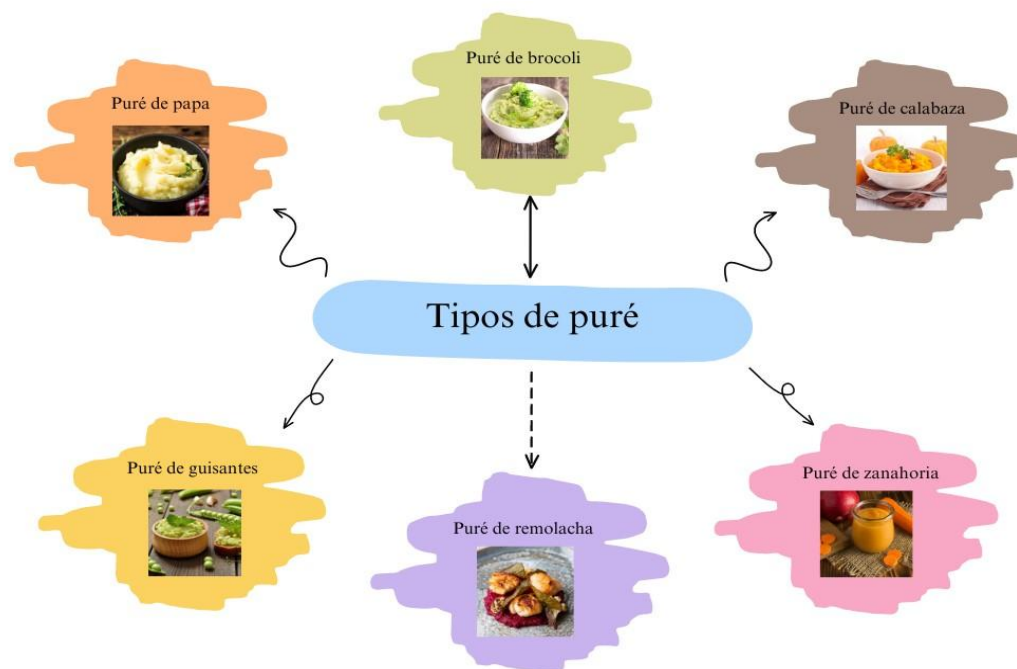


Fuente: Slideshare, 2018

Figura2.1: Clasificación del puré

2.3.1 Tipos de puré instantáneo

El puré de patatas quizás sea el más clásico para tomar como acompañamiento de numerosas recetas. Pero también se propone otros purés vegetales como guarniciones sabrosas, saludables y fáciles de elaborar. En la Figura 2.2, se muestra los tipos de puré:



Fuente: Baticon, 2021

Figura 2.2: Tipos de puré

2.4 Composición fisicoquímica del puré de papa instantáneo

Las características fisicoquímicas de los cinco tratamientos están expresadas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1

Evaluación característica fisicoquímicas del puré de papa instantáneo

Puré de papa instantáneo (por 100g)						
Propiedades						
Humedad (%)	17.20	14.40	14.20	13.60	13.40	13.20
Energía (Kcal)	333.1	307.0	310.0	313.0	316.0	319.00
Carbohidratos(%)	74.30	71.30	71.90	72.60	73.20	73.90
Proteína (%)	7.40	4.50	4.60	4.66	4.72	4.77
Grasas (%)	0.70	0.40	0.41	0.42	0.45	0.44
Fibra (%)	6.60	2.22	2.84	2.76	2.68	2.60

Fuente: Loarte y Ramos, 2019

2.4.1 Propiedades nutricionales del puré de papa instantáneo

Entre las propiedades nutricionales del puré de papa instantáneo cabe destacar que 100 gramos de puré de papa instantáneo tienen los siguientes nutrientes que se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2

Propiedades nutricionales del puré de papa instantáneo

Propiedades	Cantidad	Unidad
Vitamina A	1	mg
Vitamina C	20	mg
Vitamina D	0	mg
Calcio	31	mg
Hierro	1	mg
Potasio	255	mg

Fuente: MedlinePlus, 2022

2.5 Aplicaciones del puré de papa instantáneo

El puré de papa instantáneo que comercializan en copos es uno de los más vendidos en todo el mundo, dentro de la gama de cocina rápida, debido a que son ideales para

resolver cualquier guarnición dedicándole tan sólo unos pocos minutos (López, 2014). Este tipo de productos también aporta según (CIP, 2015):

- Como ingredientes de aperitivos o snacks e incluso como ayuda alimentaria.
- Es usada por la industria alimentaria como mezcla de carnes y para espesar sopas.
- Un polvo fino, con excelente sabor, el almidón de la papa proporciona una viscosidad más alta que los almidones de trigo y maíz, y ofrece un producto más sabroso.
- Es usado como espesante de salsas y guisos, y como aglutinante en mezclas de queques, pastas, galletas y helados.

2.6 Caracterización de la papa variedad (Desiré) utilizada para obtener puré de papa instantáneo

La materia prima a ser utilizada en la obtención de puré de papa instantáneo es la siguiente:

2.6.1 Papa variedad *Desiré*

Según Kalazich, (2024) esta variedad de papa se originó del cruzamiento realizado por ZPC de Holanda entre Urgenta y Despesche. Esta papa posee buena calidad para consumo fresco y para procesamiento industrial. Se usa preferentemente para consumo fresco, ya que tiene buena resistencia a la cocción y es sabor neutro. *Desiré* es una variedad de alto rendimiento que se adapta muy bien en todas las zonas productoras de papa. *p* (19). En la Tabla 2.3 se muestra las características de la materia prima:

Tabla 2.3

Características botánicas de papa variedad *Desiré*

Características	Variedad (<i>Desiré</i>)
Adaptación (msnm)	600-1500
Altura de planta(cm)	
Tallos	Erectos
Color del follaje	Verde
Color de la flor	Rojo morado
Color del tubérculo	Rojos
Forma del tubérculo	Oval-alargado
Color interno del tubérculo	Blanco
Ojos y yemas	Superficiales
Follaje	Abundante
Ciclo(días)	90
Resistencia a tizón	Susceptible
Aceptación culinaria	Muy aceptable
Susceptibilidad al verdeo	Poca
Rendimiento(qq/mz)	300-400
Rendimiento(kg/ha)	19402-25870
Distanciamiento de siembra recomendada(cm)	90-100 x 25-30

Fuente: Molina, Santos & Aguilar, 2004

2.6.2 Composición fisicoquímica de la papa variedad *Desiré*

En la Tabla 2.4, muestra la composición fisicoquímica que presenta la papa en 100g de porción comestible.

Tabla 2.4

Composición fisicoquímica de la papa variedad *Desiré*

Propiedades	Cantidad	Unidades
Energía	80,4	Kcal
Humedad	78,0	%
Proteína	2,1	%
Grasa	0.1	%
Glúcidos	18,5	%
Fibra bruta	2,1	%
Cenizas	1,0	%

Fuente: Burgos, 2019

2.6.3 Propiedades nutricionales de la papa variedad *Desiré*

La composición de minerales y vitaminas que presentan 100g de papa variedad *Desiré* en porción comestible se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5

Composición nutricional de la papa variedad <i>Desiré</i>		
Componentes	Cantidad	Unidad
Minerales		
Potasio	150 a 1386	mg
Fosforo	42 a 120	mg
Magnesio	16 a 40	mg
Hierro	0.29 a 0.69	mg
Zinc	0.29 a 0.48	mg
Vitaminas		
Vitamina C	7.8 a 20.6	mg
Vitamina B6	0.299	mg
Ácido clorogénico	19 a 399	mg
Glicoalcaloides	0.7 a 18.7	mg

Fuente: Burgos, 2019

2.6.4 Aplicaciones de la papa variedad *Desiré*

La papa se destina a diversos fines y no se usa sólo como hortaliza para preparar en casa. En realidad, las papas que se consumen frescas son menos del 50% de la producción mundial. Con el resto se obtienen alimentos e ingredientes alimentarios industriales, piensos para el ganado bovino, porcino y las aves de corral, almidón para la industria, y tubérculos semilla para la siguiente cosecha. El consumo mundial de la papa está pasando del producto fresco a los productos alimentarios industriales, con valor añadido (Graeme, 2009):

- Uno de los principales elementos de esta categoría recibe el nombre de papas congeladas, pero comprende la mayor parte de las papas fritas a la francesa que se sirven en los restaurantes y en las cadenas de alimentación rápida.
- Los copos de papa deshidratada y la papa granulada se obtienen secando la papa cocida y molida, hasta lograr un nivel de humedad del 5% al 8%. Con estos

copos se elabora el puré de papas que se vende en cajas, como ingrediente para preparar aperitivos y hasta como ayuda alimentaria.

- La harina de papa, se obtiene de la papa cocida entera y mantiene un sabor característico. La industria alimentaria utiliza la harina de papa, que no contiene gluten, pero sí abundante almidón, para aglutinar productos compuestos de diversos tipos de carnes e impartir espesor a salsas y sopas.
- El almidón de papa, un polvo fino y sin sabor, de "excelente textura", da mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más gustosos. Se utiliza para hacer espesar las salsas y los cocidos, y como aglutinante en las harinas para pastel, las masas, las galletas y el helado. La moderna industria es capaz de extraer hasta un 96% del almidón que contiene la papa cruda.
- En Europa oriental y en los países escandinavos, las papas molidas se someten a tratamiento térmico para convertir su almidón en azúcares que se fermentan y destilan para producir bebidas alcohólicas, como el vodka y aguardientes típicos de esas regiones.

2.7 Descripción del proceso tecnológico de obtención del puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*

El proceso tecnológico durante la obtención de puré de papa instantáneo a partir de variedad *Desiré*, es el siguiente:

2.7.1 Escaldado de la papa

El escaldado es el tratamiento térmico que se utiliza previo al secado, generalmente comprende temperaturas entre 70-100 °C y tiempos entre 1 y menos de 10 minutos. En un escaldado, los productos se sumergen en agua caliente (70 a 100 ° C) durante varios minutos. Luego, las muestras escaldadas se drenan y se enfrían antes de enviarlas a la siguiente operación de procesamiento (Tigreros et al., 2021).

Según (Díaz, 2024) para el escaldado en papa se hace un calentamiento en agua caliente o vapor entre 95 y 100 °C durante 3 a 4 min.

2.7.2 Secado de los alimentos

El secado es un método de conservación de alimentos consistente en extraer el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción. El secado es uno de los métodos más antiguos para deshidratar alimentos, el cual involucra de manera simultánea la transferencia de materia y energía. La transferencia de materia se considera como la transición física del agua del estado líquido al de vapor, en donde la transferencia de masa tiene lugar cuando existe un gradiente de concentración o de presión. Los alimentos secos y deshidratados son más concentrados que cualquier otra forma de productos alimenticios preservados (Ortega et al, 2021).

2.7.3 Factores que intervienen en el proceso de secado

Los factores que intervienen en el proceso de secado se presentan a continuación:

2.7.3.1 Humedad de relativa del aire

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa (Ortiz, 2003).

2.7.3.2 Temperatura del aire

En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. La elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso. Existen diversos niveles de temperaturas que se mantienen durante el proceso técnico de secado a continuación se mencionan dos de ellos (Ortiz, 2003):

- Temperatura bulbo seco: es aquella del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio.
- Temperatura bulbo húmedo: es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por

convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie.

2.7.2.3 Velocidad de aire

La velocidad de aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación y, en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material. A mayor velocidad de aire disminuye la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad de aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta (Ortiz, 2003).

2.7.2.4 Contenido de humedad de alimentos

El contenido de humedad en los alimentos es una manera de describir la cantidad de agua que tienen los alimentos. Debido a que existe una relación entre el contenido de agua y su capacidad de deterioro del alimento. (Martines y Lira, 2010. pág.2). El contenido de humedad se puede expresar de dos maneras:

- Humedad en base húmeda: Según (Martines y Lira, 2010. pág.2), es el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total.

$$\%H_{bh} = \frac{m_{H_2O}}{m_h} \times 100 = \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de sólido húmedo}} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

- Humedad en base seca: Según (Martines y Lira, 2010. pág.2), es la que compara la masa de agua que contiene un material sólido con su masa seca.

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

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

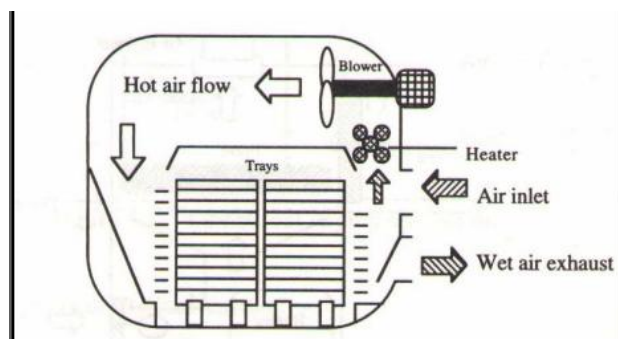
2.7.3 Tipos de secadores

De acuerdo con este criterio se distinguen los secadores directos, que utilizan gases calientes en contacto con el sólido húmedo para suministrar el calor y arrastrar el líquido vaporizado, los secadores indirectos en los que el calor se transmite al sólido húmedo a través de la pared que lo contiene, eliminándose el líquido vaporizado

independiente del medio calefactor (Maupoey et al. 2016). A continuación, se presentan los tipos de secadores:

- **Secadores por aire caliente:** Se caracterizan por utilizar corrientes de aire caliente que entran en contacto directo con el sólido húmedo al que transmiten calor por convección y que arrastran fuera del secador los vapores producidos.
- **Secado por bandejas:** Es una cámara metálica que contiene soportes móviles donde se apoyan las bandejas montadas unas sobre otras y se cargan el material o alimento a secar.

En la Figura 2.3, se muestra detalladamente un secador de bandejas:



Fuente: Ortiz, 2003

Figura 2.3 Secador de bandejas

2.7.4 Cinética de secado

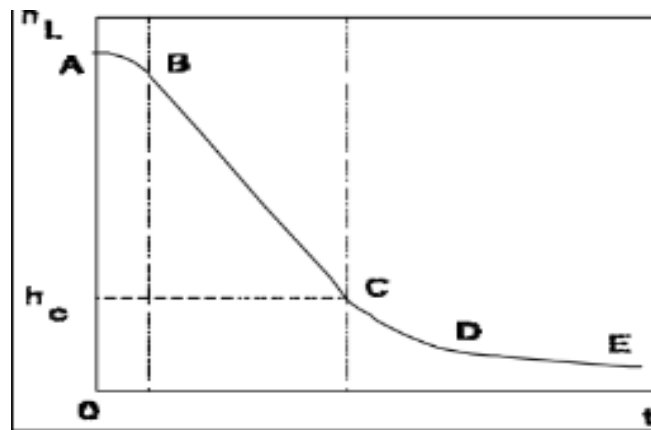
En la cinética del secado basan los estudios en los cambios de la cantidad promedio de humedad con el tiempo, contrario a lo que describe la dinámica del secado que describe los cambios de temperatura y humedad. Así la cinética del secado describe la cantidad de humedad evaporada, el tiempo, el consumo de energía, ETC. Sin embargo, el cambio de humedad depende de la transferencia de calor y de masa entre la superficie del cuerpo, el ambiente y el interior del material a secar (Ortiz, 2003).

La cinética de secado de un material relaciona la variación del contenido de agua del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo. Son varios los factores que influyen sobre la cinética, entre los cuales se encuentran; la humedad del aire de secado,

el mismo contenido de agua del producto por secar, como también las dimensiones y diseño del equipo de secado (Velásquez, 2007).

2.7.5 Curva de secado

Son curvas construídas a partir de datos experimentales que dan información sobre la velocidad de secado de un alimento bajo determinadas condiciones. Se obtienen preferiblemente en un equipo que reproduzca lo más fielmente posible el equipo de proceso, usando condiciones de aire que se asemejen a las que se usan en el mismo (Dávila, 2009).



Fuente: Dávila, 2009

Figura 2.4: Curva de secado

En la Figura 2.4, se observan puntos importantes. La región AB: Período de calentamiento La masa del alimento húmedo disminuye sólo un poco debido a la débil contribución del calor sensible a la evaporación de agua. Región BC: Período de velocidad constante. En él ocurre buena parte del secado y la pérdida de humedad es directamente proporcional al tiempo. Región CD: Primer período de velocidad decreciente. Región DE: Segundo período de velocidad decreciente. En ambas regiones la humedad del alimento disminuye menos rápido que en la región BC para incrementos de tiempo iguales. El punto C es el límite entre el período de velocidad constante y el de velocidad decreciente (Dávila, 2009).

2.7.6 Curva de velocidad de secado

La velocidad de secado se define como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial operando en condiciones constantes de secado, es decir, con aire a las condiciones de temperatura, presión, humedad y velocidad constante de tiempo. La curva de velocidad de secado indica con que velocidad se seca el material. En la Figura 2.5 muestra la cantidad de humedad removida desde el material secado por unidad de tiempo por unidad de superficie secada (López, 2018).

La velocidad de aire se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$N = \frac{m_{ss}}{A} \times \frac{\Delta X}{\Delta \theta} \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Donde:

m_{ss} : Kg de sólido seco

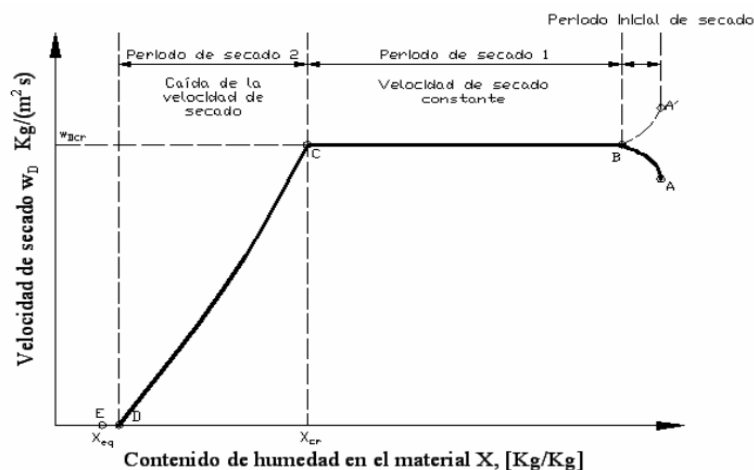
A: Área en m^2

N: Velocidad de secado

ΔX : Variación de humedad

$\Delta \theta$: Variación de tiempo

En la Figura 2.5, se muestra la curva de velocidad de secado en los alimentos



Fuente: Ortiz, 2003

Figura 2.5: Curva de velocidad de secado

2.7.7 Períodos de secado

A continuación, se describen los períodos de secado según la Figura 2.5

2.7.7.1 Período de velocidad ante crítico de secado

En este período la superficie del sólido está totalmente cubierta por una capa de líquido y la evaporación dependerá sólo de la velocidad de difusión del vapor o de la intensidad de paso de calor a través de la capa límite de aire (López, 2018).

2.7.7.2 Período de velocidad pos crítico de secado

Durante el primer período pos crítico, la velocidad de secado está regida por la evaporación del agua o sobre la fracción de superficie mojada; esta fracción disminuye continuamente hasta que al final de este período la superficie está seca. Durante el segundo período pos crítico la superficie está totalmente seca y la velocidad de secado se evalúa atendiendo al proceso de transporte de humedad desde el interior del sólido hasta la superficie, que se puede realizar por diversos mecanismos (López, 2018).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación experimental, obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*, será desarrollado en los ambientes de la Carrera de Ingeniería de Alimentos: Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A.) y Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.); dependiente de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipo de intervención experimental

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

- Análisis físico, fisicoquímico, microbiológico y minerales de la papa variedad *Desiré*.
- Análisis factorial 2^3 en el proceso de secado por aire caliente del puré de papa.
- Análisis sensorial de las muestras de puré de papa instantáneo.
- Análisis fisicoquímico, microbiológico y minerales del puré de papa instantáneo.
- Operacionalización de las variables en el proceso de secado por aire caliente para la obtención de puré de papa instantáneo.

3.3 Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo según (Hernández et al, 2010) se pretende confirmar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos. Esto significa que la meta principal es la formulación y demostración de teorías (pág. 6). Según (Cauas, 2024) es aquella que utiliza preferentemente información cuantificable (medible). Algunas investigaciones cuantitativas son: diseños experimentales, diseños cuasi - experimentales, investigaciones basadas en la encuesta social (pág. 2).

3.4 Paradigma positivista

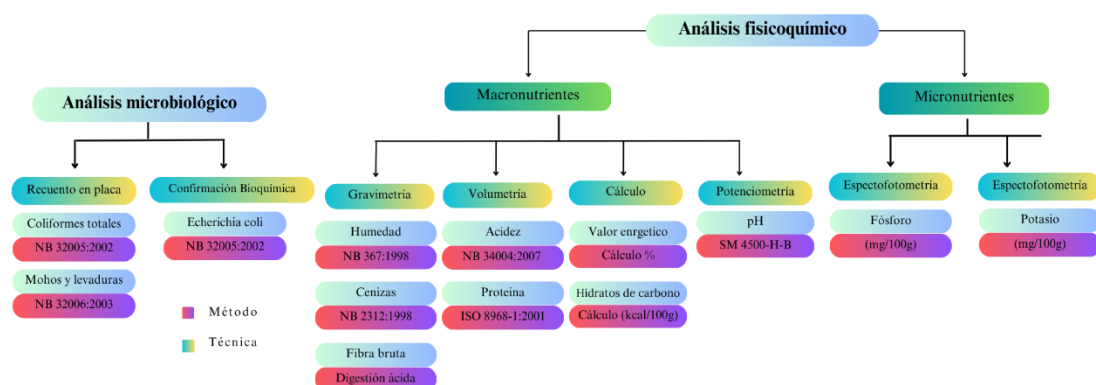
El paradigma positivista según (Ricoy, 2006) indica que se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico. Por tanto, el paradigma positivista tendrá como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica. Según (Martínez, 2013) explica que al aplicarse se convierta en un conocimiento sistemático, comprobable, comparable, medible y replicable. Esto implica que sea objeto de estudio los observables, medibles, pasables o contables, el peso o la estatura.

3.5 Método, técnicas e instrumentos

Los métodos y las técnicas según (Gómez, 2021) son los procedimientos que siguen los investigadores para obtener los datos necesarios en su aproximación al objeto de estudio. Su importancia radica en que son la garantía de la científicidad. (pág. 116). Los métodos y técnicas que se utilizarán en el trabajo de investigación fueron los siguientes:

3.5.1 Análisis fisicoquímico y microbiológico de la papa variedad *Desiré*

En la Figura 3.1, se muestra los métodos y técnicas que fueron realizados en la papa variedad *Desiré* en el Laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

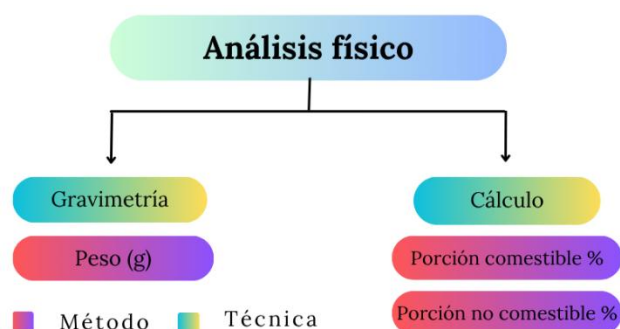


Fuente: CEANID, 2024

Figura 3.1: Métodos y técnicas para el análisis fisicoquímico y microbiológico en la papa variedad *Desiré*

3.5.2 Análisis físico de la papa variedad *Desiré*

En la Figura 3.2, se muestran los métodos y técnicas que se realizó para determinar el análisis físico de la papa variedad *Desiré*.



Fuente: Elaboración propia

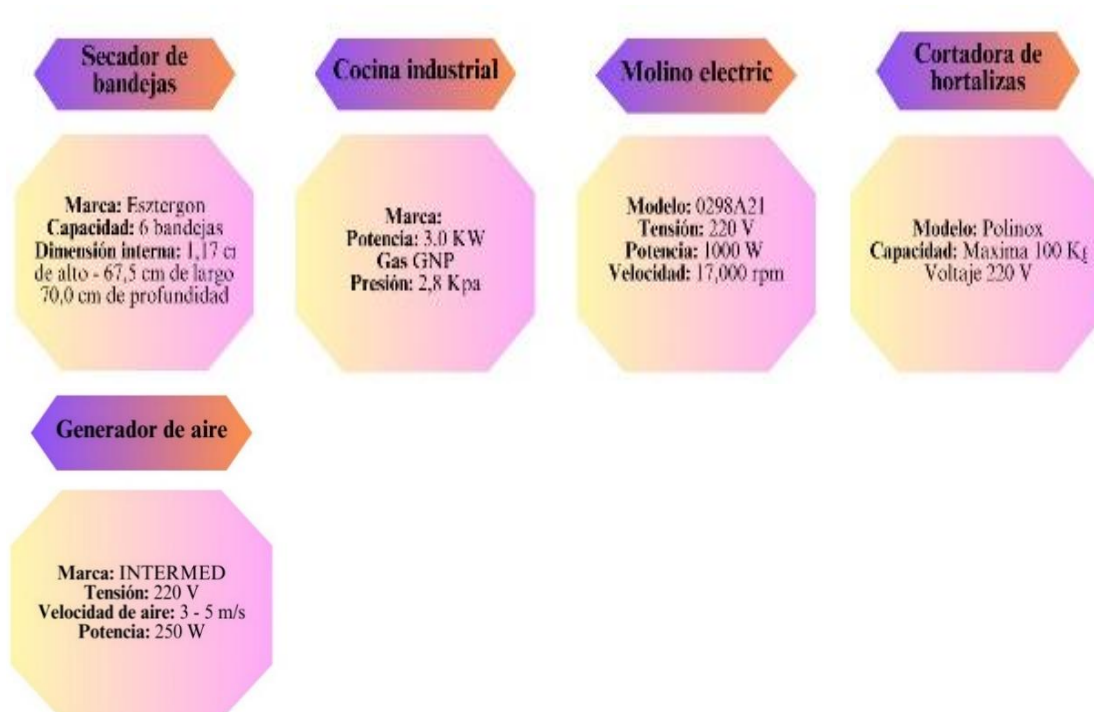
Figura 3.2: Métodos y técnicas para el análisis físico en la papa variedad *Desiré*

3.6 Equipos, instrumentos, material de laboratorio, reactivos y utensilios de cocina

A continuación, se detallan las características técnicas de los equipos, instrumentos, material de laboratorio, reactivos y utensilios que se utilizaron en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo variedad *Desiré*.

3.6.1 Equipos utilizados en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*

En la Figura 3.3, se detallan las especificaciones técnicas de los equipos que se utilizaron en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*.

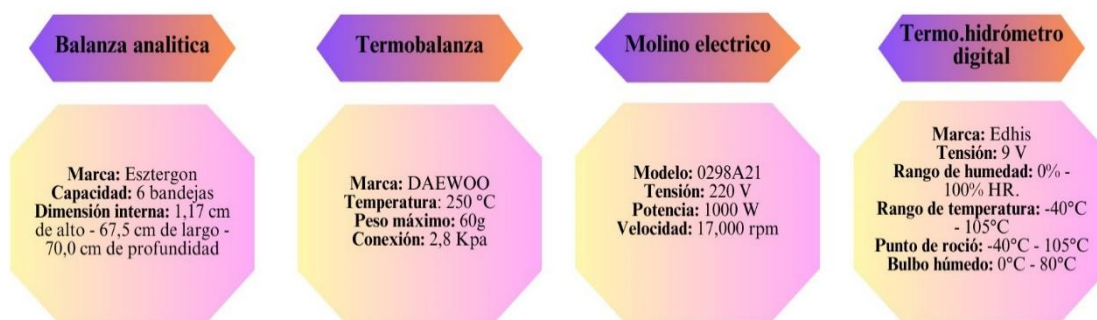


Fuente: L.A.C.I.A, 2024

Figura 3.3: Equipos de proceso para la obtención de púre de papa instantáneo variedad *Desire*

3.6.2 Instrumentos de laboratorio utilizados en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*

En la Figura 3.4, se muestran las especificaciones técnicas de los instrumentos necesarios para la determinación de las variables del puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*.



Fuente: L.A.C.I.A, 2024

Figura 3.4: Instrumentos de laboratorio

3.6.3 Material de laboratorio utilizados en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo

Para realizar el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales de laboratorio:

- Termómetro: Material de vidrio, 100°C
- Jarra graduada: Material plástico, 1000 ml

3.6.4 Utensilios de cocina

Para realizar el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes utensilios de cocina:

- Recipientes: Acero inoxidable, mediana/grande
- Ollas: Acero inoxidable, mediana/grande
- Coladores: Acero inoxidable, mediano
- Cuchara: Metálica, grande, aluminio
- Cuchillo: Acero inoxidable, grande
- Pisa papas: Acero inoxidable, grande
- Espátula: Acero inoxidable, grande
- Papel manteca

3.6.5 Reactivos de grado alimenticio

En la Tabla 3.1, se muestran los reactivos de grado alimenticio que se utilizaron en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo.

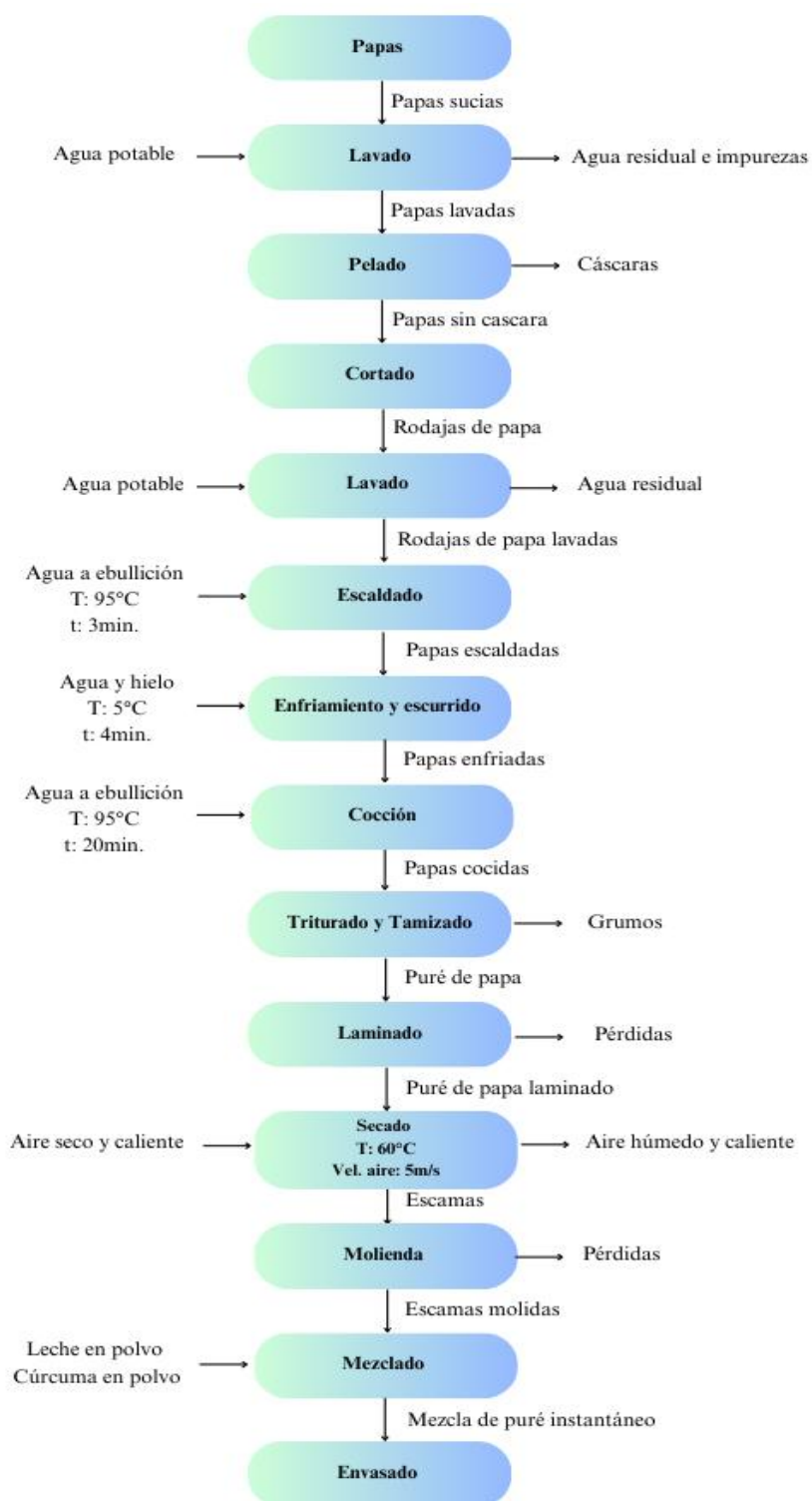
Tabla 3.1

Reactivos de grado alimenticio			
Reactivo	Estado	Procedencia	Marca
Cúrcuma	Sólido	Boliviana	-
Leche en polvo	Sólido	Boliviana	PIL S. A.

Fuente: Elaboración propia

3.7 Diagrama de flujo del proceso de obtención de puré de papa instantáneo

En la Figura 3.5, se presenta el diagrama de flujo para la obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Diagrama de flujo del proceso obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*

3.8 Descripción del diagrama de flujo para la obtención de puré de papa instantáneo

Las operaciones del proceso para la obtención de puré de papa instantáneo a nivel experimental se detallan a continuación:

3.8.1 Papa



En la Figura 3.6, se muestra las papas que se utilizó en la parte experimental del presente trabajo de investigación, tomando en cuenta el tamaño (mediano), obtenidas de la comunidad de San Andrés, provincia Cercado del departamento de Tarija

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Papa variedad *Desiré*

3.8.2 Lavado



En la Figura 3.7, se muestra el proceso de lavado de las papas donde se utilizó agua potable en un recipiente de acero inoxidable, con la finalidad de eliminar las impurezas físicas.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Lavado de la papa

3.8.3 Pelado



La Figura 3.8, se muestra el proceso de pelado donde se utilizó un cuchillo de acero inoxidable para retirar la cáscara de las papas.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Pelado de la papa

3.8.4 Cortado



La Figura 3.9, se presenta el proceso de cortado donde se utilizó un cortador de hortalizas para facilitar el cortado de las papas con un corte en rodajas de 1,0 cm, para obtener cortes uniformes.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Cortado de la papa

3.8.5 Lavado



En la Figura 3.10, se presenta el proceso de lavado que consiste en sumergir las rodajas de papa en un recipiente de acero inoxidable con agua potable con el fin de eliminar el almidón y residuos que contengan las rodajas de papa.

Fuente: Elaboración propia

Fuente 3.10: Lavado de las rodajas de papa

3.8.6 Escaldado



La Figura 3.11, ilustra el proceso de escaldado mediante inmersión en agua en ebullición a una temperatura de (95 °C), durante un tiempo de 3 minutos.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11: Escaldado de las rodajas de papa

3.8.7 Enfriado y escurrido



La Figura 3.12, presenta el proceso de enfriamiento, donde se sumergen las rodajas de papa en un recipiente de acero inoxidable con hielo y agua para alcanzar una temperatura de 5°C durante un tiempo de 4 min. Posteriormente se depositan las rodajas de papa en un colador de acero inoxidable con el fin de eliminar el agua residual.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Enfriamiento y escurrido

3.8.8 Cocción



El proceso de cocción consiste en calentar agua hasta su punto de ebullición en una olla de acero inoxidable. Una vez alcanzada la ebullición, las rodajas de papa se disponen en un recipiente tipo tamiz, el cual se introduce en la olla asegurando que no exista contacto directo entre el producto y el agua. Posteriormente, se cubre la olla para generar un ambiente de cocción por vapor durante un tiempo de 20 minutos bajo estas condiciones, como se representa en la Figura 3.13.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Cocción de las rodajas de papa

3.8.9 Triturado y tamizado



Como primer proceso se trituran las rodajas de papa cocidas con un pisa papa manual para así obtener el puré de papa. Posteriormente se tamiza el puré de papa mediante un tamiz de acero inoxidable con el fin de obtener un puré de papa homogéneo sin grumos, como se ilustra en la Figura 3.14.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14: Triturado y tamizado

3.8.10 Laminado



Para realizar el laminado, se utilizó una espátula de acero inoxidable para expandir el puré de papa sobre una lámina de papel manteca con un espesor de 0,2mm que para medir se utilizó un vernier como se muestra en la Figura 3.15.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15: Laminado del puré de papa

3.8.11 Secado



La Figura 3.16, ilustra el proceso de secado, el cual se inicia realizando los ajustes operativos del equipo. Para ello, se pone en funcionamiento el secador de bandejas con el objetivo de alcanzar una temperatura interna de 60 °C, manteniéndose en operación durante 20 minutos para estabilizar las condiciones térmicas. Una vez lograda la temperatura requerida, se activa el generador de aire, configurándolo para operar a una velocidad de 5 m/s, permitiendo así la introducción de aire seco caliente con una temperatura de bulbo seco de 40,18 °C, y facilitando simultáneamente la extracción del aire húmedo del sistema. Posteriormente, se procede a introducir al secador la muestra de puré de papa laminado. Durante todo el proceso de secado, se efectuó un control periódico del peso de la muestra cada 10 minutos, continuando el procedimiento hasta alcanzar peso constante, lo cual se logró en un tiempo total de 160 minutos.

Fuente: Elaboracion propia

Figura 3.16: Secado del puré

3.8.12 Molienda



En la Figura 3.17, se muestra el proceso de molienda, en la cual consistió en introducir la muestra seca con una humedad en base seca (0,01kg agua/kg sólido seco) al molino eléctrico analítico con la finalidad de reducir el tamaño de la muestra seca de puré de papa.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17: Molienda del puré de papa seco

3.8.13 Mezclado



En la Figura 3.18, se presenta el proceso de mezclado de los componentes: leche en polvo PIL S. A. (0.5%) y cúrcuma en polvo (0.2%) para la dosificación del puré de papa instantáneo.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18: Mezclado de los Componentes

3.8.14 Envasado



En la Figura 3.19, se muestra el producto ya envasado en bolsa de papel kraft con cierre hermético para evitar la entrada de humedad con el fin de garantizar su disponibilidad útil.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19: Envasado del puré de papa instantáneo

3.9 Evaluación sensorial del puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*

La evaluación sensorial según (Severiano, 2021) define como la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar esas respuestas a los productos a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Pág. 9).

En esta etapa se realizó la evaluación de las características organolépticas del puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*. El cual fue evaluado por 20 jueces no entrenados evaluaron mediante una escala hedónica de cinco puntos los atributos: color, olor, textura, sabor y presentación de las muestras; M1 con leche en polvo (0,0%), cúrcuma en polvo (0,1%); M2 leche en polvo (0,5%), cúrcuma en polvo (0,2%) y M3 leche en polvo (0,5%), cúrcuma en polvo (0,7%).

3.10 Diseño experimental

El diseño experimental son técnicas de estadística que permiten identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. Se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir

el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto (Gabriel, 2017).

3.10.1 Diseño factorial 2^3

Según (López, 2021) establece que se encuentran en estudio tres factores A, B y C, cada uno con dos niveles. Este diseño se conoce como diseño factorial, 2^3 y las ocho combinaciones de tratamientos pueden representarse gráficamente mediante un cubo. Existen en realidad tres notaciones distintas que se usan ampliamente para las corridas o ejecuciones en el diseño 2^k :

1. La primera es la notación “+, -”, llamada “geométrica”.
2. La segunda consiste en el uso de letras minúsculas para identificar las combinaciones de tratamientos.
3. En la tercera se utilizan los dígitos 1 y -1 para denotar los niveles alto y bajo del factor, respectivamente.

Según (Gutiérrez y De la Vara, 2018) en un diseño factorial $a \times b \times c$, se supone que el comportamiento de la respuesta Y puede describirse mediante el modelo de efectos dado por:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}; \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

$$i=1, 2, \dots, a; j=1, 2, \dots, b; k=1, 2, \dots, c; l=1, 2, \dots, n$$

donde μ es la media general, α_i es el efecto del nivel i -ésimo del factor A, β_j es el efecto del nivel j del factor B y γ_k es el efecto del nivel k en el factor C; $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ representan efectos de interacción dobles (de dos factores) en los niveles ij , ik , jk , respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de interacción triple en la combinación o punto ijk ; ε_{ijkl} representa el error aleatorio en la combinación $ijkl$ y l son las repeticiones o réplicas del experimento. Todos los efectos cumplen la restricción de sumar cero, es decir, son desviaciones relacionadas con la media general μ . De manera alternativa, se tiene el modelo de regresión dado por:

(Ecuación 3.2)

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 + \beta_{li} + \beta_2 X_{2j} + \beta_3 X_{3k} + \beta_{12} X_{li} X_{3k} + \beta_{23} X_{2j} X_{3k} + \beta_{123} X_{li} X_{2j} X_{3k} + \varepsilon_{ijkl};$$

$$i=1, 2, \dots, a; j=1, 2, \dots, b; k=1, 2, \dots, c; l=1, 2, \dots, n$$

3.10.2 Diseño factorial en el proceso de secado por aire caliente del puré de papa en base humedad

Para realizar el diseño experimental en el proceso de secado por aire caliente para la elaboración de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré* se aplicó la ecuación (3.3).

(Ecuación 3.3)

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos}$$

Donde los niveles de variación serán los siguientes:

Temperatura del secado (A) = 2 niveles

Tiempo de secado (B) = 2 niveles

Velocidad de aire del secador (C) = 2 niveles

En la Tabla 3.2, se muestra los niveles de variación del diseño factorial, que se aplicó en el proceso de secado por aire caliente conformado por tres variables: temperatura (°C), espesor (mm) y velocidad de aire (m/s).

Tabla 3.2

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

Variables	Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura(A)	°C	50	60
Espesor (B)	mm	0,2	0,4
Velocidad de aire (C)	m/s	4	5

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.3, se presenta la matriz del diseño factorial aplicado en la etapa de secado por aire caliente a tres variables: temperatura (A), espesor (B) y velocidad de aire (C).

Tabla 3.3

Matriz de variables que se aplicó en el proceso de secado por aire caliente

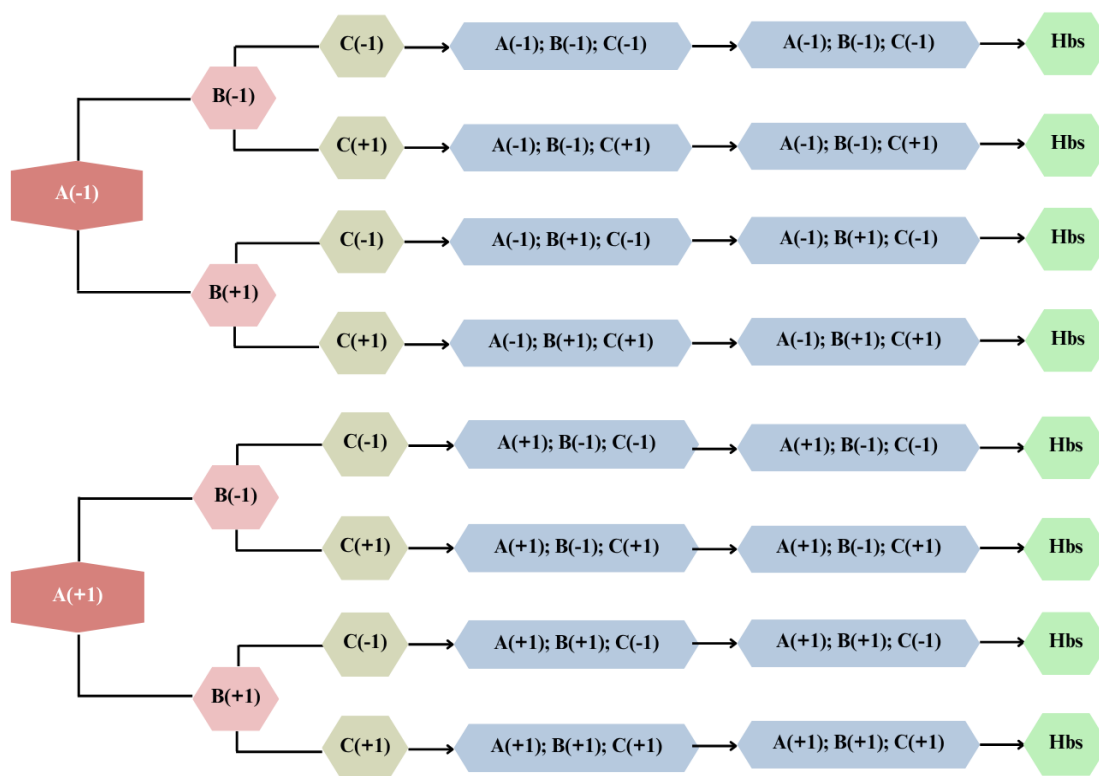
Combinación de tratamientos	Variables			Interacciones				H _{bs}
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	
(1)	-	-	-	+	+	+	-	H _{bs}
a	+	-	-	-	-	+	+	H _{bs}
b	-	+	-	-	+	-	+	H _{bs}
ab	+	+	-	+	-	-	-	H _{bs}
c	-	-	+	+	-	-	+	H _{bs}
ac	+	-	+	-	+	-	-	H _{bs}
bc	-	+	+	-	-	+	-	H _{bs}
abc	+	+	+	+	+	+	+	H _{bs}

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

H_{bs} = Porcentaje de humedad en base seca (Kg agua/Kg sólido seco) de las muestras de puré de papa.

En la Figura 3.20 se muestra el algoritmo de variables para la obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20: Algoritmo de variables para la obtención de puré de papa instantáneo

3.11 Operacionalización de las variables dependiente e independiente para el proceso de obtención de puré de papa instantáneo

En el Cuadro 3.1 se muestra la operacionalización de variables dependiente e independiente para la obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré*.

Cuadro 3.1

Operacionalización de variables dependiente e independiente para el proceso de obtención de puré de papa instantáneo

Hipótesis		Variables	Definición	Dimensión	Indicador
La obtención de puré de papa instantáneo a partir de la variedad (<i>Desiré</i>) mediante el proceso de secado por aire caliente para la provincia Cercado del departamento de Tarija.	Variable Dependiente	Puré de papa instantáneo de la variedad <i>Desiré</i>	El puré es definido como una papilla elaborada a base de legumbres, frutas o vegetales alimentos, cocidos y triturados para obtener su característica masa uniforme y libre de impurezas. (<i>Calleja, 2018</i>)	Análisis físico de la papa	%Porción no comestible % Porción comestible Peso (g)
				Análisis fisicoquímico de la papa	Humedad % Cenizas pH Fibra
				Análisis microbiológico	<i>Echericha coli</i> Mohos y levaduras <i>Colis fecales</i>
				Evaluación sensorial	Apariencia Textura Color
	Variable Independiente	Secado por aire caliente	En el secado el calor se transfiere al solido que se está secando mediante una corriente de aire caliente que además de transmitir el calor necesario para la evaporización del agua es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina al sólido. (<i>Fito et. al., 2016</i>)	Temperatura	(50-60) °C
				Velocidad de aire	(2-4) m/s
				Tiempo	(3-4) horas
				Tipo de corte	Rodajas
				Contenido de humedad	(2-3) cm %
				Curva de secado	
				Contenido de humedad en base húmeda	Tiempo vs Temperatura
				Contenido de humedad en base seca	% g de agua/g de solido seco

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la papa variedad *Desiré*

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, orientado a la obtención del puré de papa instantáneo a partir de la variedad *Desiré*, se realizaron análisis físicos, fisicoquímicos y microbiológicos.

4.1.1. Parámetros físicos de la papa variedad *Desiré*

En la Figura 4.1, se observan las doce muestras de papa obtenidas de manera al azar en los cuales se determinó: peso (P), altura con cáscara (AC), altura sin cáscara (ASC) diámetro con cáscara (DC), diámetro sin cáscara (DSC), porción comestible (PC) y la porción no comestible (PNC).



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.1: Muestras de la papa variedad *Desiré*

En la Tabla 4.1 se presentan los resultados obtenidos, los cuales fueron generados a partir de los análisis realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4.1

Parámetros físicos de la papa variedad *Desiré*

N°	DC (cm)	DSC (cm)	AC (cm)	ASC (cm)	Peso (g)	PNC (g)	PC (g)	PNC %	PC %
1	4,84	4,50	6,54	6,30	67,84	11,03	56,59	16,26	83,42
2	5,00	4,35	8,37	8,11	95,08	17,18	77,60	18,07	81,62
3	4,45	4,11	7,26	7,03	83,91	14,36	69,39	17,11	82,70
4	5,03	4,81	7,65	7,32	92,11	16,04	75,82	17,41	82,31
5	5,85	5,42	8,88	8,62	140,57	25,03	115,10	17,81	81,88
6	5,22	4,97	8,27	7,95	108,60	17,54	90,72	16,15	83,53
7	5,61	5,23	8,00	7,68	121,84	22,32	99,04	18,48	81,29
8	5,90	5,63	9,47	9,12	128,50	23,93	104,10	18,62	81,01
9	5,43	5,24	7,95	7,33	107,82	21,38	86,10	19,83	79,85
10	4,18	3,73	7,21	6,85	76,27	15,37	60,62	20,15	79,48
11	5,82	5,61	8,14	7,74	114,46	19,58	94,50	17,11	82,56
12	5,85	5,00	10,60	10,11	172,03	28,04	143,44	16,30	83,38
$\bar{X}$	5,26	4,88	8,19	7,85	109,08	19,32	89,42	17,78	81,92

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1, presenta el promedio de los resultados obtenidos para las propiedades físicas de la papa variedad *Desiré*: altura con cáscara 8,19 cm; altura sin cáscara 7,85 cm; diametro sin cáscara 4,88 cm; diámetro con cáscara 5,26 cm; peso total 109,08 g; peso no comestible 19,32 g; peso comestible 89,42 g; porción no comestible 17,78 % y porción comestible 81,92 %.

4.1.1.1. Cálculo del rendimiento de las rodajas de papa

En la Tabla 4.2, se observa el rendimiento de las rodajas de papa variedad *Desiré*, en la cual se determinó el peso total de la papa sin cáscaras, número de rodajas (NR), peso de rodajas rechazadas (PRR), peso de rodajas aceptadas (PRA), rodajas aceptadas (RA) y rodajas rechazadas (RR).

Tabla 4.2

Cálculo del rendimiento de rodajas de papa variedad *Desiré*

N° de muestra	N° de rodajas	Rodajas rechazadas	Rodajas aceptadas	% Rodajas rechazadas	%Rodajas aceptadas
1	23	0,69	55,95	1,22	98,88
2	24	1,46	76,30	1,88	98,32
3	28	0,37	69,17	0,53	99,68
4	26	0,74	75,20	0,98	99,18
5	32	1,48	113,92	1,29	98,97
6	27	1,56	89,40	1,72	98,54
7	30	1,23	98,07	1,24	99,02
8	29	1,19	103,06	1,14	99,00
9	30	0,94	85,30	1,09	99,07
10	26	1,00	59,64	1,65	98,38
11	30	1,06	93,70	1,12	99,15
12	36	1,97	142,08	1,37	99,05
$\bar{X}$	28,42	1,14	88,48	1,27	98,94

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 4.2, se muestra el promedio de los resultados obtenidos del cálculo de rendimiento de la porción comestible de la papa variedad *Desiré*, presenta número de rodajas 28,42 cm; peso de rodajas rechazadas 1.14 g; peso de rodajas aceptadas 88,48 g; rodajas rechazadas 1,27 % y rodajas aceptadas 98,94 %.

4.1.2. Parámetros fisicoquímicos de la papa variedad *Desiré*

En la Tabla 4.3, se presentan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico en la papa variedad *Desiré*, datos extraídos del (Anexo A1).

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímico de la papa variedad *Desiré*

Parámetros	Unidad	Resultados
Acidez	g/100g	0,33
Ceniza	g/100g	1,03
Fibra	g/100g	1,11
Grasa	g/100g	0,20
Hidratos de carbono	g/100g	19,22
Humedad	g/100g	77,99
pH (20°C)		6,40
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	1,56
Valor energético	Kcal/100g	85,0

Fuente: CEANID, 2024

Como se observa en la Tabla 4.3, se expresan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la papa que contiene: acidez 0,33 g/100g; ceniza 1,03 g/100g; fibra 1,11 g/100g; grasa 0,20 g/100g; hidratos de carbono 19,22 g/100g; humedad 77,99 g/100g; pH 6,40; proteína total 1.56 g/100g y valor energético 85,0 Kcal/100g.

4.1.3. Parámetros microbiológicos de la papa variedad *Desiré*

En la Tabla 4.4, se presentan los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos en la papa variedad *Desiré* datos extraídos del (Anexo A1).

Tabla 4.4

Análisis microbiológico de la papa variedad *Desiré*

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$4,7 \times 10^2$
Coliformes totales	UFC/g	$1,0 \times 10^1$ (*)

Fuente: CEANID, 2024

En la Tabla 4.4, se expresan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la papa que contiene: Bacterias aerobias mesófilas $4,7 \times 10^2$ UFC/g y Coliformes totales $1,0 \times 10^1$ (*). Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

4.1.4. Parámetros de minerales de la papa variedad *Desiré*

En la Tabla 4.5, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de minerales en la papa variedad *Desiré*, datos extraídos del (Anexo A.1).

Tabla 4.5

Análisis de minerales de la papa variedad *Desiré*

Minerales	Unidad	Resultados
Fósforo	mg/100g	74,6
Potasio	mg/100g	378,0

Fuente: CEANID, 2024

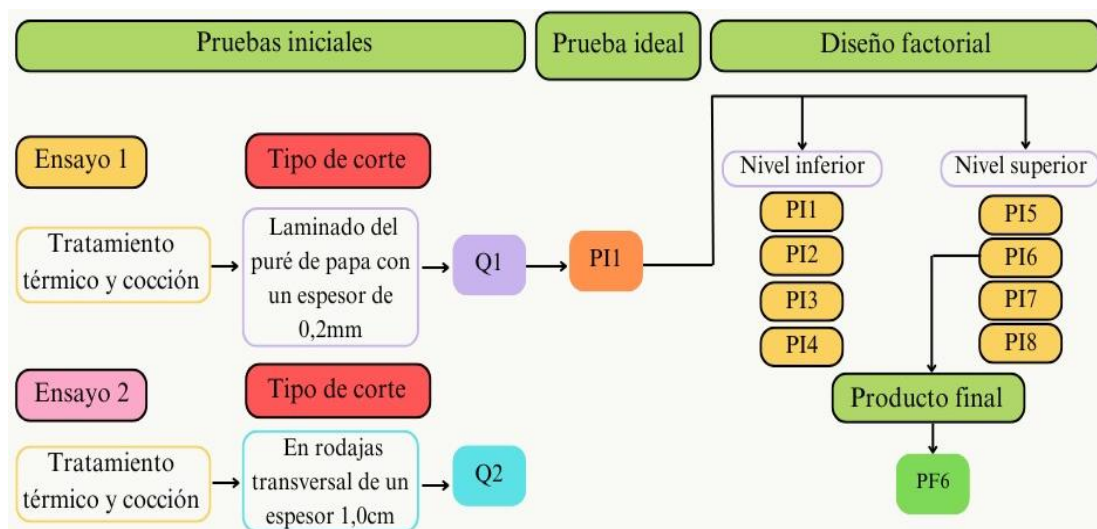
En la Tabla 4.5, se expresan los resultados de los análisis de minerales de la papa que contiene: fósforo 74,6 mg/100g y potasio 378,0 mg/100g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de secado por aire caliente para la obtención de puré de papa instantáneo

Para realizar la caracterización a nivel experimental de las variables del proceso de secado por aire caliente para obtener puré de papa instantáneo, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos que se detallan a continuación:

4.2.1 Desarrollo de las pruebas experimentales para la obtención de puré de papa instantáneo

En la Figura 4.2, se muestra el desarrollo de las pruebas experimentales para la obtención de puré de papa instantáneo mediante el proceso de secado por aire caliente, para tal efecto se realizaron pruebas iniciales: (ensayo 1: con una muestra Q1 y el ensayo 2: con una muestra Q2); y de prueba ideal muestra (PI1). Así mismo, se detallan las muestras del diseño factorial (PI1, PI2, PI3, PI4, PI5, PI6, PI7 y PI8) para obtener la muestra final en función de los factores de temperatura, espesor y velocidad de aire.

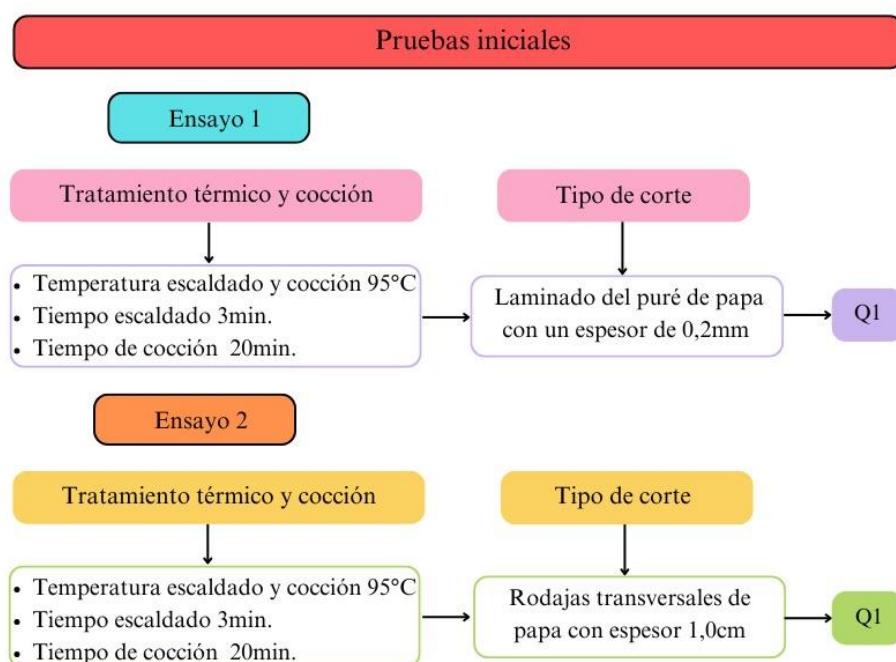


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Pruebas experimentales para la obtención de puré de papa instantáneo

4.2.1.1 Caracterización de las muestras de papa para las pruebas iniciales

En la Figura 4.3, se muestra el desarrollo que se realizó para las pruebas iniciales donde se aplicó dos tipos de corte: rodajas de papa con espesor de 1,0 cm y laminado del puré de papa con espesor de 0,2 mm. Así mismo, se aplicó tratamiento térmico previo de escaldado en agua a temperatura de 95 °C por un tiempo de 3 minutos y una cocción a vapor de agua a temperatura de 95 °C durante un tiempo de 20 minutos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Obtención de puré de papa instantáneo para las pruebas iniciales

En la Tabla 4.6, se detallan los parámetros que se tomaron en cuenta en las pruebas iniciales correspondientes de las dos muestras de papa para la obtención de puré de papa instantáneo:

- Ensayo Q1: tipo de corte laminado del puré de papa con un espesor de 0,2mm; que utilizó el método descrito por (Díaz, 2024), que consiste en el escaldado en agua a temperatura (95 °C) durante un tiempo de 3 minutos.
- Ensayo Q2: tipo de corte en rodajas de la papa con espesor de 1,0cm; que utilizó el método descrito por (Díaz, 2024), que consiste en el escaldado en agua a temperatura (95 °C) durante un tiempo de 3 minutos.

Tabla 4.6

Parámetros aplicados a las muestras de papa para las pruebas iniciales

Muestra	Tratamiento térmico	Cocción	Tipo de corte	
Q1	Escaldado en agua a temperatura 95 °C durante un tiempo de 3 min.	Cocción en agua a temperatura de 95 °C durante 20 min.	Laminado con espesor de 0,2 mm	
Q2			Rodajas con espesor 1,0 cm de espesor	

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 Selección de las muestras de papa para el proceso de secado por aire caliente

En la Tabla 4.7, se realizan las siguientes consideraciones para el proceso de secado de las muestras de papa. Para ello, las muestras (Q1 y Q2) fueron llevadas a un secador de bandejas eléctrico donde se controlaron los parámetros: peso de la muestra (g); temperatura (50°C); velocidad de aire constante (5 m/s) y tiempo entre (3,0 – 3,25 horas). Para realizar los resultados, se tomaron cuenta en base a la ecuación (2.2) capítulo II, para determinar el contenido de humedad en base seca (Hbs) en el laboratorio en función de los datos de las pruebas iniciales y tomando en cuenta la variación del peso en función del tiempo de secado para seleccionar la muestra. Para tal efecto, se tomaron en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (Hbh) del 81.88% (CEANID, 2024) del puré de papa y la ecuación (2.3) capítulo II para el cálculo de la masa de sólido seco (mss) expresados (Kg sólido seco).

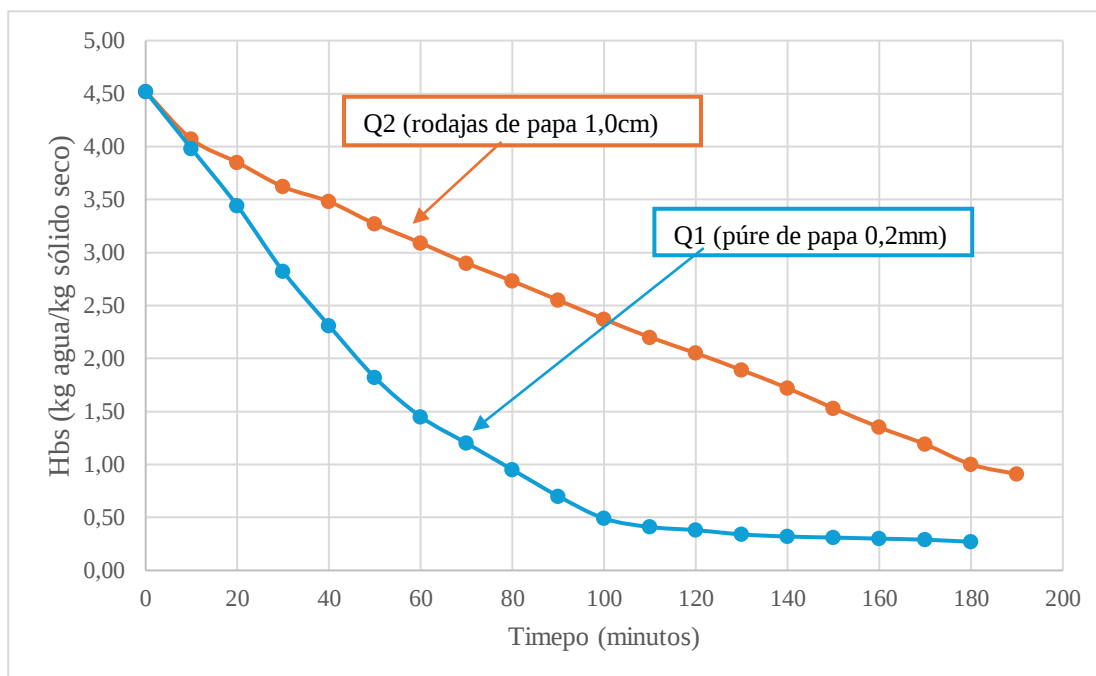
Tabla 4.7

Variación del contenido de humedad en base seca para las muestras iniciales

Tiempo (min)	Corte en rodajas		Laminado		Tiempo (min)	Corte en rodajas		Laminado	
	Peso (g)	Hbs	Peso (g)	Hbs		Peso (g)	Hbs	Peso (g)	Hbs
0	101,3	4,52	109,74	4,52	100	64,4	2,37	29,65	0,49
10	97,0	4,07	99,05	3,98	110	61,2	2,20	28,12	0,41
20	92,9	3,85	88,28	3,44	120	58,3	2,05	27,46	0,38
30	88,4	3,62	75,96	2,82	130	55,3	1,89	26,57	0,34
40	85,8	3,48	65,79	2,31	140	52,0	1,72	26,33	0,32
50	81,7	3,27	56,13	1,82	150	48,4	1,53	26,14	0,31
60	78,3	3,09	48,74	1,45	160	45,0	1,35	25,90	0,30
70	74,7	2,90	43,82	1,20	170	41,8	1,19	25,69	0,29
80	71,4	2,73	38,70	0,95	180	38,4	1,00	25,28	0,27
90	68,0	2,55	33,79	0,70	190	36,5	0,91	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.4, se observa las curvas de secado para elegir la muestra en rodajas de papa y laminado del puré de papa para el secado por aire caliente, variando el contenido de humedad en base seca en función del tiempo de los datos extraídos de la Tabla 4.7.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Curva de secado para elegir la muestra en rodajas de papa y laminado de puré de papa

La Figura 4.4, se puede observar que la muestra (Q1) y (Q2) parten del mismo contenido de humedad en base seca 4,52 (kg agua/kg sólido seco), para la muestra (Q1) se observa que para el tiempo de 80 minutos contiene 0,95 (kg agua/kg sólido seco) y para el tiempo de 180 minutos 0,27 (kg agua/kg sólido seco). De igual manera para la muestra (Q2) se observa que para un tiempo de 80 minutos contiene 2,73 (kg agua/kg sólido seco) y para el tiempo de 190 minutos contiene 0,91 (kg agua/kg sólido seco). Motivo por el cual, se procedió a escoger la muestra (Q1) con la técnica de laminado (0,2mm) ya que presentó menor contenido de humedad en base seca en menor tiempo de secado.

En base a la muestra que presenta menor contenido de humedad en menor tiempo de secado, por lo cual, se procedió a elegir a la muestra (Q1) laminado del puré de papa para el proceso de secado para obtener puré de papa instantáneo.

4.3 Diseño factorial en el proceso de secado para la obtención de puré de papa instantáneo

En base a la muestra ideal (PI1), se procedió a aplicar el diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para la obtención de puré de papa instantáneo, tomando en cuenta las variables: temperatura (50-60) °C, espesor del laminado puré de papa (0,2-0,4) mm y velocidad de aire (4-5) m/s. Así mismo, se tomó como variable respuesta al contenido de humedad en base seca (kg agua/ kg sólido seco).

4.3.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para la muestra de laminado

En la Tabla 4.8, se observan las variables controladas durante el proceso de secado de la muestra laminado puré de papa y los resultados de la variable respuesta del contenido de humedad en base seca.

Tabla 4.8

Contenido de humedad en base seca de la muestra laminado puré de papa

Combinación de tratamientos	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Temperatura (°C)	Espesor (mm)	Velocidad de aire (m/s)			
	A	B	C			
(1)	50	0,2	4	0,16	0,16	0,32
A	60	0,2	4	0,13	0,19	0,32
B	50	0,4	4	0,02	0,53	0,55
c	60	0,4	4	0,07	0,27	0,34
ab	50	0,2	5	0,21	0,06	0,27
ac	60	0,2	5	0,21	0,01	0,22
bc	50	0,4	5	0,07	0,02	0,09
abc	60	0,4	5	0,11	0,11	0,22

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1 Análisis de varianza del diseño factorial en el proceso de secado para la muestra laminado puré de papa

En base al diseño factorial 2^3 aplicado en el proceso de secado se realizó el análisis de varianza en función de la variable respuesta del contenido de humedad en base seca (Tabla 4.9), resultados obtenidos del programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI) para Windows y son detallados en el Anexo G.

Tabla 4.9

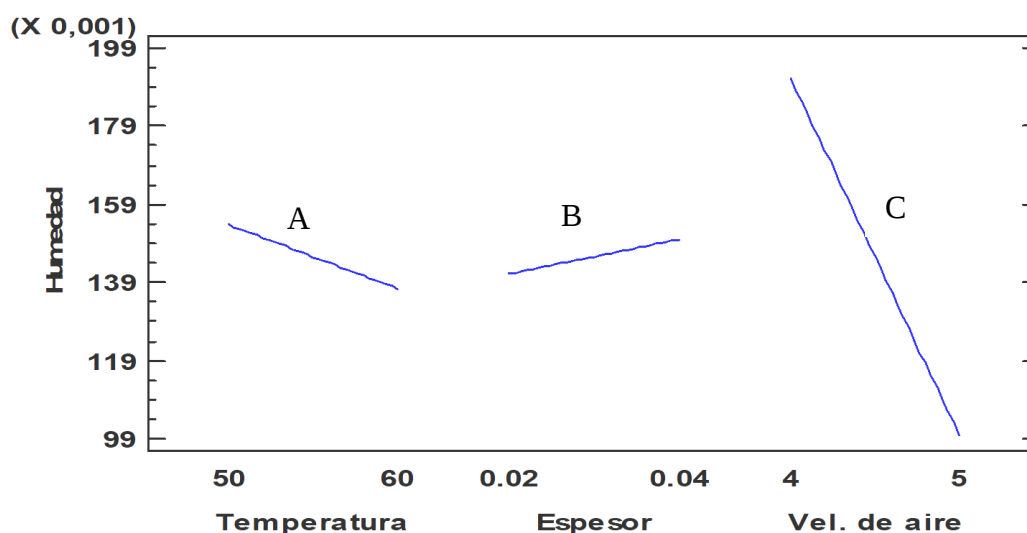
Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Gl	Cuadrado Medio (CM)	Fcal	Ftab
Factor a	0,00105625	1	0,00105625	0,05	17,969
Factor b	0,00030625	1	0,00030625	0,01	17,969
Factor c	0,0333063	1	0,0333063	1,44	17,969
Interacción ab	0,00005625	1	0,00005625	0,00	17,969
Interacción ac	0,00525625	1	0,00525625	0,23	17,969
Interacción bc	0,0115562	1	0,0115562	0,50	17,969
Interacción abc	0,00855625	1	0,00855625	0,37	17,969
Error total	0,1853	8	0,0231625	-	-
Total	0,245394	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.9, se observa que entre los factores A, B y C e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe diferencia significativa; ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

En la Figura 4.5, se muestran los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (espesor) y C (velocidad de aire) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (kg agua/kg sólido seco).

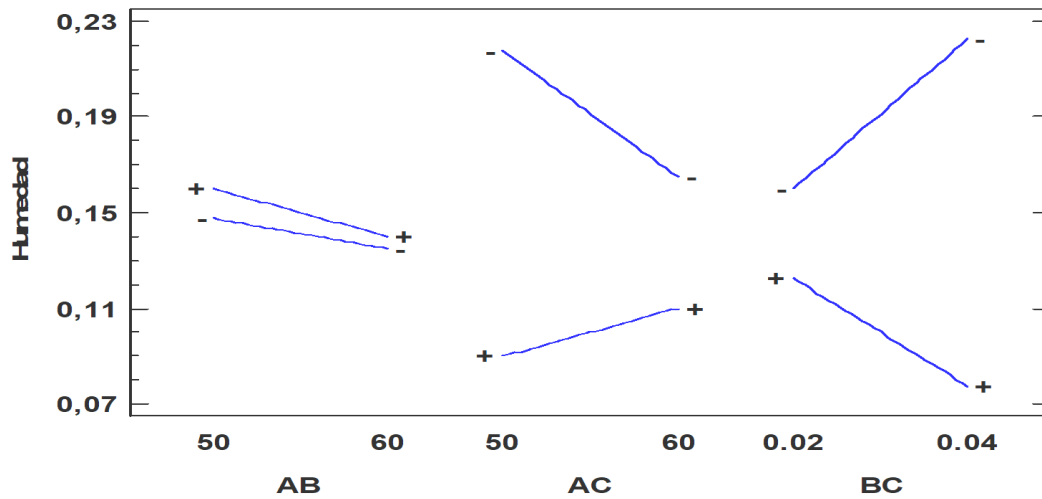


Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.5: Efectos principales para el contenido de humedad

La Figura 4.5, muestra que el factor C (velocidad de aire) entre los valores (4 – 5) m/s influye significativamente sobre la variable respuesta del contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en sus niveles alto y bajo. Sin embargo, los factores: A(temperatura) entre valores de (50 – 60) °C y factor B (espesor) valores entre (0,2 – 0,4) mm no incide significativamente en su nivel alto y bajo; debido a que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la Figura 4.6, se muestran las interacciones para los factores: AB (temperatura – espesor), AC (temperatura – velocidad de aire) y BC (espesor – velocidad de aire), en función de la variable respuesta contenido de humedad en base seca.

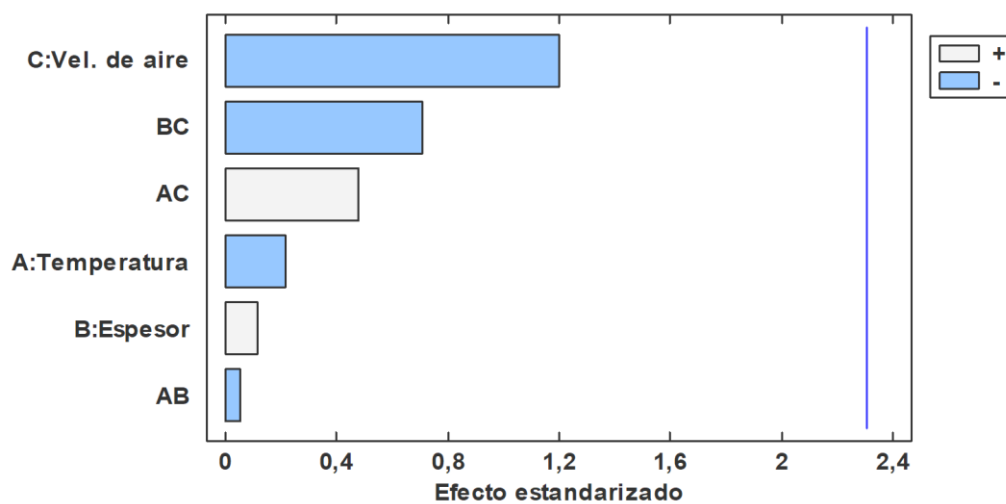


Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.6: Interaccion de factores para el contenido de humedad en base seca

La Figura 4.6, muestra que las interacciones AB, AC y BC no hay una interacción entre los factores en sus niveles altos y bajos.

En la Figura 4.7, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia estadística lo determina la línea vertical de referencia con valor de 2,30 por la tanto, los factores que no exceden la línea de referencia indican que no son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.7: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad

Según la Figura 4.7, se observa que el factor A (temperatura), B (espesor), C (velocidad de aire); las interacciones AB (temperatura – espesor), AC (temperatura – velocidad de aire) y BC (espesor – velocidad de aire), no exceden la línea de referencia, por lo tanto, 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 la muestra laminado puré de papa

Según la ecuación (3.2) del modelo de regresión para un diseño de 2^K ; en la ecuación (4.1), se observa el modelo de regresión que se ajustó a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de la muestra laminado puré de papa y datos extraídos de la Tabla 4.7

(Ecuación 4.1)

$$\text{Humedad} = -5,6 + 0,0985*A + 26,8*B + 1,28*C - 0,4425*AB - 0,022*AC - 5,9*BC + 0,0975*A*B*C$$

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

4.3.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial de la muestra laminado puré de papa

En la etapa de secado de la muestra de puré de papa a nivel experimental se elaboraron ocho muestras con laminado, donde las variables tomadas en cuenta se escriben en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10

Muestras laminado de puré de papa

Muestras	Temperatura (°C)	Espesor (mm)	Velocidad de aire (m/s)
PI1	50	0,2	4
PI2	60	0,2	4
PI3	50	0,4	4
PI4	60	0,4	4
PI5	50	0,2	5
PI6	60	0,2	5
PI7	50	0,4	5
PI8	60	0,4	5

Fuente: Elaboración propia

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

En la Tabla 4.11, se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras laminado de puré de papa laminado, datos extraídos de la tabla 4.7

Tabla 4.11

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	50,0	60,0	60,0
Espesor	0,2	0,4	0,2
Velocidad de aire	4,0	5,0	5,0

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 4.11, se observa que los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en la muestra laminado de puré de papa son: temperatura (50°C), espesor (0,4 mm) y velocidad de aire (4m/s). Por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra PI3 con la finalidad de minimizar el contenido de humedad en base seca.

En conclusión, en base al valor óptimo 0,02 (kg agua/kg sólido seco). Entre los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca se optó por elegir la muestra PI6 la misma obtenida a temperatura (60°C), espesor (0,2mm) y velocidad de aire (5m/s) y un contenido de humedad en base seca en variable respuesta de 0,21 (kg agua/kg sólido seco).

4.4 Influencia de las variables sobre el contenido de humedad en el proceso de secado de la muestra laminado puré de papa

La variación del contenido de humedad se determinó a partir de la pérdida del peso que se registró durante el proceso de secado de las muestras, partiendo de un peso inicial (55 – 160) gramos de puré de papa, tomando en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (H_{bh}) del 81,88% (CEANID, 2024) y la ecuación (2.3) para el cálculo de la masa de sólido seco. Para tal efecto, se analizó el contenido de humedad en base seca en función a las siguientes variables: A (temperatura), B (espesor) y C (velocidad de aire) como se detalla en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12

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

Características	
Temperatura	A ₁ = 50 °C
	A ₂ = 60 °C
Espesor	B ₁ = 0,2 mm
	B ₂ = 0,4 mm
Velocidad de aire	C ₁ = 4 m/s
	C ₂ = 5 m/s

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50 – 60) °C; B₁ (0,2 mm) vs C₁ (4 m/s)

En la Tabla 4.13, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI1 y PI5) para un tiempo de 210 minutos de la muestra PI1 y un tiempo de 160 minutos para la muestra PI5, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

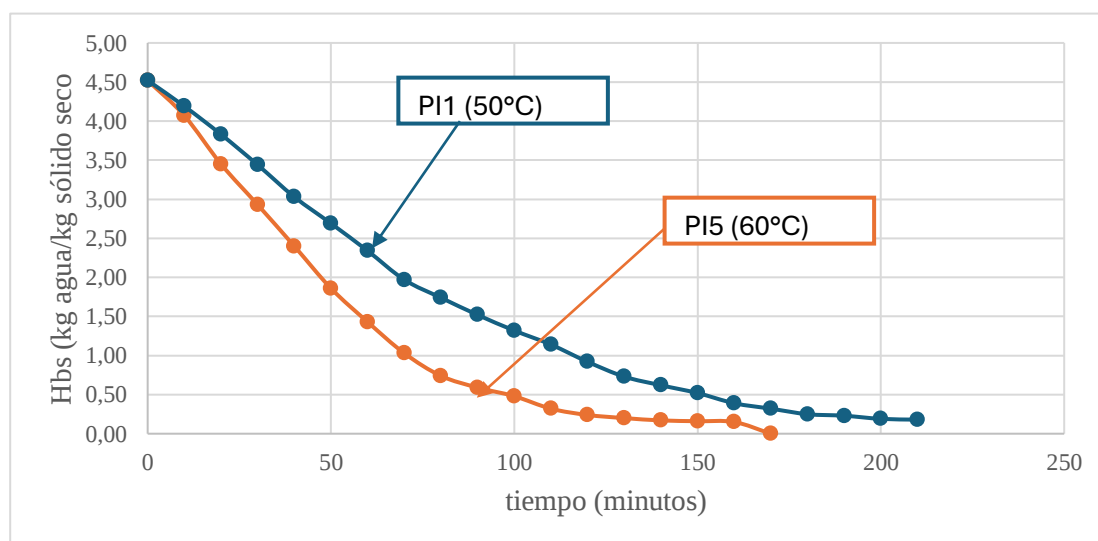
Tabla 4.13

Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50-60) °C; B₁ (0,2mm) vs C₁ (4 m/s)

Temperatura de (50-60) E=0,2 V=4m/s					
tiempo	Hbs 50	Hbs 60	tiempo	Hbs 50	Hbs 60
0	4,52	4,52	110	1,14	0,32
10	4,19	4,07	120	0,92	0,24
20	3,83	3,45	130	0,73	0,20
30	3,44	2,93	140	0,62	0,17
40	3,03	2,40	150	0,52	0,16
50	2,69	1,86	160	0,39	0,15
60	2,34	1,43	170	0,32	-
70	1,97	1,03	180	0,25	-
80	1,74	0,74	190	0,23	-
90	1,52	0,59	200	0,19	-
100	1,32	0,48	210	0,18	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.8, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra con técnica de laminado (PI1 y PI5). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre (50 – 60) °C; manteniendo constante el espesor (0,2 mm) y velocidad de aire (4 m/s), en base a los datos de la Tabla 4.13 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50-60) °C; B₁ (0,2mm) y C₁ (4 m/s)

En la Figura 4.7, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI1 a temperatura 50 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 4m/s; con tiempo 210 min y presenta 0,18 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI5 a temperatura de 60 °C, espesor de 0,2 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo de 160 min y presenta 0,15 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.2 Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50 – 60) °C; B₁ (0,4 mm) y C₁ (4 m/s)

En la Tabla 4.14, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI3 y PI7) para un tiempo de 340 minutos de la muestra PI3 y un tiempo de 250 minutos para la muestra PI7, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

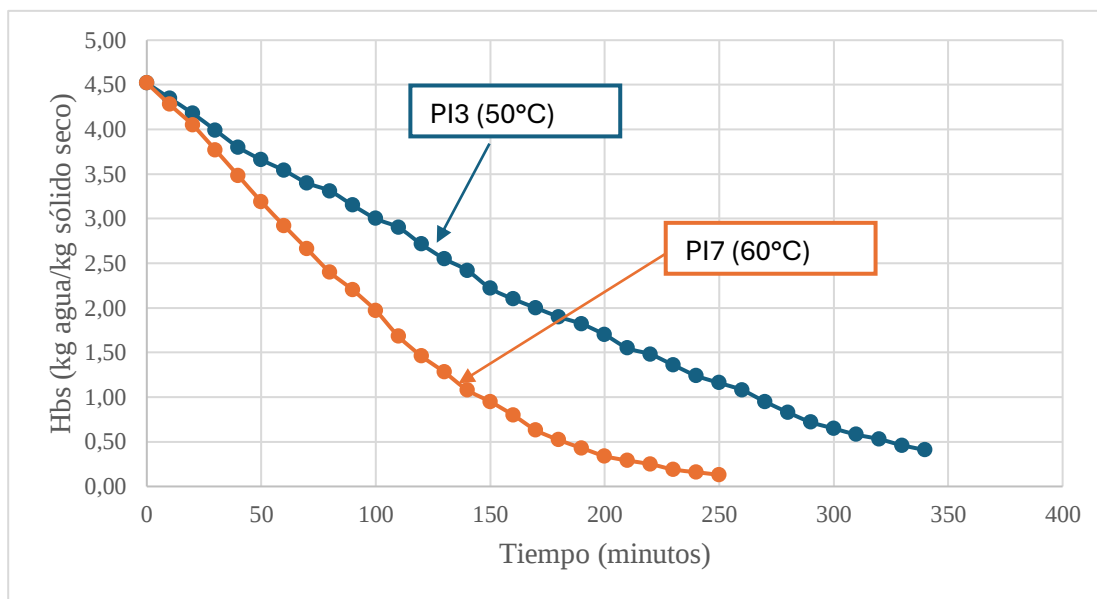
Tabla 4.14

Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50-60) °C; B₁ (0,4mm) y C₁ (4 m/s)

Temperatura (50-60) E=0,4 V=4					
tiempo	Hbs 50	Hbs 60	tiempo	Hbs 50	Hbs 60
0	4,52	4,52	180	1,90	0,52
10	4,35	4,28	190	1,82	0,43
20	4,18	4,05	200	1,70	0,34
30	3,99	3,77	210	1,55	0,29
40	3,80	3,48	220	1,48	0,25
50	3,66	3,19	230	1,36	0,19
60	3,54	2,92	240	1,24	0,16
70	3,40	2,66	250	1,16	0,13
80	3,31	2,40	260	1,08	-
90	3,15	2,20	270	0,95	-
100	3,00	1,97	280	0,83	-
110	2,90	1,68	290	0,72	-
120	2,71	1,46	300	0,65	-
130	2,55	1,28	310	0,58	-
140	2,42	1,08	320	0,53	-
150	2,22	0,95	330	0,46	-
160	2,10	0,80	340	0,41	-
170	2,00	0,63	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.9, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras (PI3 y PI7). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre (50 – 60) °C; manteniendo constante el espesor (0,4 mm) y velocidad de aire (4 m/s), en base a los datos de la Tabla 4.11 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (50-60) °C; B_1 (0,4mm) y C_1 (4 m/s)

La Figura 4.9, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI3 a temperatura 50°C, espesor 0,4mm y velocidad de aire 4m/s; con tiempo 340 min y presenta 0,41 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI7 a temperatura de 60°C, espesor de 0,4mm y velocidad de aire 4m/s; con tiempo de 250 min y presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.3 Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (50 – 60) °C; B_1 (0,2 mm) y C_1 (5 m/s)

En la Tabla 4.15, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI2 y PI6) para un tiempo de 240 minutos de la muestra PI2 y un tiempo de 160 minutos para la muestra PI6, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

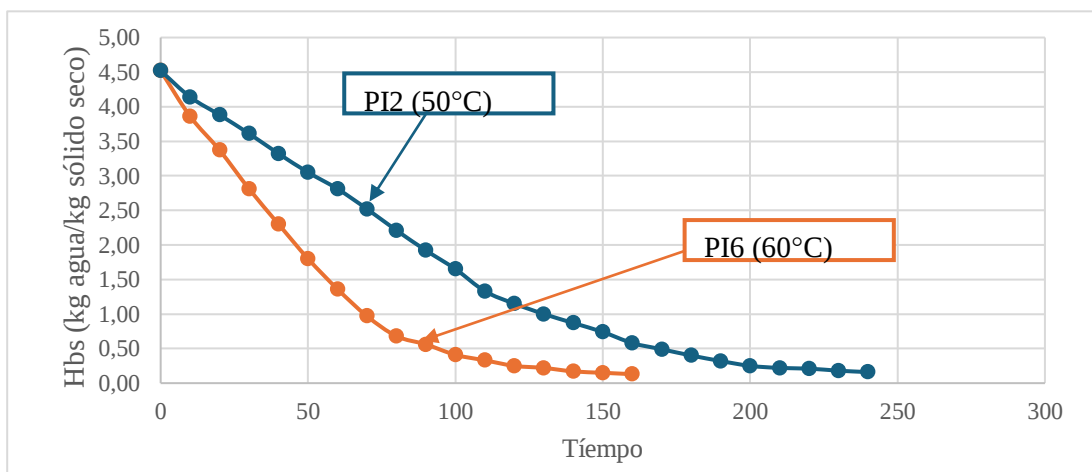
Tabla 4.15

Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50-60) °C; B₁ (0,2mm) y C₁ (5 m/s)

Temperatura(50-60) E=0,2 V=5					
tiempo	Hbs50	Hbs60	tiempo	Hbs50	Hbs60
0	4,52	4,52	130	1,00	0,22
10	4,14	3,86	140	0,87	0,17
20	3,88	3,37	150	0,74	0,15
30	3,61	2,81	160	0,58	0,13
40	3,32	2,30	170	0,49	-
50	3,05	1,80	180	0,40	-
60	2,81	1,36	190	0,32	-
70	2,52	0,97	200	0,25	-
80	2,21	0,68	210	0,22	-
90	1,92	0,56	220	0,21	-
100	1,65	0,41	230	0,18	-
110	1,33	0,33	240	0,16	-
120	1,15	0,25	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.10, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras (PI2 y PI6). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre (50 – 60) °C; manteniendo constante el espesor (0,2 mm) y velocidad de aire (5 m/s), en base a los datos de la Tabla 4.15 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50-60) °C; B₁ (0,2mm) y C₁ (5 m/s)

La Figura 4.10, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI2 a temperatura 50°C, espesor 0,2mm y velocidad de aire 5m/s; con tiempo 240 min y presenta 0,16 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI6 a temperatura de 60°C, espesor de 0,2mm y velocidad de aire 5m/s; con tiempo de 160 min y presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.4 Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50 – 60) °C; B₁ (0,4 mm) y C₁ (5 m/s)

En la Tabla 4.16, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI2 y PI6) para un tiempo de 240 minutos de la muestra PI2 y un tiempo de 160 minutos para la muestra PI6, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

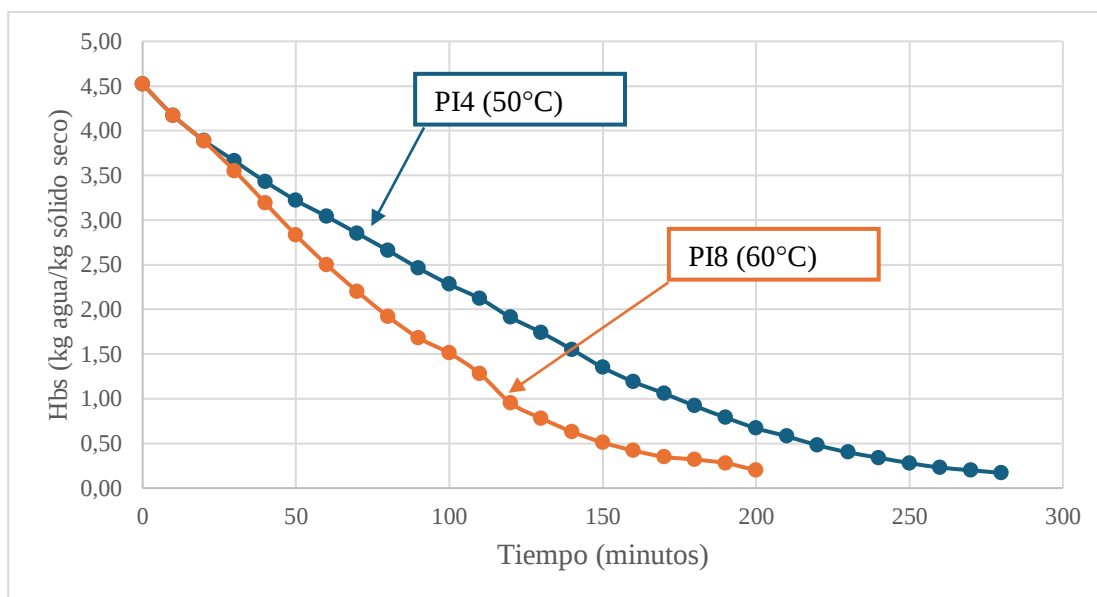
Tabla 4.16

Variación del contenido de humedad con la temperatura A₁₂ (50-60) °C; B₁ (0,4mm) y C₁ (5 m/s)

Temperatura(50-60) E=0,4 V=5					
tiempo	Hbs50	Hbs60	tiempo	Hbs50	Hbs60
0	4,52	4,52	150	1,35	0,51
10	4,17	4,17	160	1,19	0,42
20	3,89	3,88	170	1,06	0,35
30	3,66	3,55	180	0,92	0,32
40	3,43	3,19	190	0,79	0,28
50	3,22	2,83	200	0,67	0,2
60	3,04	2,5	210	0,58	-
70	2,85	2,2	220	0,48	-
80	2,66	1,92	230	0,40	-
90	2,46	1,68	240	0,34	-
100	2,28	1,51	250	0,28	-
110	2,12	1,28	260	0,23	-
120	1,91	0,95	270	0,20	-
130	1,74	0,78	280	0,17	-
140	1,55	0,63	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.11, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras (PI4 y PI8). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la temperatura entre (50 – 60) °C; manteniendo constante el espesor (0,4 mm) y velocidad de aire (5 m/s), en base a los datos de la Tabla 4.16 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Variación del contenido de humedad con la temperatura A_{12} (50-60) °C; B_1 (0,4mm) y C_1 (5 m/s)

La Figura 4.11, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI4 a temperatura 50 °C, espesor 0,4 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo 270 min y presenta 0,17 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI8 a temperatura de 60°C, espesor de 0,4 mm y velocidad de aire 5m/s; con tiempo de 200 min y presenta 0,2 (kg agua/kg sólido seco).

En base a la variación de temperatura las muestras con temperatura de 60 °C son las que se ven favorecidas en la disminución del tiempo de secado y contenido de humedad en base seca, donde se evidencia que la muestra PI6 a temperatura de 60 °C, espesor de 0,2 mm y velocidad de aire de 5 m/s y tiempo de 160 minutos presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, influye la temperatura 50 °C debido a que hay mayor tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.

4.4.5 Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2 – 0,4mm) °C; A₁ (50°C) y C₁ (4 m/s)

En la Tabla 4.17, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI1 y PI3); para un tiempo de 210 minutos de la muestra PI1 y un tiempo de 340 minutos para la muestra PI3, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

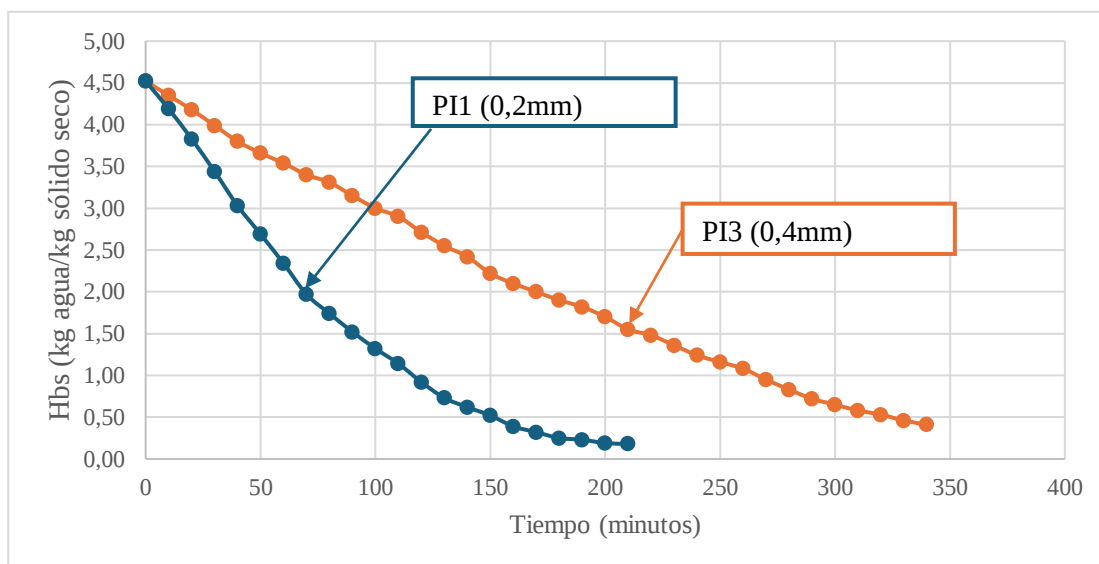
Tabla 4.17

Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (50°C) y C₁ (4m/s)

Espesor (0,2-0,4) T=50 V=4					
tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4	tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4
0	4,52	4,52	180	0,25	1,90
10	4,19	4,35	190	0,23	1,82
20	3,83	4,18	200	0,19	1,70
30	3,44	3,99	210	0,18	1,55
40	3,03	3,80	220	-	1,48
50	2,69	3,66	230	-	1,36
60	2,34	3,54	240	-	1,24
70	1,97	3,40	250	-	1,16
80	1,74	3,31	260	-	1,08
90	1,52	3,15	270	-	0,95
100	1,32	3,00	280	-	0,83
110	1,14	2,90	290	-	0,72
120	0,92	2,71	300	-	0,65
130	0,73	2,55	310	-	0,58
140	0,62	2,42	320	-	0,53
150	0,52	2,22	330	-	0,46
160	0,39	2,10	340	-	0,41
170	0,32	2,00	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.12, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del espesor para las muestras (PI1 y PI3). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el espesor entre (0,2–0,4) mm; manteniendo constante la temperatura (50 °C) y velocidad de aire (4 m/s), en base a los datos de la tabla 4.14 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Variación del contenido de humedad con el espesor del laminado B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (50°C) vs C₁ (4m/s)

La Figura 4.12, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI1 a temperatura 50 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo 210 min y presenta 0,18 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI3 a temperatura de 50 °C, espesor de 0,4 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo de 340 min y presenta 0,41 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.6 Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2 – 0,4mm) °C; A₁ (50°C) y C₁ (4 m/s)

En la Tabla 4.18, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI5 y PI7); para un tiempo de 160 minutos de la muestra PI5 y un tiempo de 250 minutos para la muestra PI7, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

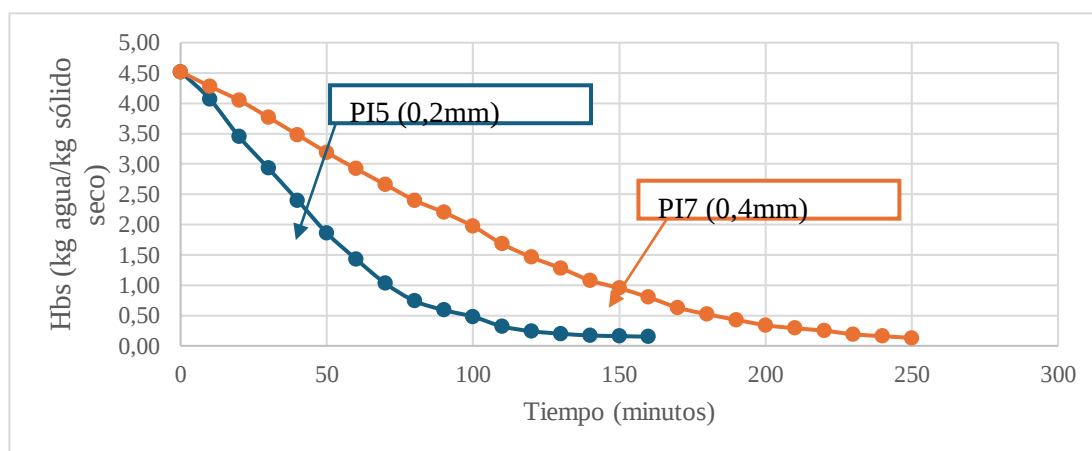
Tabla 4.18

**Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (60°C)
y C₁ (4m/s)**

Espesor (0,2-0,4) T=60 V=4					
tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4	tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4
0	4,52	4,52	130	0,20	1,28
10	4,07	4,28	140	0,17	1,08
20	3,45	4,05	150	0,16	0,95
30	2,93	3,77	160	0,15	0,80
40	2,40	3,48	170	-	0,63
50	1,86	3,19	180	-	0,52
60	1,43	2,92	190	-	0,43
70	1,03	2,66	200	-	0,34
80	0,74	2,40	210	-	0,29
90	0,59	2,20	220	-	0,25
100	0,48	1,97	230	-	0,19
110	0,32	1,68	240	-	0,16
120	0,24	1,46	250	-	0,13

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.13, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del espesor para las muestras (PI5 y PI7). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el espesor entre (0,2-0,4) mm; manteniendo constante la temperatura (60 °C) y velocidad de aire (4 m/s), en base a los datos de la Tabla 4.13 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Variación del contenido de humedad con el espesor del laminado B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (60°C) y C₁ (4m/s)

La Figura 4.13, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI5 a temperatura 60 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo 160 min y presenta 0,15 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI7 a temperatura de 60 °C, espesor de 0,4 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo de 250 min y presenta 0.13 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.7 Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2–0,4mm) °C; A₁ (50°C) y C₁ (5m/s)

En la Tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI2 y PI4); para un tiempo de 240 minutos de la muestra PI2 y un tiempo de 280 minutos para la muestra PI4, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

Tabla 4.19

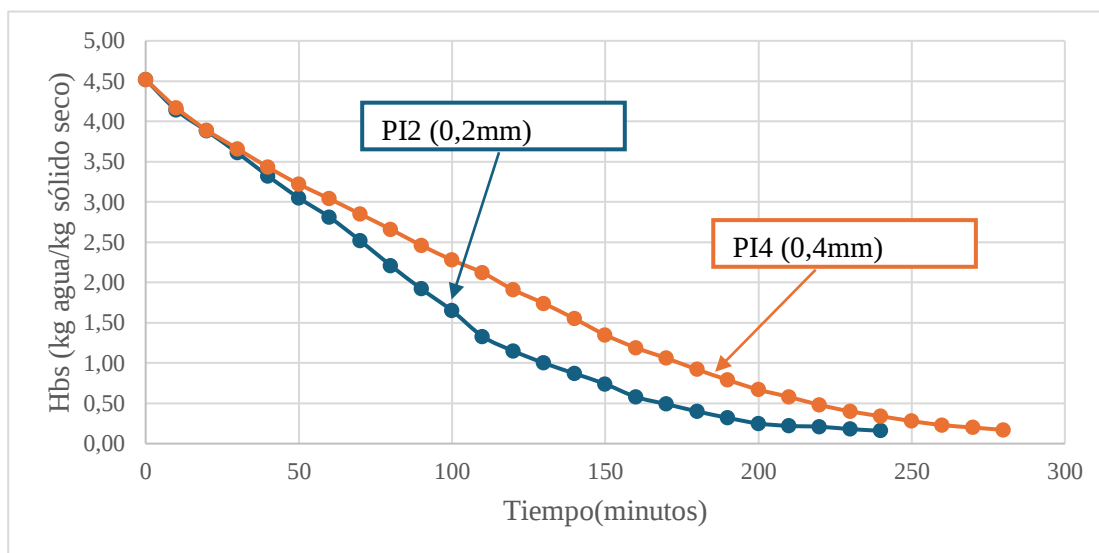
Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (50°C) y C₁ (5m/s)

Espesor (0,2-0,4) T=50 V=5					
tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4	tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4
0	4,52	4,52	150	0,74	1,35
10	4,14	4,17	160	0,58	1,19
20	3,88	3,89	170	0,49	1,06
30	3,61	3,66	180	0,40	0,92
40	3,32	3,43	190	0,32	0,79
50	3,05	3,22	200	0,25	0,67
60	2,81	3,04	210	0,22	0,58
70	2,52	2,85	220	0,21	0,48
80	2,21	2,66	230	0,18	0,4
90	1,92	2,46	240	0,16	0,34
100	1,65	2,28	250	-	0,28
110	1,33	2,12	260	-	0,23
120	1,15	1,91	270	-	0,2
130	1,00	1,74	280	-	0,17
140	0,87	1,55	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.14, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del espesor para las muestras (PI2 y PI4). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el espesor entre (0,2–0,4) mm; manteniendo

constante la temperatura (50°C) y velocidad de aire (5m/s), en base a los datos de la Tabla 4.19 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Variación del contenido de humedad con el espesor del laminado B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (50°C) y C₁ (5m/s)

La Figura 4.14, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI2 a temperatura 50 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo 240 min y presenta 0,16 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI4 a temperatura de 50 °C, espesor de 0,4 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo de 280 min y presenta 0,17 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.8 Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2 – 0,4mm) °C; A₁ (50°C) y C₁ (5m/s)

En la Tabla 4.20, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI2 y PI4); para un tiempo de 240 minutos de la muestra PI2 y un tiempo de 280 minutos para la muestra PI4, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

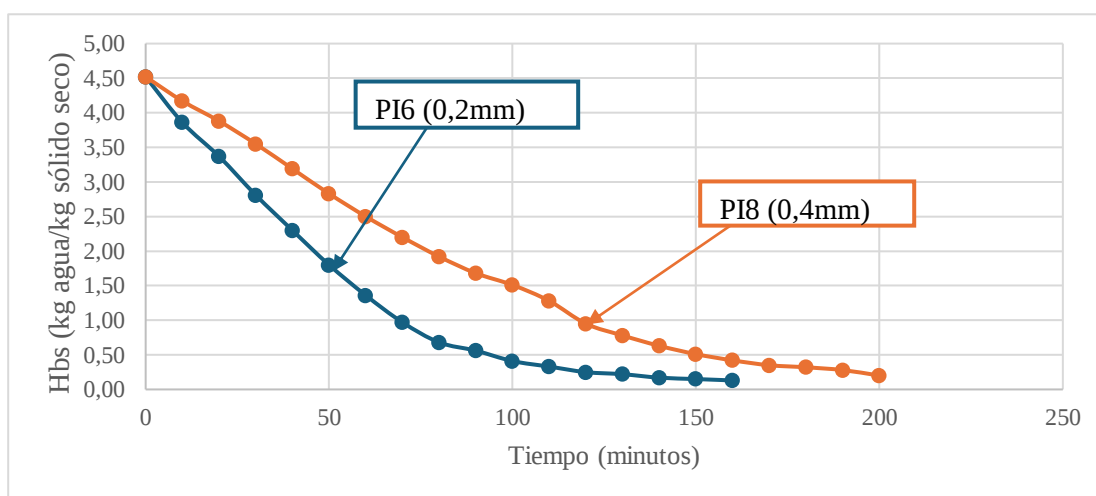
Tabla 4.20

Variación del contenido de humedad con el espesor B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (60°C)
y C₁ (5m/s)

Espesor (0,2-0,4) T=60 V=5					
tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4	tiempo	Hbs0,2	Hbs0,4
0	4,52	4,52	110	0,33	1,28
10	3,86	4,17	120	0,25	0,95
20	3,37	3,88	130	0,22	0,78
30	2,81	3,55	140	0,17	0,63
40	2,30	3,19	150	0,15	0,51
50	1,80	2,83	160	0,13	0,42
60	1,36	2,5	170	-	0,35
70	0,97	2,2	180	-	0,32
80	0,68	1,92	190	-	0,28
90	0,56	1,68	200	-	0,2
100	0,41	1,51	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.15, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del espesor para la muestra con técnica de laminado (PI6 y PI8). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando el espesor entre (0,2–0,4) mm; manteniendo constante la temperatura (60 °C) y velocidad de aire (5 m/s), en base a los datos de la Tabla 4.20 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Variación del contenido de humedad con el espesor de laminado B₁₂ (0,2-0,4) mm; A₁ (60°C) y C₁ (5m/s)

La Figura 4.15, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI6 a temperatura 60 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo 160 min y presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI8 a temperatura de 50 °C, espesor de 0,4 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo de 200 min y presenta 0,2 (kg agua/kg sólido seco).

En base a la variación del espesor de las muestras con un espesor 0,2 mm son las que se ven favorecidas en la disminución del tiempo de secado y contenido de humedad en base seca, donde se evidencia que la muestra PI6 a temperatura de 60 °C, espesor de 0,2 mm y velocidad de aire de 5 m/s y tiempo de 160 minutos presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, influye la temperatura de 50 °C debido a que hay mayor tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.

4.4.9 Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4 – 5) m/s; A_1 (50°C) y B_1 (0,2mm)

En la Tabla 4.21, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI1 y PI2); para un tiempo de 210 minutos de la muestra PI1 y un tiempo de 240 minutos para la muestra PI2, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

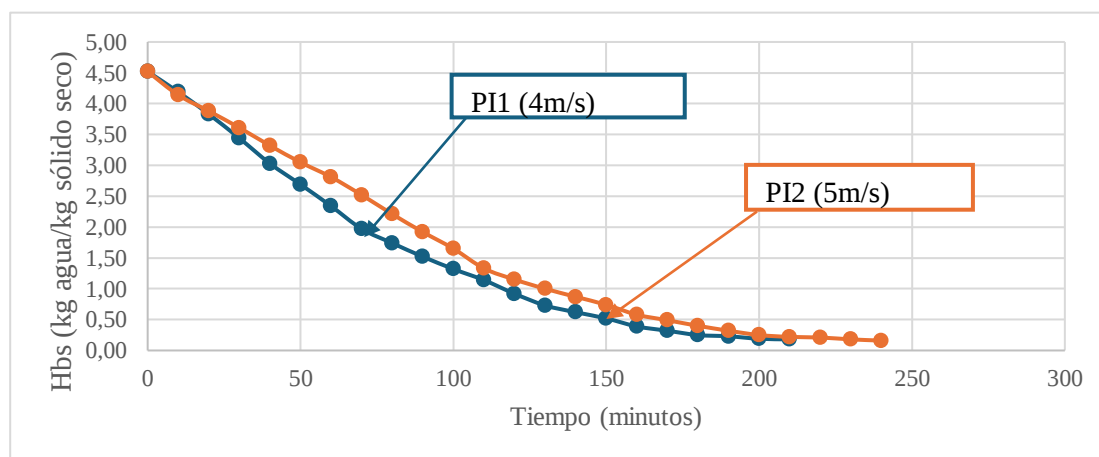
Tabla 4.21

Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4-5) m/s; A_1 (50°C) y B_1 (0,2mm)

Vel. Aire(4-5)m/s T=50 E=0,2					
tiempo	Hbs4	Hbs5	tiempo	Hbs4	Hbs5
0	4,52	4,52	130	0,73	1,00
10	4,19	4,14	140	0,62	0,87
20	3,83	3,88	150	0,52	0,74
30	3,44	3,61	160	0,39	0,58
40	3,03	3,32	170	0,32	0,49
50	2,69	3,05	180	0,25	0,40
60	2,34	2,81	190	0,23	0,32
70	1,97	2,52	200	0,19	0,25
80	1,74	2,21	210	0,18	0,22
90	1,52	1,92	220	-	0,21
100	1,32	1,65	230	-	0,18
110	1,14	1,33	240	-	0,16
120	0,92	1,15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.16, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función de la velocidad de aire para las muestras (PI1 y PI2). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la velocidad de aire entre (4-5) m/s; manteniendo constante la temperatura (50 °C) y el espesor (0,2 mm), en base a los datos de la Tabla 4.21 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4-5) m/s; A_1 (50°C) y B_1 (0,2mm)

La Figura 4.16, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI1 a temperatura 50 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo 210 min y presenta 0,18 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI2 a temperatura de 50 °C, espesor de 0,2 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo de 240 min y presenta 0,16 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.10 Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C₁₂ (4 – 5) m/s; A₁ (60°C) y B₁ (0,2mm)

En la Tabla 4.22, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI5 y PI6); para un tiempo de 160 minutos de la muestra PI5 y un tiempo de 160 minutos para la muestra PI6, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

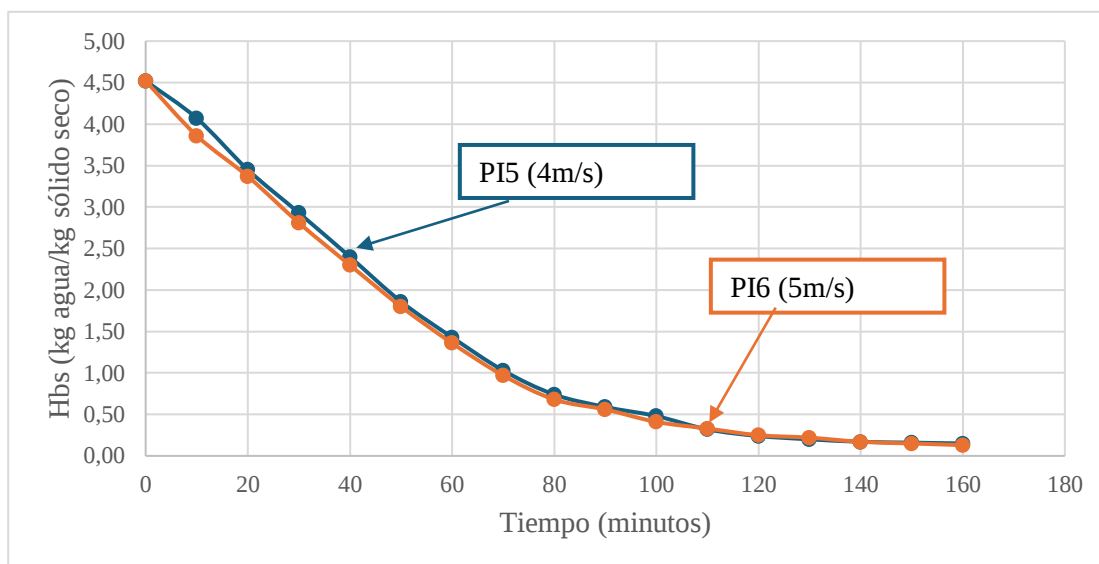
Tabla 4.22

Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C₁₂ (4-5) m/s; A₁ (60°C) y B₁ (0,2mm)

Vel. Aire(4-5)m/s T=60 E=0,2					
tiempo	Hbs4	Hbs5	tiempo	Hbs4	Hbs5
0	4,52	4,52	90	0,59	0,56
10	4,07	3,86	100	0,48	0,41
20	3,45	3,37	110	0,32	0,33
30	2,93	2,81	120	0,24	0,25
40	2,40	2,30	130	0,20	0,22
50	1,86	1,80	140	0,17	0,17
60	1,43	1,36	150	0,16	0,15
70	1,03	0,97	160	0,15	0,13
80	0,74	0,68	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.17, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función de la velocidad de aire para las muestras (PI5 y PI6). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la velocidad de aire entre (4-5) m/s; manteniendo constante la temperatura (60 °C) y el espesor (0,2 mm), en base a los datos de la Tabla 4.22 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4-5) m/s; A_1 (60°C) y B_1 (0,2mm)

La Figura 4.17, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI5 a temperatura 60 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo 160 min y presenta 0,15 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI6 a temperatura de 60 °C, espesor de 0,2 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo de 160 min y presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.11 Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4 – 5) m/s; A_1 (50°C) y B_1 (0,4mm)

En la Tabla 4.23, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI3 y PI4); para un tiempo de 340 minutos de la muestra PI3 y un tiempo de 280 minutos para la muestra PI4, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

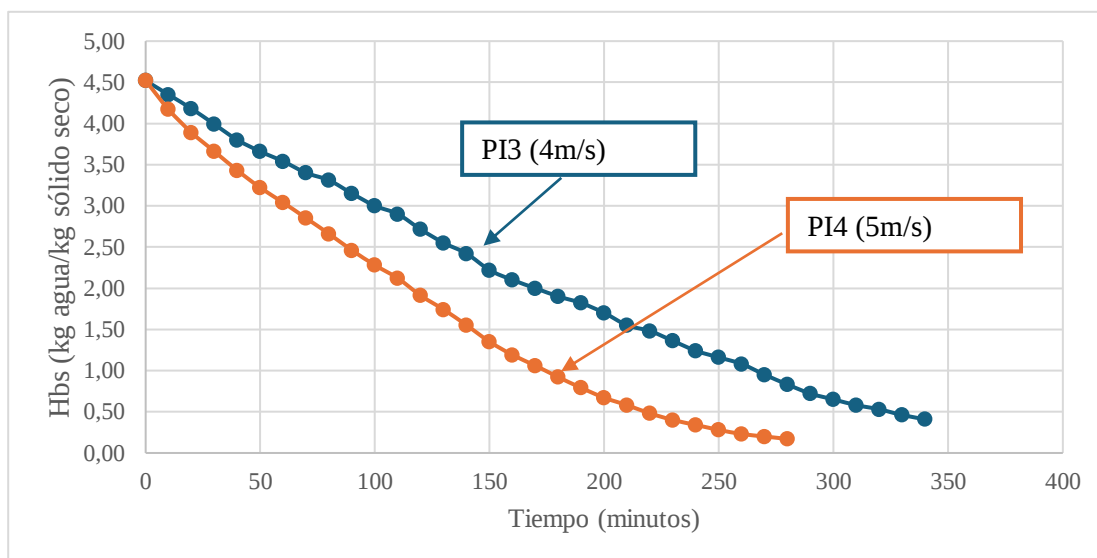
Tabla 4.23

Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4-5) m/s; A_1 (50°C) y B_1 (0,4mm)

Vel. Aire(4-5)m/s T=50 E=0,4					
tiempo	Hbs4	Hbs5	tiempo	Hbs4	Hbs5
0	4,52	4,52	180	1,90	0,92
10	4,35	4,17	190	1,82	0,79
20	4,18	3,89	200	1,70	0,67
30	3,99	3,66	210	1,55	0,58
40	3,80	3,43	220	1,48	0,48
50	3,66	3,22	230	1,36	0,4
60	3,54	3,04	240	1,24	0,34
70	3,40	2,85	250	1,16	0,28
80	3,31	2,66	260	1,08	0,23
90	3,15	2,46	270	0,95	0,2
100	3,00	2,28	280	0,83	0,17
110	2,90	2,12	290	0,72	-
120	2,71	1,91	300	0,65	-
130	2,55	1,74	310	0,58	-
140	2,42	1,55	320	0,53	-
150	2,22	1,35	330	0,46	-
160	2,10	1,19	340	0,41	-
170	2,00	1,06	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.18, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función de la velocidad de aire para las muestras (PI3 y PI4). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la velocidad de aire entre (4-5) m/s; manteniendo constante la temperatura (50 °C) y el espesor (0,4 mm), en base a los datos de la tabla 4.23 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4-5) m/s; A_1 (50°C) vs B_1 (0,4mm)

La Figura 4.18, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI3 a temperatura 50 °C, espesor 0,4 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo 340 min y presenta 0,41 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI4 a temperatura de 50 °C, espesor de 0,4 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo de 280 min y presenta 0,17 (kg agua/kg sólido seco).

4.4.12 Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4 – 5) m/s; A_1 (60°C) y B_1 (0,4mm)

En la Tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos de las muestras (PI3 y PI4); para un tiempo de 340 minutos de la muestra PI3 y un tiempo de 280 minutos para la muestra PI4, tomando en cuenta el promedio de contenido de humedad en base seca.

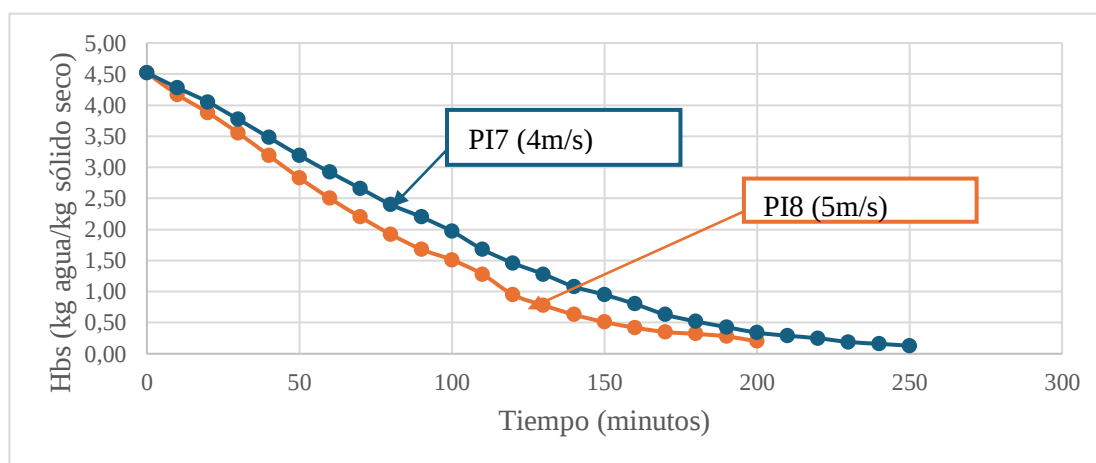
Tabla 4.24

Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4-5) m/s; A_1 (60°C) y B_1 (0,4mm)

Vel. Aire(4-5)m/s T=60 E=0,4					
tiempo	Hbs4	Hbs5	tiempo	Hbs4	Hbs5
0	4,52	4,52	130	1,28	0,78
10	4,28	4,17	140	1,08	0,63
20	4,05	3,88	150	0,95	0,51
30	3,77	3,55	160	0,80	0,42
40	3,48	3,19	170	0,63	0,35
50	3,19	2,83	180	0,52	0,32
60	2,92	2,50	190	0,43	0,28
70	2,66	2,20	200	0,34	0,20
80	2,40	1,92	210	0,29	-
90	2,20	1,68	220	0,25	-
100	1,97	1,51	230	0,19	-
110	1,68	1,28	240	0,16	-
120	1,46	0,95	250	0,13	-

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.19, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función de la velocidad de aire para las muestras (PI7 y PI8). Para tal efecto, se tomaron intervalos de tiempo de 10 minutos variando la velocidad de aire entre (4-5) m/s; manteniendo constante la temperatura (60 °C) y el espesor (0,4 mm), en base a los datos de la Tabla 4.24 extraídos del Anexo G.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Variación del contenido de humedad con la velocidad de aire C_{12} (4-5) m/s; A_1 (60°C) y B_1 (0,4mm)

La Figura 4.19, muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para la muestra PI7 a temperatura 60 °C, espesor 0,4 mm y velocidad de aire 4 m/s; con tiempo 250 min y presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco). Por otro lado, la muestra PI4 a temperatura de 60 °C, espesor de 0,4 mm y velocidad de aire 5 m/s; con tiempo de 200 min y presenta 0,2 (kg agua/kg sólido seco).

En base a la variación de la velocidad de aire las muestras con una velocidad de aire 5 m/s son las que se ven favorecidas en la disminución del tiempo de secado y contenido de humedad en base seca, donde se evidencia que la muestra PI6 a temperatura de 60 °C, espesor de 0,2 mm y velocidad de aire de 5 m/s y tiempo de 160 minutos presenta 0,13 (kg agua/kg sólido seco). Así mismo, influye la temperatura de 50 °C debido a que hay mayor tiempo de secado y contenido de humedad en base seca.

4.5 Cinética de secado para el proceso de secado en la obtención de puré de papa instantáneo

En la Tabla 4.25, se muestran los resultados obtenidos para la cinética de secado de la muestra (PI6); en condiciones de temperatura 60 °C, espesor 0,2 mm y velocidad de aire 5 m/s. Los resultados fueron obtenidos con ayuda de la ecuación (2.3) para el cálculo de masa de sólido seco y mediante regresión por Excel (2016), tomando en cuenta los siguientes datos:

- Cantidad de materia prima: 70,81 g
- Contenido de humedad: 81,88 %
- Masa de sólido seco tiempo de secado: 12,81 g = 0,01281 kg
- Área de la bandeja: 0,035 m²
- Tiempo de secado: 2,40 min

Tabla 4.25

Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de puré de papa instantáneo

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	70,71	4,52	-	-	-	-	-
10	60,93	3,76	4,14	0,167	0,76	4,55	1,41
20	54,28	3,24	3,50	0,167	0,52	3,11	0,96
30	47,00	2,67	2,95	0,167	0,57	3,41	1,05
40	40,74	2,12	2,39	0,167	0,55	3,29	1,02
50	35,02	1,61	1,86	0,167	0,51	3,05	0,94
60	29,75	1,14	1,37	0,167	0,47	2,81	0,87
70	24,37	0,75	0,94	0,167	0,39	2,33	0,72
80	18,11	0,41	0,58	0,167	0,34	2,03	0,63
90	16,57	0,29	0,35	0,167	0,12	0,72	0,22
100	15,17	0,18	0,23	0,167	0,11	0,66	0,20
110	14,07	0,10	0,14	0,167	0,08	0,48	0,15
120	13,59	0,06	0,08	0,167	0,04	0,24	0,07
130	13,39	0,04	0,05	0,167	0,02	0,12	0,04
140	13,17	0,03	0,03	0,167	0,01	0,06	0,02
150	13,16	0,03	0,03	0,167	0,00	0,00	0,00
160	12,94	0,01	0,02	0,167	0,02	0,12	0,04

Fuente: Elaboración propia

Donde:

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

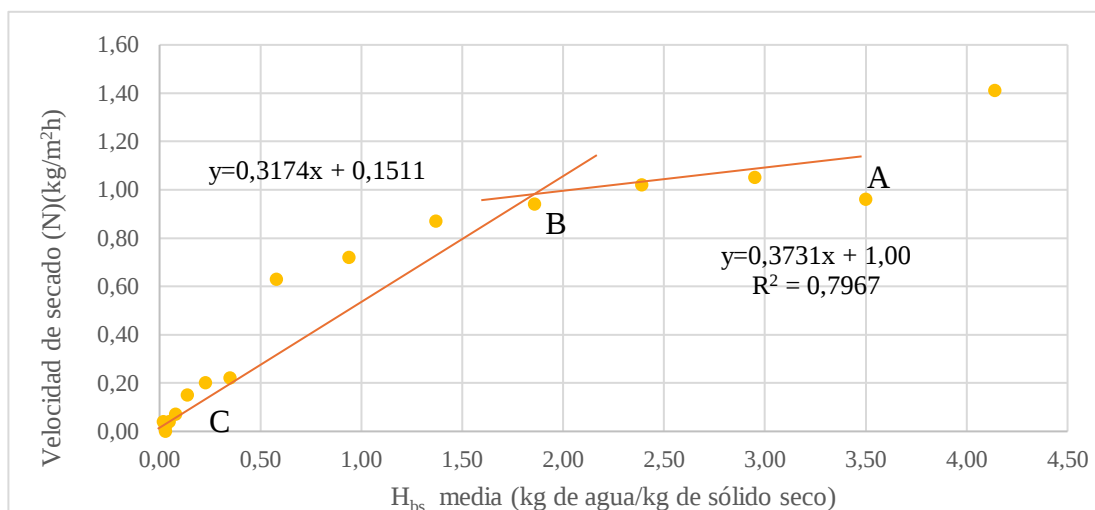
H_{bs} media = Contenido de humedad media (kg agua/kg sólido seco)

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

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

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

En la Figura 4.20, se muestra la cinética en el proceso de secado para la muestra PI6 en función de la Tabla 4.25.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Cinética en el proceso de secado para la muestra con corte de laminado de puré de papa

La Figura 4.20, muestra el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado, donde se pudo concluir que existen dos tramos distintos:

El tramo (A – B) representa el período ante-crítico donde el contenido de humedad de las muestras de puré de papa migra desde el interior hasta su superficie con una velocidad de secado constante hasta alcanzar la humedad crítica, por lo tanto, la ecuación matemática con coeficiente de regresión R^2 (0,7967) se describe en la ecuación 4.2.

$$y = 0,3731x + 1,00 \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

El tramo (B – C) representa el período pos-crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad de las muestras de puré de papa alcanza el equilibrio, logrando un secado total en la superficie, por lo tanto, la ecuación matemática con un coeficiente de regresión R^2 (0,8582) se describe en la ecuación 4.3.

$$y = 0,3174x + 0,1511 \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

4.6 Caracterización del puré de papa instantáneo

Para la caracterización del puré de papa instantáneo se tomaron en cuenta los siguientes análisis: fisicoquímicos, microbiológicos y minerales, los cuales se detallan a continuación:

4.6.1 Análisis fisicoquímico del puré de papa instantáneo

En la Tabla 4.26, se muestran los resultados de análisis fisicoquímicos del puré de papa instantáneo de datos extraídos del (Anexo A2).

Tabla 4.26

Análisis fisicoquímicos del puré de papa instantáneo		
Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,43
Fibra	%	0,90
Grasa	%	0,61
Hidratos de carbono	%	87,14
Humedad	%	5,67
Proteína total (Nx6,25)	%	5,54
Valor energético	Kcal/100g	375

Fuente: CEANID, 2025

La Tabla 4.26, muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del puré de papa instantáneo que contiene: Cenizas 1.43 %; Fibra 0,90 %; Grasa 0,61 %; Hidratos de carbono 87,14 %; Humedad 5,67 %; Proteína total 5,54 % y Valor energético 375 kcal/100g.

4.6.2 Análisis microbiológico del puré de papa instantáneo

En la Tabla 4.27, se muestran los resultados de análisis microbiológicos del puré de papa instantáneo de datos extraídos del (Anexo A3).

Tabla 4.27

Análisis microbiológicos del puré de papa instantáneo

Microorganismos	Unidad	Resultados
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Echerichia coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.27, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del puré de papa instantáneo que contiene: Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Echerichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g.

4.6.3 Análisis de minerales del puré de papa instantáneo

En la Tabla 4.28, se muestran los resultados de análisis de minerales del puré de papa instantáneo de datos extraídos del (Anexo A3).

Tabla 4.28

Análisis de minerales del puré de papa instantáneo

Parámetros	Unidad	Resultados
Potasio	mg/kg	478,5
Fósforo	mg/kg	4,5

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 4.28, se muestran los resultados obtenidos de los análisis minerales del puré de papa instantáneo que contiene: Potasio 478,5 mg/kg y fósforo 4,5 mg/kg.

4.7 Evaluación sensorial de las muestras puré de papa instantáneo para elegir la dosificación de la mezcla

En base a las muestras (MP1, MP2 y MP3), se procedió a la dosificación de la mezcla de puré de papa instantáneo que contiene leche en polvo y cúrcuma en polvo con diferentes porcentajes en cada una de las muestras cómo se detalla en la Tabla 4.29. Seguidamente se procedió a realizar una evaluación sensorial para los atributos: color,

olor, textura, sabor y apariencia, utilizando 20 jueces no entrenados en la escala hedónica de cinco puntos.

Tabla 4.29

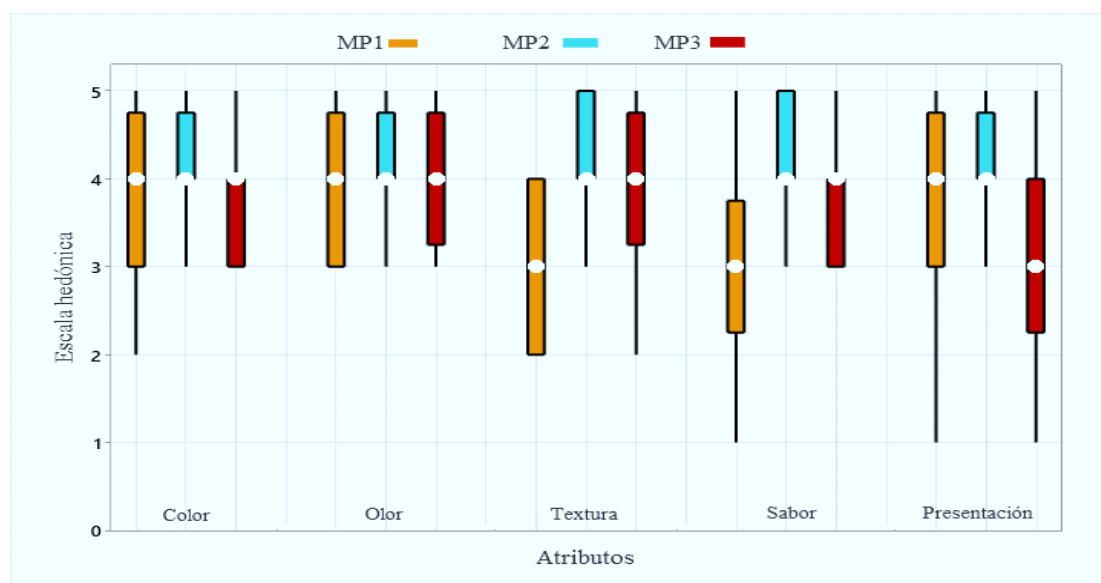
Dosificación de los insumos para la mezcla puré de papa instantáneo

Insumos	MP1	MP2	MP3
Leche en polvo	0%	0,050%.	0,050%
Cúrcuma (polvo)	0,001%	0,002%	0,007%

Fuente: Elaboración propia

4.7.1 Estadístico caja y bigote de los atributos color, olor, textura, sabor y presentación para las muestras puré de papa instantáneo

En la Figura 4.21, se muestran los resultados de caja y bigote de los atributos color, olor, textura, sabor y presentación de las muestras para puré de papa instantáneo para elegir la dosificación de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Caja y bigote del atributo color, olor, textura, sabor y presentación para las muestras puré de papa instantáneo

Podemos observar en la Figura 4.21, que la muestra MP2 es de mayor aceptación por los jueces para los atributos color, olor, textura, sabor y presentación por lo que existe un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Así mismo dos de ellos fueron de mayor relevancia:

atributo textura con datos por encima de la mediana (4,0) y el atributo sabor con datos por encima de la mediana (4,0).

4.8 Ficha técnica del puré de papa instantáneo

En el Cuadro 4.1 se muestra la ficha técnica con la descripción del puré de papa instantáneo, según (Maggi, 2024)

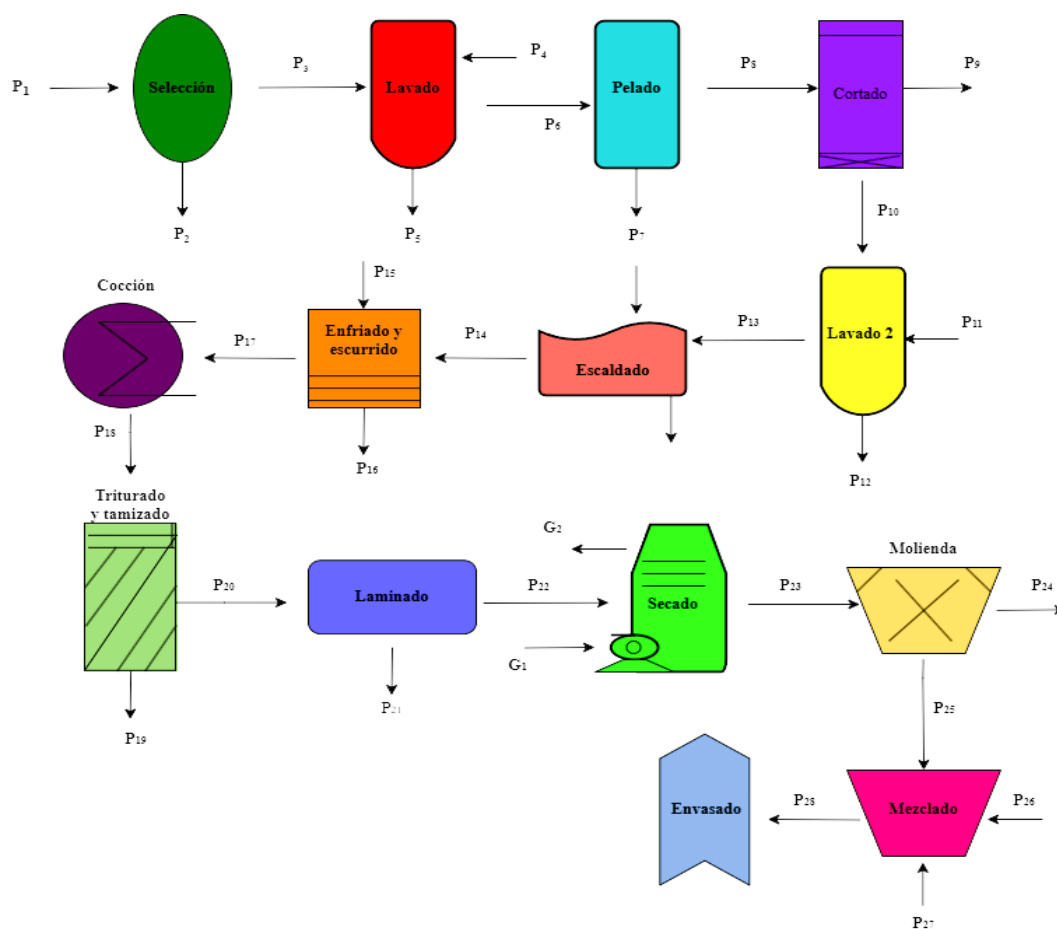
Cuadro 4.1

Ficha técnica																				
ARTÍCULO:	Puré de papa instantáneo																			
Lista de ingredientes																				
Descripción: Puré de papa instantáneo de la variedad Desiré																				
Ingredientes: Papas deshidratadas (99,48%), LECHE entera en polvo (0,50%) y cúrcuma en polvo (0,02%).																				
Modo de Preparación:																				
1. Verter en una olla 500ml de agua recién hervida, sal y mantequilla y revolver hasta que se derrita																				
2. Verter 200 ml de leche fría y revolver																				
3. Añadir el puré 125g junto a la mezcla y revolver con una cuchara suave y continuamente.																				
<table><tr><th>Ingredientes</th><th>Cantidad</th><th>Unidad</th></tr><tr><td>Agua hervida</td><td>500</td><td>ml</td></tr><tr><td>Leche semidescremada</td><td>200</td><td>ml</td></tr><tr><td>Sal</td><td>4</td><td>g</td></tr><tr><td>Mantequilla</td><td>25</td><td>g</td></tr><tr><td>Puré de papa</td><td>125</td><td>g</td></tr></table>			Ingredientes	Cantidad	Unidad	Agua hervida	500	ml	Leche semidescremada	200	ml	Sal	4	g	Mantequilla	25	g	Puré de papa	125	g
Ingredientes	Cantidad	Unidad																		
Agua hervida	500	ml																		
Leche semidescremada	200	ml																		
Sal	4	g																		
Mantequilla	25	g																		
Puré de papa	125	g																		
Valores nutricionales																				
		por 100g																		
	Valor energético (Kcal)	375																		
	Grasas (g)	0,61																		
	Hidratos de carbono (g)	87,14																		
	Fibra (g)	0,90																		
	Proteínas (g)	5,24																		
	Sal (g)	4,5																		

Fuente: Elaboración propia

4.9 Balance de materia en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo

El balance de materia del proceso de obtención de puré de papa instantáneo se realizó para una base de cálculo 1000,00g de papa variedad *Desiré* y para su resolución se realizó de acuerdo al diagrama de flujo Figura 4.22.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Balance de materia en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo

Donde:

P_1 = Papa (g)

X_1^A = Fracción de papa aceptada

X_1^R = Fracción de papa rechazada

P_2 = Papa no seleccionada (g)

X_2^A = Fracción de papa aceptada no seleccionada

X_2^R = Fracción de papa rechazada no seleccionada

P_3 = Papa seleccionada (g)

X_3^A = Fracción de papa aceptada seleccionada

X_3^R = Fracción de papa rechazada seleccionada

X_3^H = Fracción húmeda de la papa

X_3^S = Fracción de sólidos soluble de la papa

P_4 = Agua potable (g)

X_4^A = Fracción de agua en el agua

P_5 = Agua residual del lavado (g)

X_5^A = Fracción de agua en el agua residual de lavado

X_5^I = Fracción de impurezas en el agua residual de lavado

P_6 = Papa lavada (g)

X_6^H = Fracción de humedad de la papa lavada

X_6^S = Fracción de sólidos solubles de la papa lavada

X_6^{AD} = Fracción de agua adherida en la papa lavada

X_6^{PC} = Fracción de porción comestible de la papa

X_6^{PNC} = Fracción de porción no comestible de la papa

P_7 = Porción no comestible de la papa (g)

X_7^{PC} = Fracción de porción comestible en la porción no comestible de la papa

X_7^{PNC} = Fracción de porción no comestible en la porción no comestible de la papa

P_8 = Porción comestible de la papa (g)

X_8^{PC} = Fracción de porción comestible en la porción comestible de la papa

X_8^{PNC} = Fracción de porción no comestible en la porción comestible de la papa

X_8^{RA} = Fracción de rodajas de papa aceptadas en el cortado

X_8^{RR} = Fracción de rodajas de papa rechazadas en el cortado

P_9 = Rodajas de papa rechazadas (g)

X_9^A = Fracción de rodajas de papa aceptadas en el cortado

X_9^R = Fracción de rodajas de papa rechazadas en el cortado

P_{10} = Rodajas de papa en el cortado (g)

X_{10}^A = Fracción de rodajas de papa aceptadas en las rodajas de papa en el cortado

X_{10}^R = Fracción de rodajas de papa rechazadas en las rodajas de papa en el cortado

X_{10}^H = Fracción de humedad en las rodajas de papa

X_{10}^S = Fracción de sólidos solubles en las rodajas de papa

P_{11} = Agua potable (g)

X_{11}^A = Fracción de agua en el agua

P_{12} = Agua residual del lavado de rodajas de papa (g)

X_{12}^A = Fracción de agua residual en el lavado de rodajas de papa

X_{12}^I = Fracción de impurezas en el lavado de rodajas de papa

P_{13} = Rodajas de papa lavadas (g)

X_{13}^H = Fracción de humedad en las rodajas de papa lavada

X_{13}^S = Fracción de sólidos solubles en las rodajas de papa lavada

X_{13}^{AD} = Fracción de agua adherida en las rodajas de papa lavada

P_{14} = Rodajas de papa escaldadas (g)

P_{15} = Solución de agua potable y hielo (g)

X_{15}^A = Fracción de la solución de agua potable y hielo

P_{16} = Agua residual en el enfriamiento y escurrido (g)

X_{16}^A = Fracción de agua residual en el enfriamiento y escurrido

P_{17} = Rodajas de papa escurrida

X_{17}^H = Fracción de humedad en las rodajas de papa escurridas

X_{17}^S = Fracción de sólidos soluble en las rodajas de papa escurridas

X_{17}^{AD} = Fracción de agua adherida en las rodajas de papa escurridas

P_{18} = Rodajas de papa cocidas (g)

P_{19} = Pérdidas en el triturado y tamizado (g)

P_{20} = Puré de papa (g)

P_{21} = Pérdidas en el laminado (g)

P_{22} = Puré de papa laminada (g)

X_{22}^H = Fracción de humedad del puré de papa

X_{22}^S = Fracción de sólidos solubles del puré de papa

P_{23} = Lámina de puré de papa seco (g)

X_{23}^H = Fracción de humedad en la lámina de puré de papa seco

X_{23}^S = Fracción de sólidos solubles en la lámina de puré de papa seco

X_{p23} = Porcentaje en la lámina de puré de papa seco

P_{24} = Pérdidas en la molienda (g)

X_{p24} = Porcentaje de pérdidas en la molienda

P_{25} = Puré de papa seco molido (g)

X_{p25} = Porcentaje de puré de papa seco molido

P_{26} = Leche en polvo (g)

P_{27} = Cúrcuma en polvo (g)

P_{28} = Mezcla del puré de papa instantáneo (g)

X_{28}^{PS} = Fracción de puré de papa seco en la mezcla

X_{28}^{LP} = Fracción de leche en polvo en la mezcla

X_{28}^{CP} = Fracción de cúrcuma en polvo en la mezcla

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

G_2 = Cantidad de masa de agua evaporada (g)

H_{p22} = Entalpía del puré de papa en la entrada del secador (kJ/kg sólido seco)

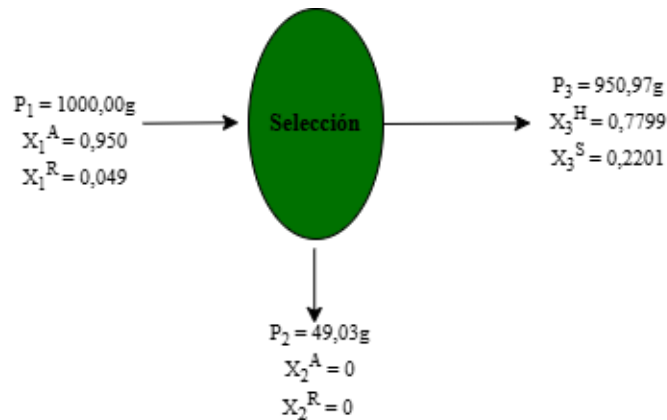
H_{p23} = Entalpía del puré de papa en la salida del secador (kJ/kg sólido seco)

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

H_{G2} = Entalpía del aire seco de salida del secador (kJ/kg sólido seco)

4.9.1 Balance de material en la etapa de selección

En la Figura 4.23, se muestra el balance de materia en la etapa de selección con una cantidad de 1000,00 g de papa, 49,03g de papa no útil y 950,97g de papa útil en el proceso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Balance de materia en la etapa de selección

Balance general de materia en la etapa de selección

$$P_1 = P_2 + P_3 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Balance parcial para la porción de papa aceptada

$$P_1 X_1^A = P_2 X_2^A + P_3 X_3^A \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Despejamos X_1^A de la ecuación 4.5, se obtiene:

$$P_1 X_1^A = \cancel{P_2 X_2^A} + P_3 X_3^A$$

$$X_1^A = \frac{P_3 X_3^A}{P_1}$$

$$X_1^A = \frac{950,97g \cdot 1}{1000,00g}$$

$X_1^A = 0,95$ fracción de la porción de papa aceptada

Balance parcial para la porción de papa rechazada

$$P_1 X_1^R = P_2 X_2^R + P_3 X_3^R$$

Despejamos X_1^R de la ecuación 4.5, se obtiene:

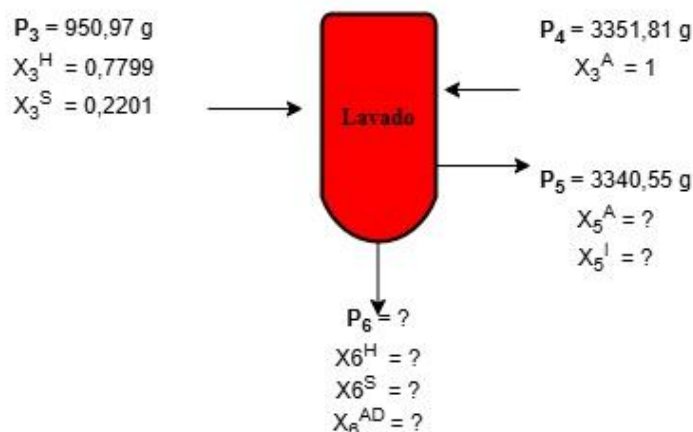
$$P_1 X_1^R = P_2 X_2^R + \cancel{P_3 X_3^R}$$

$$X_1^R = \frac{P_2 X_2^R}{P_1}$$

$X_1^R = 0,05$ fracción de porción de papa rechazada

4.9.2 Balance de materia en la etapa de lavado

En la Figura 4.24, se muestra el balance de materia de la etapa de lavado en la cual se realizó con 3351,81 g de agua potable para el lavado de 950,97 g de papa con una humedad inicial en base humedad 77,99 % (CEANID, 2024).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Balance de materia en etapa de lavado

Balance general de materia en la etapa de lavado

$$P_3 + P_4 = P_5 + P_6 \quad \text{(Ecuación 4.6)}$$

Despejamos P_6 de la ecuación 4.6 y reemplazando valores se obtiene:

$$P_6 = P_3 + P_4 - P_5$$

$$P_6 = 950,97\text{g} + 3351,81\text{g} - 3340,55\text{g}$$

$$P_6 = 962,23\text{g papa lavada}$$

Balance parcial de materia de la fracción sólido soluble de la papa

$$P_3 X_3^S + P_4 X_4^S = P_5 X_5^S + P_6 X_6^S \quad \text{(Ecuación 4.7)}$$

Despejamos X_6^S de la ecuación 4.7, se obtiene:

$$P_3 X_3^S + \cancel{P_4 X_4^S} = \cancel{P_5 X_5^S} + P_6 X_6^S$$

$$P_3 X_3^S = P_6 X_6^S$$

$$X_6^S = \frac{P_3 X_3^S}{P_6}$$

$$X_6^S = \frac{950,57\text{g} * 0,2201}{962,23\text{g}} = 0,2175\text{g fracción sólido soluble de la papa lavada}$$

Balance parcial de materia de la fracción húmeda de la papa lavada

$$P_3 X_3^H + P_4 X_4^H = P_5 X_5^H + P_6 X_6^H \quad \text{(Ecuación 4.8)}$$

Despejamos X_6^H de la ecuación 4.8, se obtiene:

$$P_3 X_3^H + \cancel{P_4 X_4^H} = \cancel{P_5 X_5^H} + P_6 X_6^H$$

$$P_3 X_3^H = P_6 X_6^H$$

$$X_6^H = \frac{P_3 X_3^H}{P_6}$$

$$X_6^H = \frac{950,57\text{g} * 0,7799}{962,23\text{g}} = 0,7707\text{g fracción húmeda de la papa lavada}$$

Cálculo de la fracción X_6^{AD} de agua adherida en la etapa de lavado

$$X_6^{AD} = 1 - X_6^H - X_6^S \quad \text{(Ecuación 4.9)}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$X_6^{AD} = 1 - 0,7707 - 0,2175$$

$$X_6^{AD} = 0,0118 \text{ fracción de agua adherida en la papa lavada}$$

Balance parcial de materia de la fracción de agua en la etapa de lavado

$$P_3 X_3^A + P_4 X_4^A = P_5 X_5^A + P_6 X_6^A \quad \text{(Ecuación 4.10)}$$

Despejamos X_5^A de la ecuación 4.10, se obtiene:

$$P_3 X_3^A + P_4 X_4^A = P_5 X_5^A + P_6 X_6^A$$

$$P_4 X_4^A = P_5 X_5^A + P_6 X_6^A$$

$$X_5^A = \frac{P_4 X_4^A - P_6 X_6^A}{P_5}$$

$$X_5^A = \frac{(3351,81g \cdot 1) - (962,23g \cdot 0,0118)}{3340,55g} = 0,9999 \text{ fracción de agua residual}$$

Cálculo para la fracción X_5^I de impureza en el agua residual

$$X_5^I = 1 - X_5^A$$

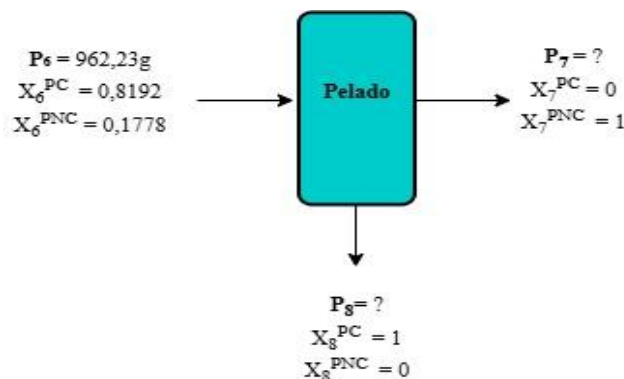
Reemplazando valores se obtiene:

$$X_5^I = 1 - 0,9999$$

$$X_5^I = 0,0001 \text{ fracción de impureza en el agua residual}$$

4.9.3 Balance de materia en la etapa de pelado

En la Figura 4.25, se muestra el balance materia en la etapa de pelado para lo cual se realizó con 962,23 g de papa limpia y tomando en cuenta: porción de papa comestible 81,92 % (PC) y porción de papa no comestible 17,78 % (PNC) datos extraídos de la Tabla 4.1 (Anexo B).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Balance de materia en la etapa de pelado

Balance general de materia en la etapa de pelado

$$P_6 = P_7 + P_8 \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

Balance parcial de materia de la fracción de porción comestible de la papa lavada

$$P_6 X_6^{PC} = P_7 X_7^{PC} + P_8 X_8^{PC} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

Despejamos P_8 de la ecuación 4.12, se obtiene:

$$P_6 X_6^{PC} = \cancel{P_7 X_7^{PC}} + P_8 X_8^{PC}$$

$$P_8 = \frac{P_6 X_6^{PC}}{X_8^{PC}}$$

$$P_8 = \frac{962,23g * 0,8192}{1}$$

$P_8 = 788,26$ g porción comestible de papa

Despejamos P_7 de la ecuación, se obtiene:

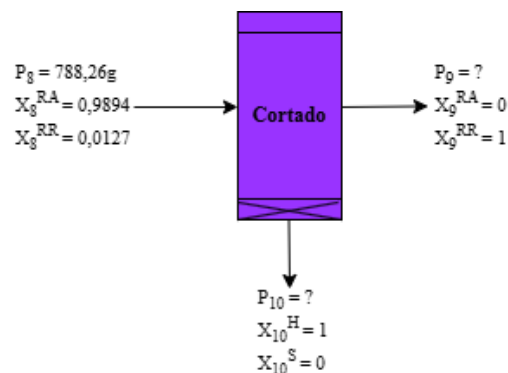
$$P_7 = P_6 + P_8 \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

$$P_7 = 962,23g + 788,258g$$

$P_7 = 173,97$ g de porción no comestible de papa

4.9.4 Balance de materia general en la etapa de cortado

En la Figura 4.26, se muestra el balance de materia en la etapa de cortado que se realizó pesando 788,26 g de papa y tomando en cuenta datos de la Tabla 4.2 en donde: rodajas aceptadas 98,94 % (RA) y rodajas aceptadas 1,27 % (RR).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Balance de materia en la etapa de cortado

Balance general de materia en la etapa de cortado

$$P_8 = P_9 + P_{10} \quad \text{(Ecuación 4.14)}$$

Balance parcial de materia de la fracción de rodajas aceptadas

$$P_8 X_8^{RA} = P_9 X_9^{RA} + P_{10} X_{10}^{RA} \quad \text{(Ecuación 4.15)}$$

Despejamos P_{10} de la ecuación 4.15, se obtiene:

$$P_8 X_8^{RA} = \cancel{P_9 X_9^{RA}} + P_{10} X_{10}^{RA}$$

$$P_{10} = \frac{P_8 X_8^{RA}}{X_{10}^{RA}}$$

$$P_{10} = \frac{788,26g * 0,9894}{1}$$

$$P_{10} = 779,90g \text{ de rodajas de papa}$$

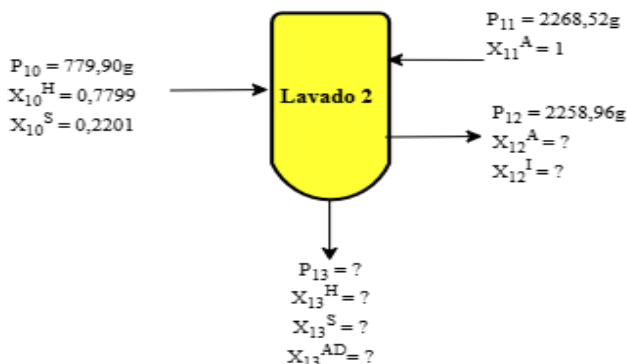
Despejamos P_9 de la ecuación 4.14, se obtiene:

$$P_9 = P_8 - P_{10}$$

$$P_9 = 788,26g - 779,90g = 8,36g \text{ de rodajas rechazadas de papa}$$

4.9.5 Balance de materia en la etapa de lavado de las rodajas de papa

En la Figura 4.27, se muestra el balance de materia en la etapa de lavado de las rodajas de papa en la cual se realizó con 2268,52g de agua potable para el lavado de 779,90g de rodajas de papa con una humedad inicial en base húmeda 77,99% (CEANID,2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Balance de materia en la etapa de lavado rodajas de papa

Balance general de materia en la etapa de lavado de rodajas de papa

$$P_{10} + P_{11} = P_{12} + P_{13} \quad (\text{Ecuación 4.16})$$

Despejamos P_{13} de la ecuación 4.16, se obtiene:

$$P_{13} = P_{10} + P_{11} - P_{12} \quad (\text{Ecuación 4.17})$$

$$P_{13} = 779,90\text{g} + 2268,52\text{g} - 2258,96\text{g}$$

$$P_{13} = 789,46\text{g de rodajas de papa lavada}$$

Balance parcial de materia de la fracción sólido soluble de rodajas de papa lavada

$$P_{10} X_{10}^S + P_{11} X_{11}^S = P_{12} X_{12}^S + P_{13} X_{13}^S \quad (\text{Ecuación 4.18})$$

Despejamos X_{13}^S de la ecuación 4.18, se obtiene:

$$P_{10} X_{10}^S + \cancel{P_{11} X_{11}^S} = \cancel{P_{12} X_{12}^S} + P_{13} X_{13}^S$$

$$X_{13}^S = \frac{P_{11} X_{11}^S}{P_{13}}$$

$$X_{13}^S = \frac{779,90\text{g} * 0,2201}{789,46\text{g}}$$

$$X_{13}^S = 0,217 \text{ fracción sólido soluble de rodajas de papa en el lavado}$$

Balance parcial de materia de la fracción húmeda de rodajas de papa lavada

$$P_{10} X_{10}^H + P_{11} X_{11}^H = P_{12} X_{12}^H + P_{13} X_{13}^H \quad (\text{Ecuación 4.19})$$

Despejamos X_{13}^H de la ecuación 4.19, se obtiene:

$$P_{10} X_{10}^H + \cancel{P_{11} X_{11}^H} = \cancel{P_{12} X_{12}^H} + P_{13} X_{13}^H$$

$$X_{13}^H = \frac{P_{11} X_{11}^H}{P_{13}}$$

$$X_{13}^H = \frac{779,90\text{g} * 0,7799}{789,46\text{g}}$$

$$X_{13}^H = 0,770 \text{ fracción húmeda de rodajas de papa en el lavado}$$

Cálculo para la fracción X_{13}^{AD} agua adherida a las rodajas de papa en el lavado

$$X_{13}^{AD} = 1 - X_{13}^H - X_{13}^S$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$X_{13}^{AD} = 1 - 0,770 - 0,217$$

$$X_{13}^{AD} = 0,02 \text{ fracción de agua adherida en las rodajas de papa lavada}$$

Balance parcial de materia de la fracción de agua en la etapa de lavado de rodajas de papa

$$P_{10} X_{10}^A + P_{11} X_{11}^A = P_{12} X_{12}^A + P_{13} X_{13}^A \quad \text{(Ecuación 4.20)}$$

Despejamos X_{12}^A de la ecuación 4.20, se obtiene:

$$\cancel{P_{10} X_{10}^A} + P_{11} X_{11}^A = P_{12} X_{12}^A + P_{13} X_{13}^A$$

$$P_{11} X_{11}^A = P_{12} X_{12}^A + P_{13} X_{13}^A$$

$$X_{12}^A = \frac{P_{11} X_{11}^A - P_{13} X_{13}^A}{P_{12}}$$

$$X_{12}^A = \frac{(2268,52g \cdot 1) - (789,42g \cdot 0,02)}{2252,87g} = 0,999 \text{ fracción de agua residual}$$

Cálculo para la fracción X_{12}^I de impureza en el agua residual

$$X_{12}^I = 1 - X_{12}^A$$

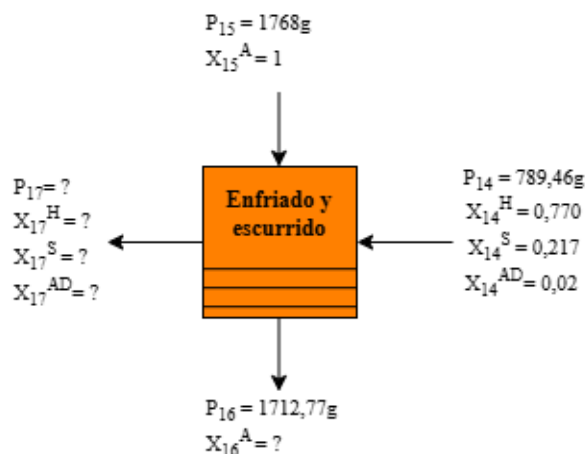
Reemplazando valores se obtiene:

$$X_{12}^I = 1 - 0,999$$

$$X_{12}^I = 0,0001 \text{ fracción de impurezas sólidas en el agua residual}$$

4.9.6 Balance general de materia en la etapa de enfriamiento y escurrido

En la Figura 4.28, se muestra el balance de materia en la etapa de enfriamiento y escurrido que se realizó pesando 789,46g de rodajas de papa lavadas con solución de agua y hielo 1768g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Balance de materia en la etapa de enfriado y escurrido

Balance general de materia en la etapa de enfriado y escurrido

$$P_{14} + P_{15} = P_{16} + P_{17} \quad (\text{Ecuación 4.21})$$

Despejamos P_{17} de la ecuación 4.21, se obtiene:

$$P_{17} = P_{14} + P_{15} - P_{16}$$

$$P_{17} = 786,42\text{g} + 1768\text{g} - 1712,77\text{g}$$

$$P_{17} = 841,65\text{g rodajas de papa escurrida}$$

Balance parcial de materia de la fracción húmeda de rodajas de papa escurridas

$$P_{14}X_{14}^H + P_{15}X_{15}^H = P_{16}X_{16}^H + P_{17}X_{17}^H \quad (\text{Ecuación 4.22})$$

Despejamos X_{17}^H de la ecuación 4.22, se obtiene:

$$P_{14} X_{14}^H + \cancel{P_{15} X_{15}^H} = \cancel{P_{16} X_{16}^H} + P_{17} X_{17}^H$$

$$X_{17}^H = \frac{P_{14} X_{14}^H}{P_{17}}$$

$$X_{17}^H = \frac{786,42g * 0,764}{841,65g}$$

$X_{17}^H = 0,71$ fracción húmeda de rodajas de papa escurridas

Balance parcial de materia de la fracción sólido soluble de rodajas de papa escurridas

$$P_{14}X_{14}^S + P_{15}X_{15}^S = P_{16}X_{16}^S + P_{17}X_{17}^S \quad \text{(Ecuación 4.23)}$$

Despejamos X_{17}^S de la ecuación 4.23, se obtiene:

$$P_{14}X_{14}^S + \cancel{P_{15}X_{15}^S} = \cancel{P_{16}X_{16}^S} + P_{17}X_{17}^S$$

$$X_{17}^S = \frac{P_{14}X_{14}^S}{P_{17}}$$

$$X_{17}^S = \frac{786,42g * 0,216}{841,65g}$$

$X_{17}^S = 0,20$ fracción sólido soluble de rodajas de papa escurridas

Cálculo para la fracción X_{17}^{AD} agua adherida a las rodajas de papa escurridas

$$X_{17}^{AD} = 1 - X_{17}^H - X_{17}^S$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$X_{17}^{AD} = 1 - 0,71 - 0,20$$

$X_{17}^{AD} = 0,09$ fracción de agua adherida en las rodajas de papa escurridas

Balance parcial de materia de la fracción de agua residual en la etapa de enfriado y escurrido de las rodajas de papa

$$P_{14}X_{14}^{AD} + P_{15}X_{15}^{AD} = P_{16}X_{16}^{AD} + P_{17}X_{17}^{AD} \quad \text{(Ecuación 4.24)}$$

Despejamos X_{16}^A de la ecuación 4.24, se obtiene:

$$X_{16}^A = \frac{P_{14}X_{14}^A + P_{16}X_{16}^A - P_{17}X_{17}^A}{P_{16}}$$

$$X_{16}^A = \frac{(786,42g * 0,02) + (1768g * 1) - (841,65g * 0,09)}{1712,77g}$$

$X_{16}^A = 0,99$ fracción de agua residual en el escurrido

Cálculo para la fracción X_{17}^{NS} no sólida de rodajas de papa en el agua residual

$$X_{17}^{NS} = X_{17}^H - X_{17}^{AD}$$

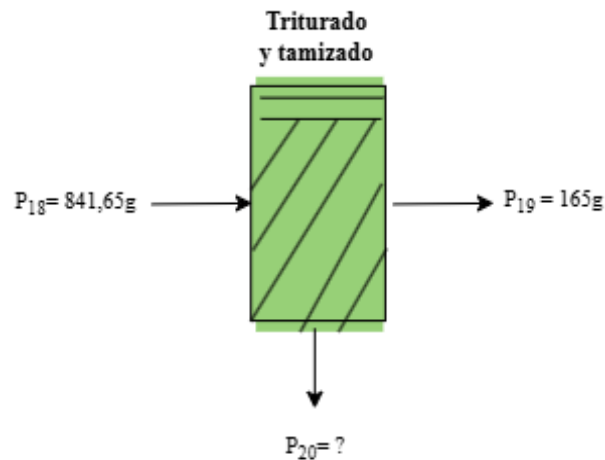
Reemplazando valores se obtiene:

$$X_{17}^{NS} = 0,71 + 0,09$$

$X_{17}^{NS} = 0,80$ fracción no sólida de rodajas de papa en el agua residual

4.9.7 Balance de materia en la etapa de triturado y tamizado

En la Figura 4.29, se muestra el balance de materia en la etapa de triturado y tamizado que se realizó con 841,65g de rodajas de papas cocidas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Balance de materia en la etapa de triturado y tamizado

Balance general de materia en la etapa de triturado y tamizado

$$P_{18} = P_{19} + P_{20} \quad \text{(Ecuación 4.25)}$$

Despejamos P_{20} de la ecuación 4.25, se obtiene:

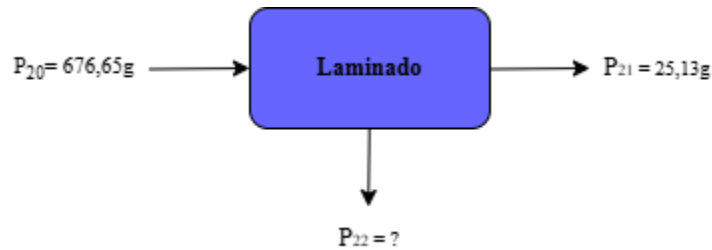
$$P_{20} = P_{18} - P_{19}$$

$$P_{20} = 841,65g - 165g$$

$P_{20} = 676,65\text{g}$ puré de papa

4.9.8 Balance de materia en la etapa de laminado

En la Figura 4.30, se muestra el balance de materia en la etapa de laminado el cual se realizó con 676,65g de puré de papa y terminado el proceso se obtuvo 651,52g de puré laminado.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.30: Balance de materia en la etapa de laminado

Balance general de materia en la etapa de laminado

$$P_{20} = P_{21} + P_{22} \quad \text{(Ecuación 4.26)}$$

Despejamos P_{22} de la ecuación 4.26, se obtiene:

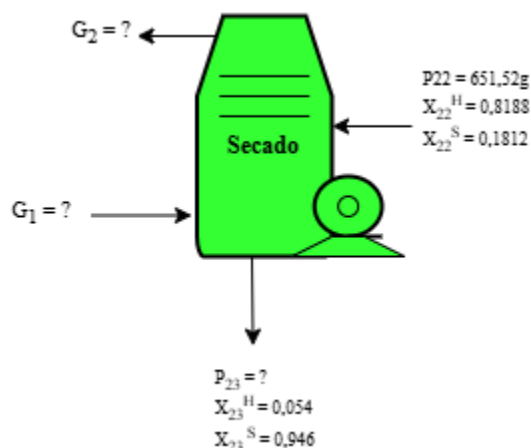
$$P_{22} = P_{20} - P_{21}$$

$$P_{22} = 676,65\text{g} - 25,13\text{g}$$

$$P_{22} = 651,52\text{g puré de papa laminada}$$

4.9.9 Balance de materia en la etapa de secado

En la Figura 4.31, se muestra balance de materia en la etapa de secado de puré de papa laminado, este proceso se realizó con 651,52g de puré de papa laminada con contenido de humedad en base húmeda 81,88% y al finalizar el proceso de secado el puré de papa laminado seco presentó 5,67% (CEANID,2024) humedad en base húmeda



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.31: Balance de materia en la etapa de secado

Balance de materia global en el proceso de secado, se tomó en cuenta la ecuación 4.27 citada por (Valiente, 2002)

$$P_{22} + G_1 = P_{23} + G_2 \quad \text{(Ecuación 4.27)}$$

Balance parcial de materia de la fracción sólido soluble en la etapa de secado

$$P_{22}X_{22}^S = P_{23}X_{23}^S \quad \text{(Ecuación 4.28)}$$

Despejamos P_{23} de la ecuación 4.28, se obtiene:

$$P_{23} = \frac{P_{22}X_{22}^S}{X_{23}^S}$$

$$P_{23} = \frac{651,52g * 0,1812}{0,946}$$

$P_{23} = 124,79g$ de puré de papa seco

Para determinar la masa de sólido seco del puré de papa a la entrada del secador se utilizó la ecuación 4.29 citada por (Valiente, 2002)

$$m_{ss} = P_{22}(1 - X_{22}^H) \quad \text{(Ecuación 4.29)}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.28, se obtiene:

$$m_{ss} = 651,52g (1 - 0,8188)$$

$m_{ss} = 118,05\text{g}$ sólido seco del puré de papa a la entrada del secador

El contenido de humedad inicial en base seca del puré de papa seco en la etapa de secado se calculó según la ecuación 4.30 citada por (Valiente, 2002)

$$X_{bs} = \frac{X_{bs}}{(1 - X_{bs})} \quad \text{(Ecuación 4.30)}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.29, se obtiene:

$$X_{bs} = \frac{0,8188}{(1 - 0,8188)}$$

$$X_{bs} = 4,52 \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

El contenido de humedad en base seca al final del proceso de secado se tomó en cuenta la ecuación 4.30.

$$X_{bs} = \frac{0,054}{(1 - 0,054)}$$

$$X_{bs} = 0,057 \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

Para determinar la cantidad de masa seca de aire seco en la etapa de secado, se tomó en cuenta la ecuación 4.31 citada por (Valiente, 2002)

$$P_{22} * X_{p22} + G_1 * Y_{G1} = P_{23} * X_{p23} + G_2 + Y_{G2} \quad \text{(Ecuación 4.31)}$$

Donde las variables:

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

$$P_{22} = P_{23} = P = \text{Caudal másico del producto (g sólido seco/h)}$$

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

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

Reemplazando valores en la ecuación

$$P * X_{p22} + G * Y_{G1} = P * X_{p23} + G + Y_{G2} \quad \text{(Ecuación 4.32)}$$

Agrupando términos semejantes en la ecuación 4.32, se obtiene:

$$P * X_{p22} - P * X_{p23} = G * Y_{G2} - G * Y_{G1} \quad \text{(Ecuación 4.33)}$$

Factorizando la ecuación 4.33, se obtiene:

$$P (X_{p22} - X_{p23}) = G (Y_{G2} - Y_{G1}) \quad \text{(Ecuación 4.34)}$$

Despejamos G de la ecuación 4.34, se obtiene:

$$G = \frac{P (X_{p22} - X_{p23})}{(Y_{G2} - Y_{G1})} \quad \text{(Ecuación 4.35)}$$

Según (SENAMHI, 2024) la altura de la ciudad de Tarija es de 1859 msnm; por lo tanto, los datos fueron introducidos al software Psychrometrics Program y los resultados se muestran en la Tabla 4.30 en base a la temperatura del bulbo seco y bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del secador.

Tabla 4.30

Propiedades psicrométricas del aire

Propiedades	Aire frío	Aire saturado
T_{bs} (°C)	22,74	40,18
T_{bh} (°C)	15,57	24,63
H_R (%)	50,42	300,78
Y (g agua/kg aire seco)	10,89	18,11
PVP (kpa)	1,39	2,29

Fuente: Elaboración propia

Donde:

PVP: Presión parcial de vapor de agua (kpa)

Y: Humedad absoluta (g agua/g aire seco)

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

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

Para una cantidad de puré de papa de 651,52 g la relación de cantidad de puré de papa seco (P_{23}) es de 118,05 g.

Por lo tanto, para calcular la cantidad de masa de aire seco se utilizó la ecuación 4.35.

$$G = \frac{118,05g * (4,52 - 0,057)}{(18,11 - 10,89)}$$

$$G = 72,95kg \text{ de aire seco}$$

Para calcular la masa de agua evaporada, se tomó en cuenta la ecuación 4.36 citada por (Valiente, 2002).

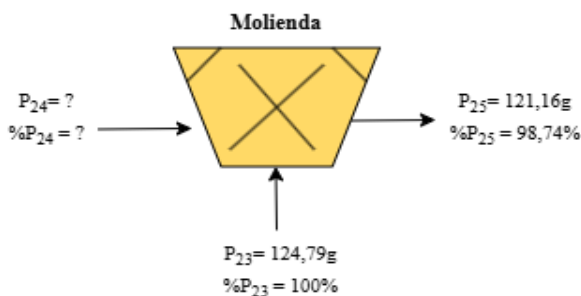
$$G_2 = (X_{p22} - X_{p23}) * m_{ss} \quad \text{(Ecuación 4.36)}$$

$$G_2 = (4,52 - 0,057) \text{ g agua/g sólido seco} * 118,05 \text{ g sólido seco}$$

$$G_2 = 526,86 \text{ g de agua evaporada}$$

4.9.10 Balance de materia en la etapa de molienda

En la Figura 4.32, se muestra el balance de materia en la etapa de molienda para lo cual se realizó con 124,79g de puré de papa seco y terminado el proceso se obtuvo 121,16g de puré de papa instantáneo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Balance de materia en la etapa de molienda

Balance general de materia en la etapa de molienda

$$P_{23} = P_{24} + P_{25} \quad \text{(Ecuación 4.37)}$$

Despejamos P_{24} de la ecuación 4.37, se obtiene:

$$P_{24} = P_{23} - P_{25}$$

$$P_{24} = 124,79 \text{ g} - 121,16 \text{ g}$$

$$P_{24} = 3,63 \text{ g pérdida en el proceso de molienda}$$

Cálculo de la cantidad de porcentaje de pérdida en el proceso de molienda

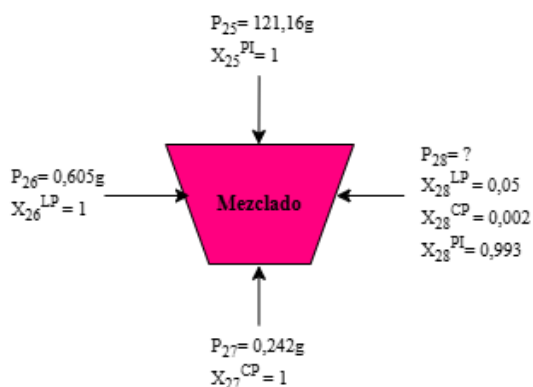
$$X_{P24} = \frac{P_{24} * 100\%}{P_{23}} \quad \text{(Ecuación 4.38)}$$

$$X_{P24} = \frac{3,63 \text{ g} * 100\%}{126,16 \text{ g}}$$

$$X_{P24} = 2,87 \% \text{ de pérdida en la etapa de molienda}$$

4.9.11 Balance de materia en la etapa de mezclado

En la Figura 4.33, se muestra el balance de materia en la etapa de mezclado el cual se realizó con 121,16 g de puré de papa instantáneo, 0,605 g de leche en polvo, 0,242 g de cúrcuma en polvo y terminando el proceso se obtuvo 122,007g de producto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Balance de materia en la etapa de mezclado

Balance general de materia en la etapa de mezclado

$$P_{25} + P_{26} + P_{27} = P_{28} \quad \text{(Ecuación 4.39)}$$

Despejamos P_{28} de la ecuación 4.39, se obtiene:

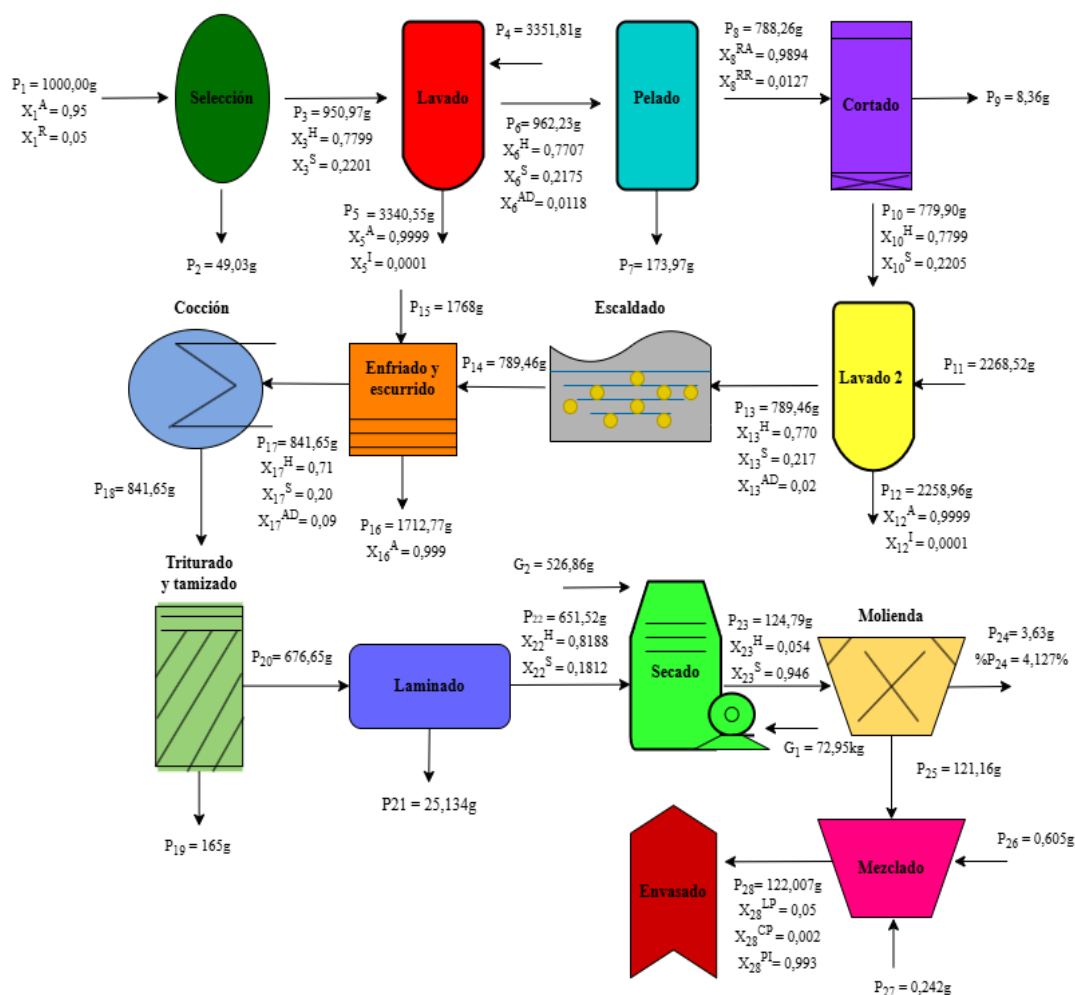
$$P_{28} = P_{25} + P_{26} + P_{27}$$

$$P_{28} = 121,161\text{g} + 0,605\text{g} + 0,242\text{g}$$

$P_{28} = 122,007\text{ g}$ de producto final

4.10 Resumen del balance general del balance de materia en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo

En la Figura 4.34, se ilustra el resumen de balance de materia para el proceso de obtención de puré de papa instantáneo para 1000,00g de papa y obtener 122,08g de puré de papa seco.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Resumen del balance general de materia en el proceso de obtención de puré de papa instantáneo

4.11 Balance de energía para la obtención de puré de papa instantáneo

El balance de energía para la obtención de puré de papa instantáneo se realizó en el proceso de escaldado, cocción, secado y molienda.

Según (Lewis. 1993) se muestra la deducción del balance general de energía para procesos de transferencia de calor:

$$Q = L_1 \Delta H$$

$$\Delta H = C_p \Delta H$$

$$Q = L_1 C_p \Delta H \quad \text{(Ecuación 4.40)}$$

Según (Lewis, 1993), el principio de conservación de la energía está dado por que se aplica en los procesos de escaldado y cocción:

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$-Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$-\sum Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$Q_T = Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{ganado}} \quad \text{(Ecuación 4.41)}$$

Para calcular el calor latente en los cambios de fase según (Lewis, 1993) es:

$$Q_1 = \Delta H L = L * \lambda \quad \text{(Ecuación 4.42)}$$

Según (Lewis, 1993), se manifiesta que si se conoce la composición fisicoquímica el alimento se puede utilizar para calcular las capacidades caloríficas, como se detalla en la ecuación 4.43:

$$C_p = X_W C_W + X_C C_C + X_P C_P + X_F C_F + X_A C_A \quad \text{(Ecuación 4.43)}$$

Donde:

X_W = Fracción en peso del agua

X_C = Fracción en peso de carbohidratos

X_P = Fracción en peso de proteína

X_F = Fracción en peso de grasa

X_A = Fracción en peso de cenizas

Las capacidades caloríficas en función a la composición fisicoquímica de los alimentos se detallan en la Tabla 4.31 para los procesos de escaldado y cocción.

Tabla 4.31

Capacidad calorífica en función a la composición de los alimentos

Calor específico	Valor kj/kg°C
C_W (agua)	4,18
C_C (carbohidratos)	1,42
C_P (proteína)	1,55
C_F (grasa)	1,67
C_A (ceniza)	0,84

Fuente: Hallstrom, 1988

En la Tabla 4.32, se observa los resultados de la composición fisicoquímico de la papa variedad *Desiré* de datos extraídos (Anexo A).

Tabla 4.32

Resultados de la composición fisicoquímica de la papa

Parámetros	Símbolo	Resultados
Ceniza	X_A	0,0103
Grasa	X_F	0,0002
Carbohidratos	X_C	0,1922
Humedad	X_W	0,7799
Proteína	X_P	0,0156

Fuente: CEANID, 2024

Para determinar el calor específico de la papa C_p , se tomó en cuenta la ecuación 4.43, citado por (Lewis, 1993).

$$C_p = X_W C_W + X_C C_C + X_P C_P + X_F C_F + X_A C_A$$

$$C_p = (0,7799 \cdot 4,18) + (0,1922 \cdot 1,42) + (0,0156 \cdot 1,55) + (0,0002 \cdot 1,67) + (0,0103 \cdot 0,84)$$

$$C_p = 3,57 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \text{ calor específico de la papa variedad } Desiré.$$

En la Tabla 4.33, se puede observar la capacidad calorífica del agua, aluminio y acero inoxidable del recipiente.

Tabla 4.33

Capacidad calorífica de acero inoxidable, aluminio y agua		
Capacidad calorífica	Unidad	Valor
Aluminio	Kj/kg°C	0,920
Acero inoxidable	Kj/kg°C	0,502
Agua	Kj/kg°C	1,184

Fuente: Hallstrom, 1988

En la Tabla 4.34, se puede observar las entalpías de vaporización en función a la temperatura (90 – 92) °C para el agua saturada.

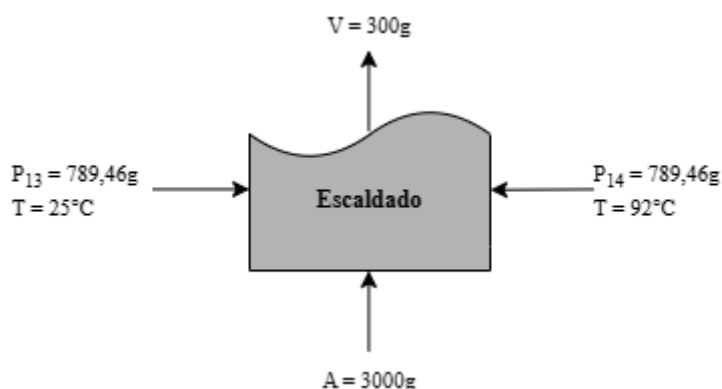
Tabla 4.34

Entalpia de vaporización de agua saturada		
Temperatura	Unidad	Entalpia de vaporización
90 °C	kj/kg°C	2660,1
92 °C	kj/kg°C	2663,28

Fuente: Renedo, 1972

4.11.1 Balance de energía en el proceso de escaldado

En la Figura 4.35, se muestra el balance de energía en la etapa de escaldado de la muestra de rodajas de papa.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.35: Balance de energía en el proceso de escaldado

Balance de energía en el proceso de escaldado, se describe la ecuación 4.44.

$$Q = m * C_{p_p} * (T_f - T_i) + m * \lambda_v \quad \text{(Ecuación 4.44)}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.44, se obtiene:

$$Q = 0,78946 \text{ kg} * 3,57 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (92 - 25) ^\circ\text{C} + 0\text{kg} * 2663,28\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q = 188,83 \text{ kJ}$$

Para el calor requerido para calentar el recipiente se tomó en cuenta la ecuación 4.45

$$m_{\text{recipiente}} = 1,557 \text{ kg}$$

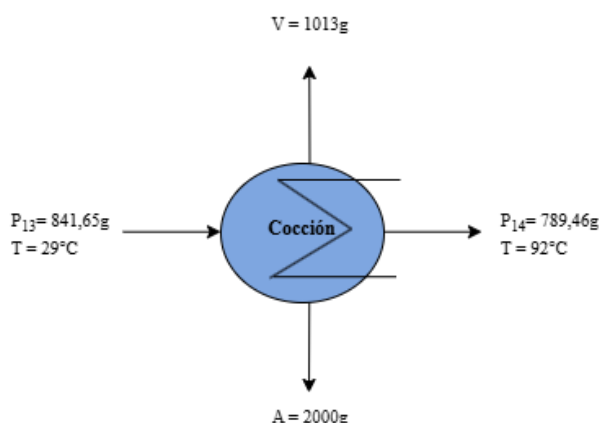
$$Q_{\text{recipiente}} = m_{\text{recipiente}} * C_{p_{\text{recipiente}}} * (T_f - T_i) \quad \text{(Ecuación 4.45)}$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 1,557 \text{ kg} * 0,920\text{kJ/kg}^\circ\text{C} (92 - 25) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 95,97 \text{ kJ}$$

4.11.2 Balance de energía en el proceso de cocción

En la Figura 4.36, se muestra el balance de energía en la etapa de cocción de las rodajas de papa con una cantidad de 841,65g.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.36: Balance de energía en el proceso de cocción

Balance de energía en el proceso de coccion, donde se describe la ecuación 4.46.

$$Q = m * C_{pA} * (T_f - T_i) + m * \lambda_v \quad \text{(Ecuación 4.46)}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.46, se obtiene:

$$Q = 0,84165 \text{ kg} * 3,57 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (92 - 29) ^\circ\text{C} + 1,013\text{kg} * 2663,28\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q = 2887,20\text{kJ}$$

Para el calor requerido para calentar el recipiente, se tomó en cuenta la ecuación 4.47

$$m_{\text{recipiente}} = 1,834 \text{ kg}$$

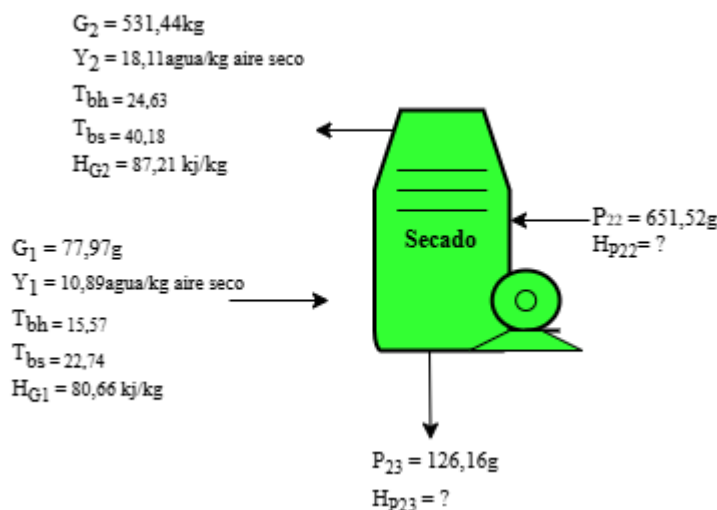
$$Q_{\text{recipiente}} = m_{\text{recipiente}} * C_{p\text{recipiente}} * (T_f - T_i) \quad \text{(Ecuación 4.47)}$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 1,834 \text{ kg} * 0,920\text{kJ/kg}^\circ\text{C} (92 - 29) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{recipiente}} = 106,298\text{kJ}$$

4.11.3 Balance de energía en el proceso de secado

En la Figura 4.37, se muestra el balance de energía en la etapa de secado de la muestra de puré de papa, tomando en cuenta los factores de temperatura (60°), velocidad de aire (5m/s) y espesor (0,2mm).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Balance de energía en la etapa de secado puré de papa

Balance de materia y energía combinado en el proceso de secado, se describe en la ecuación 4.48 (Valiente, 2002).

$$P_{22} * H_{22} + G_1 * H_{G1} + Q_p = P_{23} * H_{23} + G_2 * H_{G2} \quad \text{(Ecuación 4.48)}$$

Donde las variables:

P_{22} = Cantidad de puré de papa a la entrada del secador (g)

P_{23} = Cantidad de puré de papa 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_{p22} = Entalpia del puré de papa a la entrada del secador (kJ/kg sólido seco)

H_{p23} = Entalpia del puré de papa a la salida del secador (kJ/kg sólido seco)

H_{G1} = Entalpia del aire seco de entrada del 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 valores en la ecuación 4.48, se obtiene la ecuación 4.49:

$$P * H_{22} + G * H_{G1} + Q_p = P * H_{23} + G * H_{G2} \quad \text{(Ecuación 4.49)}$$

Despejando Q_p de la ecuación 4.49, se obtiene la ecuación 4.50:

$$Q_p = P * H_{23} + G * H_{G2} - P * H_{22} + G * H_{G1} \quad \text{(Ecuación 4.50)}$$

Ordenando las variables de la ecuación 4.50, se obtiene 4.51:

$$Q_p = G (H_{G2} - H_{G1}) + P (H_{23} - H_{22}) \quad \text{(Ecuación 4.51)}$$

Para calcular la entalpia del producto, se tiene la ecuación 4.52:

$$H_p = C_p (T_p - T_0) + X_p C_{px} (T_p - T_0) \quad \text{(Ecuación 4.52)}$$

Donde:

H_p = Entalpia del producto (kJ/kg aire seco)

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

T_p = Temperatura del producto (°C)

T_0 = Temperatura de referencia (°C)

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

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

Para determinar el calor específico de la papa C_p , se tomó en cuenta la ecuación 4.42, citado por (Lewis, 1993).

En la Tabla 4.28, se muestran los valores del calor específico: agua, proteínas, carbohidratos, grasas y cenizas.

En la Tabla 4.29, se muestran los valores de la composición fisicoquímica de la papa

Reemplazando los valores en la ecuación 4.52, se obtiene:

$$C_p = (0,7799 * 4,18) + (0,1922 * 1,42) + (0,0156 * 1,55) + (0,0002 * 1,67) + (0,0103 * 0,84)$$

$$C_p = 3,57 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.51 y reemplazando datos se obtiene la entalpia de la papa a la entrada del secador de bandejas:

$$H_{p22} = C_p (T_p - T_0) + X_p C_{px} (T_p - T_0)$$

$$H_{p22} = 3,57 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (20-0)^\circ\text{C} + 4,52 * 4,184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (20-0)^\circ\text{C}$$

$$H_{p22} = 449,63 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Para calcular el calor específico del puré de papa instantáneo, se tomó en cuenta los datos de la Tabla 4.35.

Tabla 4.35

Datos de la composición fisicoquímica de puré de papa instantáneo

Parámetros	Símbolo	Resultado
Carbohidratos	X_C	0,8714
Proteína	X_P	0,0524
Grasa	X_F	$6,1 \times 10^{-3}$
Ceniza	X_A	0,0143
Humedad	X_W	0,0567

Fuente: CEANID, 2025

Por tanto, reemplazando datos de la Tabla 4.35 en la ecuación 4.52, se obtiene:

$$C_{pp23} = (0,0567 * 4,18) + (0,814 * 1,42) + (0,0524 * 1,55) + (6,1 \times 10^{-3} * 1,67) + (0,0143 * 0,84)$$

$$C_{pp23} = 1,58 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.52 y reemplazando datos se obtiene la entalpia del puré de papa instantáneo a la entrada del secador de bandejas:

$$H_{p23} = C_p (T_p - T_0) + X_p C_{px} (T_p - T_0)$$

$$H_{p23} = 1,58 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (40-0)^\circ\text{C} + 0,01 * 4,184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} (40-0)^\circ\text{C}$$

$$H_{p23} = 64,87 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Tenemos los siguientes datos:

$$H_{p22} = 449,63 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$H_{p23} = 64,87 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$G = 77,96 \text{ kg aire seco}$$

$$P = 126,16 \text{ g} = 0,12616 \text{ kg sólido seco}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.51, se obtiene:

$$Q_p = 77,96 \text{ kg} (87,21 - 80,66 \text{ kJ/kg}) + 0,12616 \text{ kg} (64,87 - 449,63 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_p = 462,07 \text{ kJ}$$

$$Q_p = 110,59 \text{ kcal}$$

El calor necesario para el proceso de secado de las muestras de puré de papa es de 110,59 kcal para obtener una cantidad de 122,007 g de puré de papa instantáneo.

4.11.4 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 200W durante 0,108h.

Para determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria se utilizó la ecuación 4.54 (Rodríguez, 2015).

$$E = Z * \Theta \quad \text{(Ecuación 4.54)}$$

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

Z = Potencia (W)

Θ = Tiempo (h)

Así mismo 1kcal/h: 1,163W

Reemplazando valores en la ecuación 4.54, se obtiene:

$$E = 200W * \frac{1kcal/h}{1,163W} * 0,108h$$

E = 18,57 kcal energía eléctrica necesaria para la etapa de molienda del puré de papa instantáneo.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo experimental de obtención de puré de papa instantáneo de la variedad *Desiré* y según datos obtenidos se llegaron a las siguientes conclusiones:

- La papa variedad *Desiré* presenta valores de propiedades físicas: altura con cáscara 8,19cm; altura sin cáscara 7,85cm; diámetro sin cáscara 4,88cm; diámetro con cáscara 5,26cm; peso total 109,08g; peso no comestible 19,32g; peso comestible 89,42g; porción no comestible 17,78% y porción comestible 81,92%.
- Los análisis fisicoquímicos realizados de la papa variedad *Desiré* presenta: Acidez 0,33g/100g; Ceniza 1,03g/100g; Fibra 1,11g/100g; Grasa 0,20g/100g; Hidratos de carbono 19,22g/100g; Humedad 77,99g/100g; pH 6,40; Proteína total 1,56g/100g y Valor energético 85,0 Kcal/100g.
- Los análisis microbiológicos de la papa variedad *Desiré* presenta: Bacterias Aerobias mesófilas $4,7 \times 10^2$ UFC/g y Coliformes totales $1,0 \times 10^1$ (*). Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.
- A partir de las curvas de secado, en función del contenido de humedad y el tipo de corte aplicado, se identificó que la muestra Q1, correspondiente al laminado de puré de papa, presentó el comportamiento más favorable. Esta muestra alcanzó una humedad final de 0,27 (kg agua/kg de sólido seco) base seca en un tiempo de 180 minutos, lo que la posiciona como la opción más favorable para el proceso evaluado.
- Al aplicar el diseño factorial 2^3 utilizando el tipo de corte laminado en el puré de papa, se identificó que la muestra PI6, procesada durante 160 minutos, alcanzó un contenido de humedad de 0,13 (kg agua/kg de sólido seco) base seca. Dicha muestra fue seleccionada como la más adecuada para la obtención de puré de papa instantáneo, debido a su comportamiento óptimo en el proceso de secado.

- Considerando la variación de los factores: temperatura (50–60 °C), espesor (0,2–0,4 mm) y velocidad del aire (4–5 m/s)— se evidenció que la muestra PI6 resultó ser la más favorable en términos de disminución del tiempo de secado y del contenido de humedad en base seca. Bajo estas condiciones, la muestra alcanzó una humedad de 0,13 (kg agua/kg de sólido seco) en un tiempo de 160 minutos, considerándose como la opción más eficiente dentro del diseño experimental aplicado.
- El análisis fisicoquímico del puré de papa instantáneo contiene: Ceniza 1,43g/100g; Fibra 0,90g/100g; Grasa 0,61g/100g; Hidratos de carbono 87,14g/100g; Humedad 5,67g/100g y Valor energético 375Kcal/100g.
- En base a los análisis microbiológicos del puré de papa instantáneo este contiene: Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g; Echerichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y Mohos y levaduras $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

5.2 Recomendaciones

- Es recomendable estandarizar los procesos de cocción, deshidratado y molienda, a fin de garantizar la calidad y homogeneidad del producto final. El uso de tecnologías apropiadas como el secado por tambor o la liofilización también podría ser una alternativa para la eficiencia productiva y la calidad del puré.
- Se sugiere fomentar alianzas estratégicas entre productores, universidades, centros de investigación y entidades gubernamentales, con el propósito de fortalecer la cadena productiva de la papa y sus derivados en la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- Se recomienda diseñar estrategias de comercialización que destaquen el valor agregado del puré instantáneo como un producto práctico y nutritivo a partir de materias primas locales en la provincia Cercado del departamento de Tarija

