

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La deshidratación o el desecado es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de los alimentos a través de la historia. Muy antiguamente los alimentos se secaban al sol como ser las frutas, granos, vegetales, carnes y pescados para tener alimentos en épocas de escasez. (Michelis & Ohaco, 2019)

Hoy en día la industria de alimentos deshidratados constituye un sector muy importante dentro de la industria alimentaria expedido por todo el mundo. El tamaño de las instalaciones varía desde simples secadores solares hasta grandes y sofisticadas instalaciones de secado. (Fito et al., 2016)

La piña es la segunda fruta tropical más importante en la producción mundial, la cual experimentó un incremento del 3 % de la producción y alcanzó un volumen de 28,3 millones de toneladas aproximadamente de producción en el 2018 a nivel mundial. Los principales países productores de piña en el mundo son Costa Rica, Filipinas, Tailandia seguido China, Brasil, India e Indonesia debido a las condiciones favorables del suelo tropical que presentan los países. (FAO, 2018)

En Bolivia, los principales centros de producción de piña son los Departamentos de Cochabamba, La Paz, Beni, Santa Cruz, Pando y en menor escala Chuquisaca y Tarija. La producción boliviana de piña durante el año 2018 - 2019, alcanzó 87658 toneladas métricas en volumen. En la tabla 1.1, se muestra la cantidad de producción de piña en Bolivia por departamentos en toneladas métricas en el año 2018 - 2019. (INE, 2018)

Tabla 1.1***Producción de piña en Bolivia***

| Departamentos | Cantidad (toneladas/ métricas) |
|----------------------|---------------------------------------|
| Cochabamba | 80442 |
| Santa Cruz | 2145 |
| Beni | 2108 |
| La Paz | 1879 |
| Pando | 993 |
| Chuquisaca | 87 |
| Tarija | 3 |
| Oruro | - |
| Potosí | - |

Fuente: INE, 2018

La mayor producción de piña en Bolivia se encuentra principalmente en el departamento de Cochabamba en el municipio de Entre Ríos con una superficie cultivada de 1907 hectáreas y una producción de 691578 quintales, conjuntamente Puerto Villarroel y Villa Tunari. (INE, 2017)

En Tarija el cultivo de piña es de pequeña escala, debido a que las familias no se dedican a ese rubro, por este motivo la piña que se encuentra en el mercado local de Tarija es transportada del departamento de Santa Cruz, ya que es el segundo mayor productor de piña a nivel nacional.

1.2 Justificación

- Se pretende realizar el trabajo de deshidratación de rodajas de piña, con la finalidad de proponer otra alternativa del consumo de piña para el mercado local de Tarija, ya que la gran mayoría de las personas no acostumbran a comer la fruta en forma natural debido a la presencia de la enzima bromelina.
- Debido que en el mercado local de Tarija en época de cosecha existe una gran oferta de piña proveniente de Santa Cruz, la cual no se le da un valor agregado y al ser esta una fruta perecedera, mediante la deshidratación permitirá de alguna manera alargar su vida útil y evitar pérdida al productor de este tipo de fruta.

- Los productos deshidratados como las rodajas de piña deshidratada son una fuente importante de energía debido a la concentración de los azúcares, además es un alimento digestivo por la fibra que contiene, que pueden ser de gran aporte para las personas que quieran incorporar en su dieta alimentaria.
- El proceso de deshidratado promueve a conservar la fruta mediante la disminución de la actividad del agua la cual presenta una gran ventaja ya que podemos proveernos de rodajas de piña deshidratada en época de escases de piña donde el precio de la misma aumenta.

1.3 Objetivos

El presente trabajo de investigación cuenta con los siguientes objetivos.

1.3.1 Objetivo general

Obtener rodajas de piña deshidratada mediante el proceso de secado por aire caliente a nivel experimental, con la finalidad de obtener un producto de calidad para el mercado local del departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el análisis físico, e índice de madurez de la piña, para establecer sus porción comestible y no comestible y conocer el grado de madurez de la piña.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la piña para establecer su composición.
- Determinar el tipo de pretratamiento adecuado a ser desarrollado en las rodajas de piña, para obtener un producto de calidad.
- Determinar el contenido de humedad en base seca y la humedad residual de las muestras con mayor preferencia, con el fin de elegir las muestras a seguir desarrollando experimentalmente.

- Aplicar un diseño factorial en el proceso de deshidratación, para controlar los efectos de los factores que fueron tomados en cuenta sobre la variable respuesta.
- Realizar una evaluación sensorial de las muestras del diseño con el fin de elegir una muestra final.
- Determinar el análisis fisicoquímico y microbiológico al producto terminado para saber su composición final.
- Realizar un balance de materia y energía utilizando un diagrama de proceso para establecer las corrientes de entrada y salida.

1.4 Planteamiento del problema

En el mercado local de Tarija en época pico de cosecha existe una gran oferta de piña la cual es transportada desde el departamento de Santa Cruz y por lo tanto no se logra transformar en un valor agregado existiendo una pérdida por efecto de no ventas, por tal motivo se quiere obtener rodajas de piña deshidratada con el fin de darle un valor agregado y como otra alternativa del consumo de piña, transformándole en producto deshidratado para conservar por más tiempo. Ya que mediante el proceso de secado por aire caliente se obtendrán rodajas de piña deshidratada de calidad para el mercado local del departamento de Tarija.

1.5 Objeto de estudio

El objeto de estudio para desarrollar el presente trabajo de investigación es el siguiente:

La aplicación del proceso de secado por aire caliente para obtener rodajas de piña deshidratadas.

1.6 Campo de acción

El campo de acción propuesto en el trabajo de investigación para la obtención de rodajas de piña deshidratada se describe a continuación.

1.6.1 Espacial

El campo espacial donde se llevó a cabo el trabajo de investigación es en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.6.2 Temporal

El periodo de tiempo que se necesitó para realizar la investigación fue entre la gestión 2021 - 2022.

1.6.3 Institución

Las instituciones que se tomaron en cuenta para desarrollar el trabajo de investigación se detallan a continuación:

- Laboratorio de Taller de Alimentos - U.A.J.M.S.
- Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos - U.A.J.M.S.

1.7 Formulación del problema

¿Se logrará obtener rodajas de piña deshidratada mediante el método de secado por aire caliente con la finalidad de obtener un producto de calidad para el mercado local del departamento de Tarija?

1.8 Hipótesis

El proceso de secado por aire caliente a nivel experimental permitirá obtener rodajas de piña deshidratada de calidad para el mercado local del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la piña

La piña es una planta nativa de América latina vista por primera vez por personas del viejo mundo cuando descubrieron América, los exploradores encontraron evidencia de su cultivo por parte de los indios, estas piñas incluían varias variedades distintas la mayoría sin semilla ya que los indios hicieron una selección con el fin de producir y conservar las variedades más útiles. (Collins, 1949)

Su domesticación empezó en varios sitios simultáneamente entre los ríos Amazonas y Orinoco y luego fue distribuida primeramente por los amerindios hasta el sur del Brasil y Paraguay y hacia el norte de Suramérica, el Caribe insular y las costas atlánticas de Centro América y México, así lo atestiguan los exploradores y cronistas de la época. Luego del descubrimiento de América fue dispersada de manera progresiva a todas las áreas tropicales del resto del mundo gracias a los viajes de exportación y conquista, siendo su adaptación a estas nuevas regiones muy exitosa. (Leal et al., 2010)

Todas las especies son originarias de América Tropical y Subtropical a excepción de una sola especie (*Pitcairnia Feliciania*) la cual es originaria de África Occidental es la única especie originaria de ese país. (Perembski & Barthlott, 1999)

2.2 Descripción botánica de la piña

La piña es una planta terrestre, herbácea, perenne, monocotiledónea (Liliopsida), que produce una inflorescencia terminal que da origen a un fruto múltiple (sorosis, cenocarpo o sincarpo), después del primer fruto puede volver a desarrollar otros frutos pudiendo sucederse otras generaciones, máximo se puede tener tres cosechas para las plantaciones comerciales. (Leal et al., 2010)

La planta adulta puede medir de (1,00 a 1,80) m de altura y cabe en el volumen de 1,50 m de diámetro, cuya base esta aplanada, está formada por el tallo que forma el eje de la planta, las hojas dispuestas en roseta sobre el tallo, las raíces subterráneas o aéreas, el pedúnculo que tiene brácteas y en la parte superior el fruto que está terminado en una corona. (Py et al., 1984)

2.2.1 Taxonomía de la piña

Según (Py et al., 1984), la piña pertenece a la familia de las Bromeliaceae (subclase Monocotiledóneas) que contienen 45 géneros y cerca de 1900 especies, las cuales todas tienen una adaptación al xerofitismo y todos los tipos cultivados pertenecen al género Ananas. (Pág. 37)

La piña pertenece al orden Bromeliales y crece en un hábitat que va desde los climas tropicales, calientes, húmedos hasta los subtropicales, fríos y secos”. En la tabla 2.1, se muestra la clasificación taxonómica de la familia Bromeliaceae de acuerdo con el sistema de Cronquist. (Leal et al., 2010. Pág. 71)

Tabla 2.1

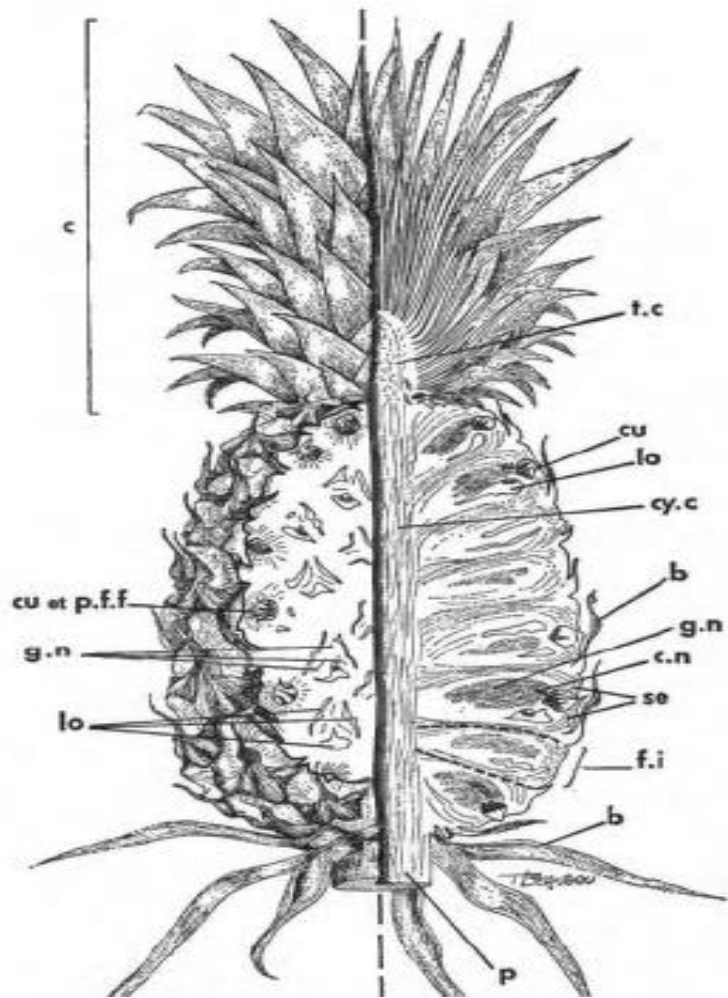
Clasificación taxonómica de la piña

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| Familia | Bromeliaceae |
| Reino | Vegetal |
| Subreino | Tracheobionta |
| Superdivisión | Spermatophyta |
| División | Magnoliophytina |
| Clase | Liliopsida (monocotiledóneas) |
| Subclase | Commelinidae |
| Orden | Bromeliales |
| Género | Ananas |

Fuente: Leal et al., 2010

2.2.2 Anatomía del fruto de la piña

La anatomía del fruto de la piña se muestra en la figura 2.1, la cual está formado por todos los frutos individuales de cada una de las flores, el número de estos frutos individuales son los primeros en determinar el peso de la fruta de las distintas variedades entre las partes florales solo el pistilo, los estambres y los pétalos no contribuyen a la formación del fruto se marchitan sus restos están encerrados en una copa (la cúpula), cubierta por los sépalos carnosos. (Py et al., 1984)



Fuente: Py et al., 1984

Figura 2.1: Anatomía del fruto de la piña

Donde:

Derecha: corte longitudinal mediana

Izquierda: corte longitudinal tangencial

b: bráctea, c: corona, c.n: canal nectarífero, cu: copa,
 cy.c: cilindro central, f.i: fructículo, g.n: glándula del
 nectario, lo: lóculo, p: pedúnculo, p.f.f: partes
 florales, se: sépalos, t.c: tallo de la corona,

El fruto es un sicarpio que se encuentra formado por la fusión de todos los frutos individuales cada fruto se forma por el desarrollo de los tejidos del ovario, los sépalos y las brácteas. Los pétalos, estambres y estigma se marchitan y caen los sépalos se unen formando el ojo y la bráctea se vuelve carnosa en la base y fina en la punta y cubre la

mitad del ojo. El fruto se desarrolla sin fecundación por lo que no hay formación de semilla, estas se producen solo en el caso cuando se siembren dos variedades distintas (Castañeda, 1997).

2.3 Clasificación de las variedades de piña

Las variedades de cultivos de piña que más se utilizan en todo el mundo se clasifican en cinco grupos distintos mejor denominado familia. En la figura 2.2, se muestran la clasificación de los cultivos de piña (Py et al., 1984. Pág. 27).

| Grupos | Variedad | Principales países productores | Descripción |
|---------|-------------|--|---|
| Grupo 1 | Cayene Lisa | Todos los grandes centros de producción del mundo: Tailandia, Filipinas, Taiwan, África Occidental, Kenia. | Se considera uno de los principales cultivos en el mundo, sus hojas verde oscuro, fruto de tamaño mediano pulpa color amarillo jugoso y agradable apta para la exportación en fresco, industria y consumo local |
| Grupo 2 | Española | Regiones del Caribe, Cuba, Puerto Rico, México, Malasia | La planta es de tamaño mediano sus brácteas florales son de color rojo intenso, y su pulpa es blanca o amarilla pálida, apta para exportación y consumo local |
| Grupo 3 | Queen | África del Sur, Australia | Su planta es pequeña con hojas cortas muy espinosas, el fruto es pequeño su pulpa color amarillo dorada utilizada para exportación y consumo local. |
| Grupo 4 | Pernambuco | Brasil y Venezuela | La planta es de tamaño mediano, hojas verdes y espinas cortas su fruto es de forma piramidal amarillento y la pulpa de color amarillo pálido a blanca, apta para consumo local. |
| Grupo 5 | Perolera | Colombia, Ecuador y Perú | La planta es mediana a grande con hojas procumbentes sin espinas su fruto es grande y la pulpa es color pálido a amarilla, apta para exportación y consumo local. |

Fuente: Py et al., 1984

Figura 2.2: Clasificación de los cultivos de piña

2.4 Composición fisicoquímica del fruto de la piña

El principal componente de la piña es el agua que constituye el 86 % de su peso, mientras que el principal nutriente corresponde a los carbohidratos que suponen el

13 % de su peso. Además, esta fruta contiene cantidades considerables de potasio, calcio, magnesio, fibra, vitamina C y es baja en grasa. En la tabla 2.2, se muestra la composición de la piña por cada 100 g de piña. (Uriza et al., 2018)

Tabla 2.2

Composición química de la piña

| Nutriente | Cantidad | Unidad |
|------------------|-----------------|---------------|
| Agua | 86 | G |
| Energía | 50 | Kcal |
| Carbohidratos | 13,12 | G |
| Fibra dietética | 1,4 | G |
| Azúcares totales | 9,85 | G |
| Minerales | | |
| Calcio (Ca) | 13 | Mg |
| Potasio (K) | 109 | Mg |
| Hierro (Fe) | 0,29 | Mg |
| Magnesio (Mg) | 12 | Mg |
| Vitaminas | | |
| Vitamina C | 47,8 | Mg |

Fuente: Uriza et al., 2018

2.5 Propiedades nutricionales de la piña

La piña presenta varios efectos beneficiosos debido a la composición de sus nutrientes que contiene como ser la vitamina C es considerada el principal antioxidante soluble en agua del cuerpo, que combate los radicales libres que atacan y dañan las células normales. (Uriza et al., 2018). Además, la piña presenta propiedades diuréticas y depurativas, por su alto nivel de potasio que favorece la eliminación de líquidos y de toxinas del organismo, ayudando a la eliminación de edemas y retención de líquidos en zonas localizadas siendo un excelente remedio para el hígado. (Moreno, 2018)

La piña tiene un contenido de azúcares alto entre (12 a 18) °Brix el jugo contiene entre (75 - 85) % de azúcares y de (7 - 9) % de ácido cítrico (en peso seco) al contener una elevada cantidad de azúcares la piña es clasificada como un producto energético, además el fruto contiene pequeñas cantidades de todas las vitaminas excepto la D, y sus cenizas son ricas en bases, particularmente el potasio. (Leal et al., 2010)

Por ser una fruta con un importante contenido en fibra, ayuda a regular el tránsito intestinal la cual es necesaria para que dicho tránsito intestinal se mantenga regulado, por lo tanto, es un buen remedio contra el estreñimiento y mejora los procesos digestivos, sus beneficios se extienden a todo el aparato digestivo, evitando problemas intestinales como la diarrea o el síndrome del colon irritable. (Infoagro, 2022)

2.6 Aplicaciones del fruto de la piña

La piña es una fruta poco usual pero impresionante, se usaba en épocas antiguas como alimento para fermentar y elaborar sus bebidas alcohólicas (vinos y chichas), también la usaban para el consumo natural, en la producción de fibras y por sus propiedades biológicas. Entre los primeros productos comerciales de piña fueron en jaleas dulces elaborado en Las Antillas. (Leal et al., 2010)

Actualmente el uso de la piña y sus subproductos son diversos, sin embargo, el consumo principal es en fresco o procesado (conservas, jugos, deshidratado). (Uriza et al., 2018. Pág. 25)

Según Leal & Coppens, 2003, (como se citó en Uriza et al., 2018). Nos dice que “La mayor parte de las aplicaciones y propiedades medicinales de la piña se relacionan con la enzima proteolítica bromelina, que la pulpa y jugo natural de piña contiene en cantidades importantes”. La bromelina es un gran antiinflamatorio, ayuda al funcionamiento del sistema inmunitario ha sido recomendado como un enfoque terapéutico adyuvante en el tratamiento de enfermedades inflamatorias malignas y autoinmunes crónicas, ayuda al funcionamiento del sistema inmunitario y es anticancerígeno, además contrarresta algunos patógenos intestinales como Vibrio cólera y Escherichia coli. (Uriza et al., 2018)

2.7 Deshidratación de los alimentos como método de conservación

La deshidratación es un método de conservación de los alimentos mediante la aplicación de calor específicamente de aire caliente. Es un proceso simultaneo de transferencia de calor y masa se define como la “aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover la gran mayoría del agua presente en los alimentos mediante

la evaporación,” con el principal propósito de alargar su vida útil inhibiendo el crecimiento microbiano y la actividad enzimática. (Espinoza, 2016)

La deshidratación es la eliminación del agua mediante evaporación o sublimación presente en los alimentos, mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas se excluyen otros métodos de eliminación de agua que utilizan calor como la concentración de alimentos líquidos, debido a que se da un proceso de cocción y el agua en el producto final es mayor que en el secado. (Brennan, 1998)

2.7.1 Deshidratado con aire caliente

El deshidratado con aire caliente es cuando el alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente, que mediante convección aporta el calor sensible y latente para la evaporación. El aire además arrastra el vapor de agua liberada del alimento. En muchos de estos equipos la velocidad de deshidratación y las características del producto final dependen de gran medida del movimiento relativo del aire y del producto el cual puede ser básicamente en cuatro formas: flujo concurrente, flujo en contracorriente, flujo con evacuación central del aire y flujo transversal. (Ordoñez et al., 1998)

2.7.2 Secador de bandeja o armario

El secador de bandeja está formado por una cámara metálica que contiene unos soportes móviles donde se apoyan los bastidores. Cada bastidor contiene las bandejas poco profundas donde se carga y descarga el material a secar el aire circula a través de las bandejas por medio del ventilador haciendo pasar previamente por el calentador, luego por medio del conducto de salida se evacua el aire húmedo. (Fito et al., 2001)

El secador a bandeja contiene bandejas que se cargan y se descargan de un gabinete los alimentos que se desean secar se cargan esparciendo uniformemente sobre una bandeja de 10 a 100 mm de profundidad. Un ventilador recircula aire calentado con vapor sobre las superficies de las bandejas, también se usa calor eléctrico, en especial cuando el calentamiento es bajo. Más o menos el (10 al 20) % del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo y el resto es recirculado. (Geankoplis, 1998)

Según (Orrego, 2003), su principal problema es la desuniformidad de secado entre bandejas de distintas ubicaciones el alimento que se va a secar se coloca en capas delgadas, el calentador puede ser directo o indirecto el aire se calienta y circula entre las bandejas en flujo cruzado.

2.8 Actividad del agua

El agua presente en los alimentos se divide en agua libre y en agua ligada; la primera es la única disponible para el crecimiento de los microorganismos y para intervenir en otras transformaciones ya que la segunda está unida a la superficie sólida y no actúa por estar no disponible o inmóvil, la actividad del agua es aquella que tiene movilidad o disponibilidad. (Badui, 2006)

La actividad del agua a_w es la disponibilidad de agua de un medio determinado, para participar en las reacciones químicas, bioquímicas y para las transferencias a través de las membranas semipermeables. Esta disponibilidad varía de un producto a otro según su composición, algunas estructuras retienen más agua que otras, varía incluso para un mismo producto, un fruto maduro no se comporta lo mismo que un fruto verde. En la ecuación 2.1 la disponibilidad del agua se define como la relación entre la presión de vapor del agua en la disolución (P) y la presión de vapor del agua pura (P_0) a la misma temperatura. (Casp & Abril, 2003)

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\% HR}{100} \quad \text{Ecuación. 2.1}$$

2.9 Contenido de humedad de un alimento

El contenido de agua de un alimento se puede expresar en términos de peso húmedo, es decir, masa de agua por unidad de masa del producto húmedo o en términos de peso seco es decir masa de agua por unidad de masa del extracto seco. (Brennan et al., 1998)

2.9.1 Contenido de humedad en base húmeda

La fórmula para determinar el contenido de humedad en base húmeda de un alimento se muestra en la ecuación 2.2. (Sharma et al., 2003. Pág. 221)

$$\text{HBH} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{masa inicial del producto húmedo}} \text{ (kg de agua/kg de alimento)} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

2.9.2 Contenido de humedad en base seca

La fórmula para determinar el contenido de humedad en base seca de un alimento se muestra en la ecuación 2.3. (Sharma et al., 2003. Pág. 221)

$$\text{HBS} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{masa de materia seca}} \text{ (kg de agua/kg de sólido seco)} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

2.9.3 Humedad en equilibrio

Según (McCabe & Smith, 2005) La porción de agua del sólido húmedo que no puede ser removida por el aire que entra debido a la humedad de este se llama humedad de equilibrio. (Pág. 842)

2.9.4 Humedad libre

Según (McCabe & Smith, 2005), “Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con aire en condiciones dadas. Es la humedad que puede perder el sólido después de un tiempo de contacto con el aire en condiciones dadas y constantes”. (Pág. 842)

2.9.5 Humedad ligada

Es el agua que está unida física o químicamente a una matriz sólida para ejercer una presión de vapor inferior a la del líquido puro a la misma temperatura, es el valor de la humedad en equilibrio con aire saturado. (Jangam et al., 2010. Pág. 8.)

2.9.6 Humedad desligada

De acuerdo con (Jangam et al., 2010), “es la humedad en un sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura”. (Pág. 8.)

2.9.7 Humedad crítica

Según (Jangam, 2010), “es el contenido de humedad donde la velocidad de secado empieza a disminuir bajo condiciones de secado constante”. (Pág. 8)

2.10 Definiciones psicrométricas

La psicometría es el estudio de las propiedades de las mezclas de gas y vapor. La mezcla en la industria alimentaria es la de vapor de agua- aire entre algunas definiciones están las siguientes. (Brennan et al., 1998. Pág. 687)

2.10.1 Humedad absoluta

De acuerdo con Brennan et al., 1998, “es el peso del agua presente en la mezcla por unidad de peso de aire seco. Tratando al aire como un gas perfecto”. (Pág. 687)

2.10.2 Humedad de saturación

Es la humedad absoluta del aire cuando está saturado. La presión de vapor de agua en el aire saturado es igual a la presión de vapor del agua cuando este se halla a la temperatura del aire. (Brennan, et al., 1998. Pág. 687)

2.10.3 Humedad relativa

Es la relación entre la presión parcial del vapor de agua en una mezcla a una temperatura dada, y la presión de vapor del agua a la misma temperatura. (Brennan et al., 1998. Pág. 687)

2.10.4 Temperatura de bulbo seco

La temperatura de la mezcla aire - vapor de agua que se lee en un termómetro se denomina de bulbo seco. Mientras no se diga otra cosa, cuando se habla de temperatura del aire se hace referencia a la temperatura de bulbo seco. (Orrego, 2003)

2.10.5 Temperatura de bulbo húmedo

Cuando se hace circular aire de temperatura (de bulbo seco) T y H sobre una superficie de agua, esta última alcanza una temperatura de equilibrio llamada de bulbo húmedo. En este caso se supone que todo el calor de vaporización del agua lo proporciona el aire; sin embargo, ni este hecho, ni la masa de agua que se evapora cambian las propiedades del aire que circulan. (Orrego, 2003)

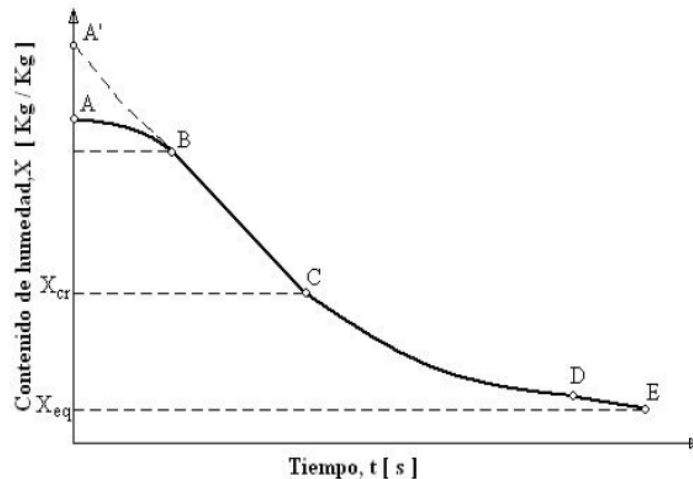
2.11 Curvas de secado

Un proceso de secado es usualmente descrito por diagramas construidos con las siguientes coordenadas, las cuales son obtenidas bajo condiciones de laboratorio, se describen a continuación. (Dávila, 2004. Pág. 67)

- Contenido de humedad contra el tiempo de secado (curva de secado)
- Velocidad de secado contra contenido de humedad del material (curva de velocidad de secado)

2.11.1 Curva de contenido de humedad en función del tiempo de secado

El proceso de secado normalmente se divide en tres fases: una fase inicial de precalentamiento A - B, seguido de otra fase de velocidad constante B - C y por último la fase de velocidad decreciente C - D. En figura 2.3, se muestra la curva de secado obtenida cuando se presenta el contenido de humedad contra el tiempo de secado. (Casp & Abril, 2003)



Fuente: Dávila, 2004

Figura 2.3: Curva de secado

Periodo de precalentamiento A - B: Transcurre mientras el agua contenida en el producto se calienta ligeramente hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica del ambiente secante. El producto para secar al principio está frío, su presión de vapor es igualmente baja, por lo tanto, la velocidad de transferencia de masa

es muy lenta y la transferencia de calor es alta este periodo es corto en comparación con el tiempo total de secado y finaliza cuando alcanza el equilibrio estacionario. Donde el excedente de calor calienta la superficie del producto lo cual provoca una disminución del gradiente de temperatura. (Casp & Abril, 2003)

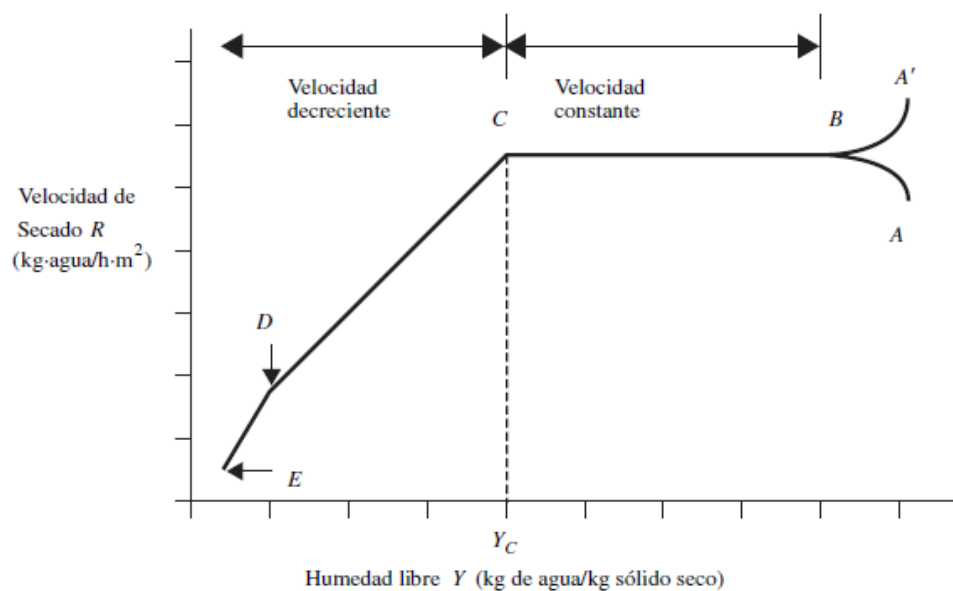
Periodo de velocidad constante B - C: En este periodo es donde se produce una reducción importante del contenido de agua en el alimento. La evaporación se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, siendo esta la de bulbo húmedo del aire. Durante este periodo, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua este periodo continua mientras la superficie del producto este alimentada por agua libre líquida desde el interior por capilaridad y finaliza cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica. (Casp & Abril, 2003)

Primer periodo de velocidad decreciente C - D: Comienza cuando la superficie de un producto en contacto con aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad desde los puntos de vista macroscópico esto corresponde a alcanzar la humedad crítica la disminución de velocidad de secado se debe a que la migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante, los depósitos de los solutos obstruyen los poros el agua ligada migra en forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor. (Casp & Abril, 2003)

Segundo periodo de velocidad decreciente D - E: El segundo periodo de velocidad decreciente representa condiciones en las que la velocidad de secado es controlada en gran parte por el movimiento de humedad dentro del sólido y es independiente de las condiciones fuera del sólido, la transferencia de humedad podría ocurrir por una combinación de factores como difusión de líquidos movimientos capilar y difusión de vapor. (Sharma et al., 2003)

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

Se define la velocidad de secado como la variación de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo $(-dx/do)$, entre la humedad por encima del equilibrio (E) en condiciones constantes de secado. En la figura 2.4 se puede ver que el tramo horizontal corresponde a la velocidad constante de secado y los tramos de velocidad decreciente. La humedad crítica (Y_c) coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente. (Casp & Abril, 2003)



Fuente: Ibarz & Barbosa, 2005

Figura 2.4: Curva de velocidad de secado

En la figura 2.4, se muestra la curva de secado donde los puntos A y A' representan el inicio del secado para un material frío o caliente respectivamente. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. El tiempo transcurrido para pasar de A o A' a B suele ser bajo y a menudo se desprecia en los cálculos del tiempo de secado.

El tramo de la curva B-C es conocido como periodo de velocidad constante de secado y está asociado a la eliminación del agua no ligada al producto en el que el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente.

El tramo C - D es el periodo de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado no se mantiene constante y empieza a disminuir, este periodo se puede dividir en dos etapas, la primera se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie esta seca completamente (punto D), la segunda se da para alimentos higroscópicos se inicia en el (punto D) cuando la superficie está completamente seca, y en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua lentamente la cantidad de agua eliminada en este periodo puede ser baja mientras que el tiempo requerido puede ser elevado debido a que la velocidad de secado es baja y termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio (punto E). (Ibarz & Barbosa, 2005)

2.12 Factores que afectan la velocidad y tiempo de secado

Según (Casp & Abril, 2003) los factores que afectan la velocidad y tiempo total de secado son fundamentalmente cuatro. (Pág. 354)

- Las propiedades físicas del producto.
- Su organización geométrica respecto al aire.
- Propiedades físicas del aire (temperatura, humedad y velocidad).
- Las características de diseño del secadero (en paralelo, contracorriente, lecho agitado, neumático, etc.

Uno de los factores más importantes son la temperatura y velocidad del aire: al aumentar la temperatura la velocidad de secado aumenta reduciendo así el tiempo de secado, lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado cuando mayor es esta mayor es la velocidad de secado. (Casp & Abril, 2003. Pág. 336)

La cinética del proceso de secado por aire caliente depende tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del aire de secado, como son la humedad relativa ambiental, temperatura y velocidad del flujo de aire. (García et al., 2013)

2.13 Factores químicos que alteran los productos deshidratados.

Las principales alteraciones de naturaleza química que pueden producirse en los alimentos son debido al enranciamiento, reacción de Maillard y la actividad enzimática. (Casp & Abril, 2003. Pág. 341)

2.13.1 Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático se hace patente de forma inmediata cuando las frutas son peladas, cortadas o trituradas, y sus tejidos se exponen al contacto con el oxígeno del aire. A esto se debe las coloraciones pardas que aparecen en las frutas frescas como consecuencias de golpes o de los daños fisiológicos. (Astiasarán & Martínez, 2000)

2.13.2 Reacción de Maillard

Los productos más afectados por el pardeamiento no enzimático son las frutas y productos cárnicos. Este tipo de reacción esta favorecido cuando es más ácido el producto, rico en ácido ascórbico (vitamina C). La reacción de Maillard se reduce en la medida que el secado permita bajar rápidamente la actividad del agua, por debajo de 0,5 y que la temperatura del producto permanezca a niveles inferiores a la “temperatura crítica” de 50-55 °C aunque este nivel es en función del producto. (Casp & Abril, 2003)

2.14 Factores físicos que alteran los productos deshidratados

Cuando los alimentos son sometidos a una corriente de aire caliente, el primer efecto es la evaporación de agua desde la superficie húmeda. La concentración de solutos en la superficie aumenta, las aguas de las soluciones diluidas de las capas más profundas se mueven hacia la superficie como gradiente de concentraciones los que provoca contracción al volumen de la célula, se produce un encogimiento y a medida que prosigue el secado las células de las capas superficiales se aplastan cada vez más. (Casp & Abril, 2003)

2.14.1 Cambios de estructura de los alimentos

Cuando el secado es a temperaturas elevadas el encogimiento y la contracción empiezan a manifestarse en toda la pieza y endurecido en la superficie mientras que en el centro permanece húmedo y plástico. Si las condiciones de secado son suficientemente suaves para que las superficies no estén mucho más secas que el centro, las piezas se contraerán con la misma dirección en su forma. (Casp & Abril, 2003)

2.14.2 Cambios de sabor y aroma

Los cambios en el sabor y aroma de los productos deshidratados se deben fundamentalmente a la pérdida de los contenidos volátiles durante el proceso como también el desarrollo de sabores y aromas típicos de productos cocidos provocados por las altas temperaturas. Estos cambios son tanto mayores cuando más alta es la temperatura utilizada y cuando mayor es el tiempo de secado. (Fito et al., 2001)

2.15 Métodos de pretratamientos

El pretratamiento a los alimentos antes de su deshidratación presenta un interés notable, puesto que permite modificar la estructura del producto con el fin de facilitar el deshidratado evitar la contaminación microbiana antes y durante la primera fase de secado y limita las reacciones bioquímicas posteriores. (Casp & Abril, 2003)

Es casi imprescindible realizar un pretratamiento ya que minimizan las reacciones de pardeamiento y mejoran la retención del color. (Michelis & Ohaco, 2015, Pág. 64)

2.15.1 Acidificación

Se realiza mayormente para evitar el oscurecimiento enzimático de las frutas, la cual puede ser controlada mediante la aplicación de calor como también con controles químicos adecuados como la utilización de ácido ascórbico que es mucho más adecuado al igual que el ácido cítrico. (Desrosier, 2007)

2.15.2 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica es un proceso de eliminación de agua basado en el gradiente de agua y actividad de solubilidad a través de la membrana semipermeable de una célula, consiste en sumergir alimentos de humedad alta en una solución osmótica por lo general una solución de azúcar o de cloruro de sodio. (Sharma et al., 2003)

Se ha propuesto la deshidratación osmótica como paso intermedio antes del secado o la congelación para reducir la carga de agua del producto como una mejora simultánea de la calidad, también es una técnica potencial para reducir alimentos de humedad intermedia, mejora el color del producto y la retención de sabor. (Sharma et al., 2003)

La deshidratación osmótica consiste en sumergir alimentos de humedad alta en una solución osmótica por lo general una solución de azúcar o de cloruro de sodio. Así mismo, según (Sharma et al, 2003. Pág. 225) La velocidad de pérdida de agua en los alimentos depende de:

- La concentración de solución osmótica.
- El tiempo de contacto.
- La temperatura del proceso.
- La relación de solución osmótica a materiales alimenticios.
- El área superficial expuesta.

2.15.2.1 Factores que afectan la deshidratación osmótica

La eficiencia de un proceso de deshidratación osmótica depende de la velocidad y el grado de eliminación de agua a un coste mínimo, entre los factores que afectan la deshidratación osmótica como pretratamiento se detallan a continuación. (Sharma et al., 2003. Pág. 227)

2.15.2.1.1 Selección del agente osmótico

La selección del soluto y la concentración de la solución osmótica depende de varios factores como su efecto en la calidad organoléptica, sabor del producto, su capacidad para disminuir la actividad del agua, la solubilidad, la permeabilidad a la membrana, uno de los mejores agentes osmóticos es la sacarosa, es un inhibidor de la polifenoloxidasas, evita la pérdida de sabores volátiles y la mayoría de las membranas celulares son impermeables a ellas. (Sharma et al., 2003)

2.15.2.1.2 pH de la solución

El pH de la solución es muy esencial para la deshidratación osmótica, un pH óptimo aumenta la pérdida de agua probablemente por hidrólisis y despolimerización de pectina en los tejidos de frutas. (Sharma et al., 2003. Pág. 227)

2.15.2.1.3 Temperatura de la solución

La temperatura es una de las variables que afecta a la deshidratación osmótica ya que un pequeño aumento de esta intensifica la eliminación del agua y la penetración de la sustancia osmótica en el tejido. (Ibarz & Barbosa, 2005. Pág. 621)

No obstante, la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo. Temperaturas comprendidas entre (20 y 40) °C son consideradas como las más óptimas porque no afectan la integridad de los tejidos. (Núñez, 2018. Pág. 28)

2.15.2.1.4 Geometría y tamaño de la muestra

La pérdida de agua y ganancia de sólidos dependen en general del tamaño y la geometría de los trozos de fruta y también de la relación fruta/jarabe. Entre más grandes sean los trozos y menos área se exponga menor será la pérdida de agua y ganancia de sólido y la baja relación fruta/jarabe, favorece la pérdida de agua. (Zapata & Castro, 1999)

2.15.3 Ventajas de la deshidratación osmótica

Entre las ventajas de los productos deshidratados osmóticamente son los siguientes según Ranham, 2003 citado por (Nuñez, 2018).

- La fruta deshidratada mejora la calidad del producto en lo referente al color, aroma y textura.
- Sirve como tratamiento químico ya que reduce el pardeamiento enzimático. El azúcar ayuda a la inhibición efectiva de la polifenoloxidasa enzima que cataliza el pardeamiento oxidativo en la mayoría de las frutas.
- Los productos obtenidos por deshidratación son más estables durante el almacenamiento esto se debe a que presentan menor actividad de agua, el alimento aumenta su vida útil pero no lo preserva, por esta razón es necesario la aplicación de otro método de conservación como la deshidratación con aire caliente.

2.16 Envasado de productos deshidratados

El envasado de productos deshidratados se puede realizar con diferentes envases y de distintos materiales en todos los casos lo que debe de lograrse es hermeticidad al vapor de agua para que la muestra no se rehidrate. Como podría ser las bolsas de polietileno o bolsas de celofán. En todo caso las bolsas se deben cerrarse herméticamente mediante termosellado o sistema zip. (Michelis & Ohaco, 2015). Así mismo, la elección del material utilizado para el envasado de productos deshidratados según. (Casp & Abril, 2003) son los siguientes:

- La naturaleza del alimento.
- De las condiciones de envasado y almacenamiento (temperatura, humedad).
- Propiedades protectoras del material.
- Su facilidad de empleo.
- De su disponibilidad en el mercado y de su coste.

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo del trabajo de investigación

El presente trabajo de investigación: Obtención de rodajas de piña deshidratada, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) y el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA); ambos pertenecientes a la Carrera Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Tipo de intervención de la parte experimental

La metodología de la investigación se ocupa del estudio de aquellas cuestiones que posibilitan la aplicación del método científico de manera rigurosa, garantizando que las conclusiones de una investigación se obtengan realmente de los datos obtenidos, es decir, que tenga carácter objetivo (Hernández et al., 2018). De acuerdo con (Bernal, 2010), la metodología “es el estudio (descripción, explicación y justificación) de los métodos de investigación y no de los métodos en sí, se entiende como el conjunto de aspectos operativos del proceso investigativo” (Pág. 59).

La metodología para la obtención de piña deshidratada en rodajas es de carácter experimental de laboratorio y se basa en los siguientes métodos y técnicas que serán aplicados:

- ❖ Análisis físico e índice de madurez de la piña.
- ❖ Análisis fisicoquímico y microbiológico de la piña.
- ❖ Análisis fisicoquímico, microbiológico y análisis de minerales de las rodajas de piña deshidratada.
- ❖ Análisis sensorial de las muestras de rodajas de piña deshidratada.
- ❖ Análisis del diseño factorial 2^3 en el deshidratado de las rodajas de piña.
- ❖ Operacionalización de las variables dependiente e independiente.

3.3 Paradigma investigativo

El paradigma según Hurtado & Toro (2005), nos dice que “es una estructura coherente constituida por una red de conceptos, de creencias metodológicas y teóricas

entrelazadas, que permiten la selección y evaluación crítica de temas, problemas y métodos” (Pág. 27). El paradigma es una serie de normas cuyos seguidores basan su acuerdo y desacuerdo a la hora de considerar si una investigación es buena, adecuada o mala, según los términos que han definido sus objetivos, marcos de referencia, los métodos u forma de análisis, en conclusión; un conjunto de creencias o actitudes, una visión del mundo compartida por un grupo de científicos que implican una metodología determinada. (Hernández et al., 2018)

El paradigma que se aplicó en el presente trabajo es el positivista. Según (Hernández, 2018) “es conocido también como cuantitativo o empírico analítico se destaca por la utilización de métodos y técnicas válidas y confiables”. (Pág. 34)

3.4 Enfoque de la investigación

Los enfoques son los distintos caminos para indagar la realidad social, existen dos tipos de enfoques los cuales son cuantitativo y cualitativo cada uno tiene su propia fundamentación epistemológica, diseño metodológico, técnicas e instrumentos de acorde con la naturaleza del objeto de estudio. (Monje, 2011)

El enfoque que desarrollaré en el presente trabajo será el cuantitativo. Este enfoque representa un conjunto de procesos, es secuencial y probatorio. Parte de una idea, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se construye un marco o una perspectiva teórica, se establecen hipótesis y determinan variables, se traza un plan para probarlas (diseño), se miden las variables en un determinado contexto, se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y se extrae una serie de conclusiones. (Hernández et al., 2010)

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

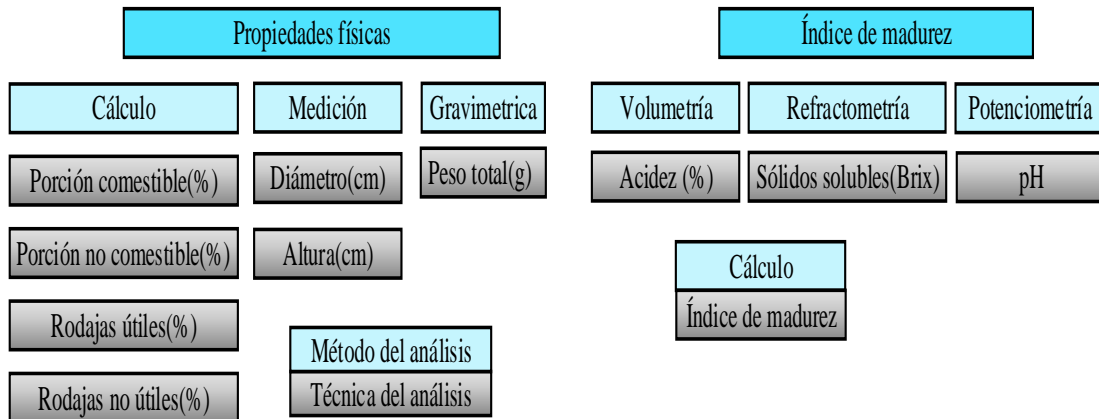
El método se entiende como un conjunto de procedimientos, reglas y normas que, valiéndose de los instrumentos o técnicas necesarias, examina y soluciona un problema o conjunto de problemas de investigación. Por otro lado, el método tiene que ver con la metodología entendida como el conjunto de aspectos operativos indispensables del proceso en la realización de una investigación. (Bernal, 2010)

El método se encuentra vinculado a la técnica es decir, las normas y criterios que rigen la producción, manipulación y control de los hechos, la técnica es de carácter más específico y el método es más global, y el instrumento es el mecanismo que utiliza el investigador para recolectar y registrar la información. (Hernández et al., 2018)

Los métodos y técnicas que se aplicó para la obtención de rodajas de piña, se detallan a continuación.

3.5.1 Métodos y técnicas de los análisis físicos e índice de madurez de la piña

En la figura 3.1, se muestran los métodos y técnicas que se tomaron en cuenta para los análisis físicos e índice de madurez de la piña. Donde la técnica para calcular sólidos solubles (°Brix) (Anexo D.1), pH (Anexo D.2), acidez (Anexo D.3) e índice de madurez (Anexo D.4), se pueden verificar en los anexos citados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1: Métodos y técnicas de las propiedades físicas e índice de madurez de la piña

3.5.2. Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico de la piña

En la figura 3.2, se muestran los métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, que se realizaron en la piña, estos análisis fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

| Análisis fisicoquímico | | | | Análisis microbiológico |
|------------------------------|--|---|--------------------|---|
| Gravimétrico | Volumetría | Cálculo | Potenciometria | Recuento en placa |
| Humedad (%) NB 313010: 05 | Acidez (%) NB 299:98 | Hidratos de carbono (%) NB 312031:2010 | pH SM 4500- H-B | Coliformes fecales (UFC/g) NB 32005:02 |
| Ceniza (%) NB 39034:10 | Proteína total (%) NB/ISO 8968-1:08 | Valor energético (kcal/g) NB 312032:2006 | | Coliformes totales (UFC/g) NB 32005:02 |
| Fibra (%) NB 35004:14 | Grasa (%) NB 313019:06 | Método Técnica | | Mohos y levaduras (UFC/g) NB 32006:03 |

Fuente: CEANID, 2021

Figura 3.2: Métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la piña

3.5.3 Caracterización de las rodajas de piña deshidratada

Para la caracterización de las rodajas de piña deshidratada, se realizaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales se detallan a continuación

3.5.3.1 Métodos y técnicas del análisis fisicoquímico y microbiológico y de las rodajas de piña deshidratada

En la figura 3.3, se muestran los métodos y técnicas de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se determinaron a las rodajas de piña deshidratada, que fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

| Análisis fisicoquímico | | | | Análisis microbiológico |
|--|--|---|--------------------|--|
| Gravimétrico | Volumetría | Cálculo | Potenciometria | Recuento en placa |
| Humedad (%) NB 313010:05 | Acidez (%) NB 299:98 | Hidratos de carbono (%) NB 312031:2010 | pH SM 4500- H-B | Staphylococcus aureus (UFC/g) NB 32005:02 |
| Ceniza (%) NB 39034:10 | Proteína total (%) NB/ISO 8968-1:08 | Valor energético (kcal/g) NB 312032:2006 | | Coliformes totales (UFC/g) NB 32005:02 |
| Fibra (%) NB 35004:14 | Grasa (%) NB 313019:06 | | | Mohos y levaduras (UFC/g) NB 32006:03 |
| Azúcar total (%) NB 38033:06 | | | | |
| Azúcares reductores (%) NB 38033:06 | | | Método Técnica | |

Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.3: Métodos y técnicas de los Análisis fisicoquímico y microbiológico de las rodajas de piña deshidratada

3.5.3.2 Métodos y técnicas de los micronutrientes de las rodajas de piña deshidratada

En la figura 3.4, se muestran los métodos y técnicas de los micronutrientes que se determinaron a las rodajas de piña deshidratada y fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

| Micronutrientes | |
|--------------------|-------------------|
| Espectrofotometría | |
| Potasio (mg/100g) | Método Técnica |
| Absorción atómica | |
| Calcio (mg/100g) | |
| Absorción atómica | |

Fuente: CEANID, 2022

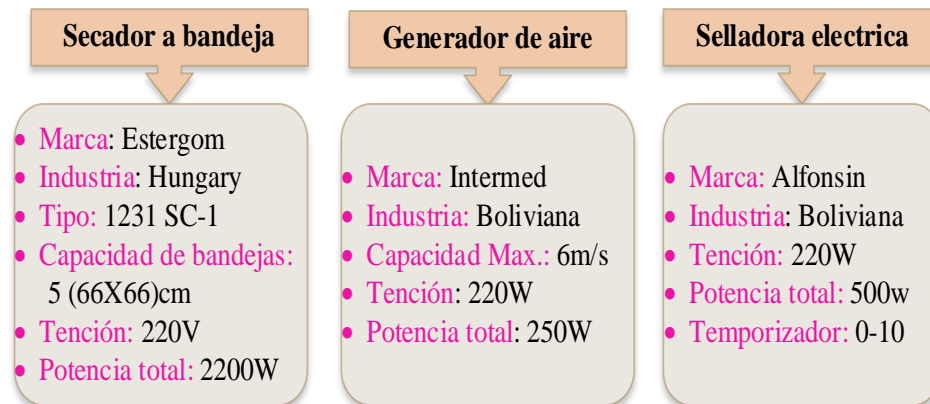
Figura 3.4: Métodos y técnicas de los micronutrientes de las rodajas de piña deshidratada

3.5.4 Equipos, instrumentos, material de laboratorio e utensilios de cocina

Para realizar la parte experimental del presente trabajo de investigación, se utilizaron los siguientes equipos, instrumentos, material de laboratorio y utensilios de cocina los cuales se detallan a continuación:

3.5.4.1 Equipos

En la figura 3.5, se describen las especificaciones técnicas de los equipos (Anexo H.1) que se utilizaron para el presente trabajo de investigación y los cuales se encuentran en el Laboratorio Taller de Alimentos.

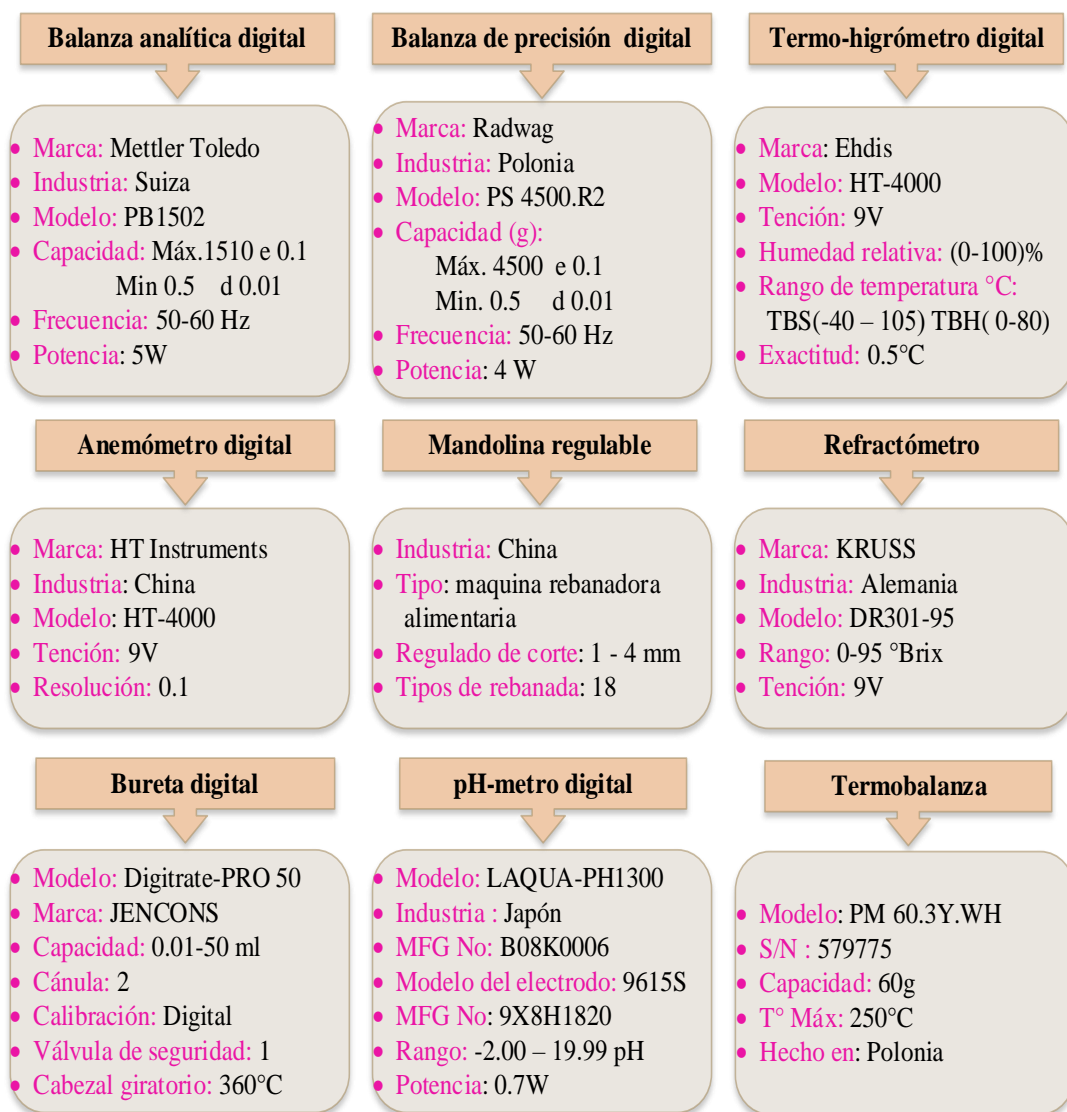


Fuente: LTA, 2022

Figura 3.5: Especificaciones técnicas de los equipos

3.5.4.2 Instrumentos de laboratorio

En la figura 3.6, se describen las especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio (Anexo H.2), que se utilizaron en el presente trabajo de investigación.



Fuente: LTA, 2022

Figura 3.6: Especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio

3.5.4.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio (Anexo H.3) que fueron utilizados en el presente trabajo, son detallados a continuación:

- **Espátula:** Material de acero inoxidable tamaño mediano.
- **Termómetro de sonda:** Calidad digital, de -5 a 70 °C.
- **Wernier manual:** Material acero unidad de medida (mm con 0,01 error).

- **Vaso de precipitado:** Material de vidrio y capacidad de 100 ml.
- **Pipeta:** Material de vidrio y capacidad de 10 ml.
- **Matraz Erlenmeyer:** Material de vidrio y capacidad 100 ml.
- **Bandeja de secado:** Material de aluminio, tamaño mediano (25 x 25) cm.

3.5.4.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina (Anexo H.4), que fueron utilizados para la obtención de rodajas de piña deshidratada se detallan a continuación:

- **Cuchillo:** Material de acero inoxidable, tamaño mediano.
- **Cuchara:** Material de acero inoxidable, tamaño, mediana.
- **Repasador:** Material de algodón, tamaño mediano.
- **Fuentes:** Material de plástico y aluminio, tamaño mediano.
- **Jarra:** Material de plástico, capacidad 1000 ml.
- **Vasos:** Material de plástico, tamaño 250 ml.
- **Tabla para cortar:** Material de madera tamaño pequeño.
- **Escurreidor:** Material de plástico, tamaño mediano.
- **Platos:** Material de plástico y vidrio, tamaño mediano.
- **Bolsas:** Material de polipropileno de alta densidad, tamaño 14 x 20 cm.

3.6 Insumos y aditivos alimentarios

Los insumos y aditivos alimentarios que se utilizaron para realizar los pretratamientos en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

- **Azúcar:** Estado sólido (refinado), marca I.A.B.S.A., procedencia Tarija y calidad alimentaria.
- **Agua destilada:** Estado líquido, procedencia boliviana y calidad alimentaria.
- **Ácido cítrico anhidro:** Estado sólido (granulado), marca SOLQUIFAR, procedencia Santa Cruz y calidad alimentaria.

- **Ácido ascórbico:** Estado sólido, marca MAPRIAL S.R.L., procedencia Santa Cruz y calidad alimentario.
- **Dextrosa monohidratada:** Estado edulcorante sólido (polvo), marca MAPRIAL S.R.L., procedencia Cochabamba y calidad alimentaria.

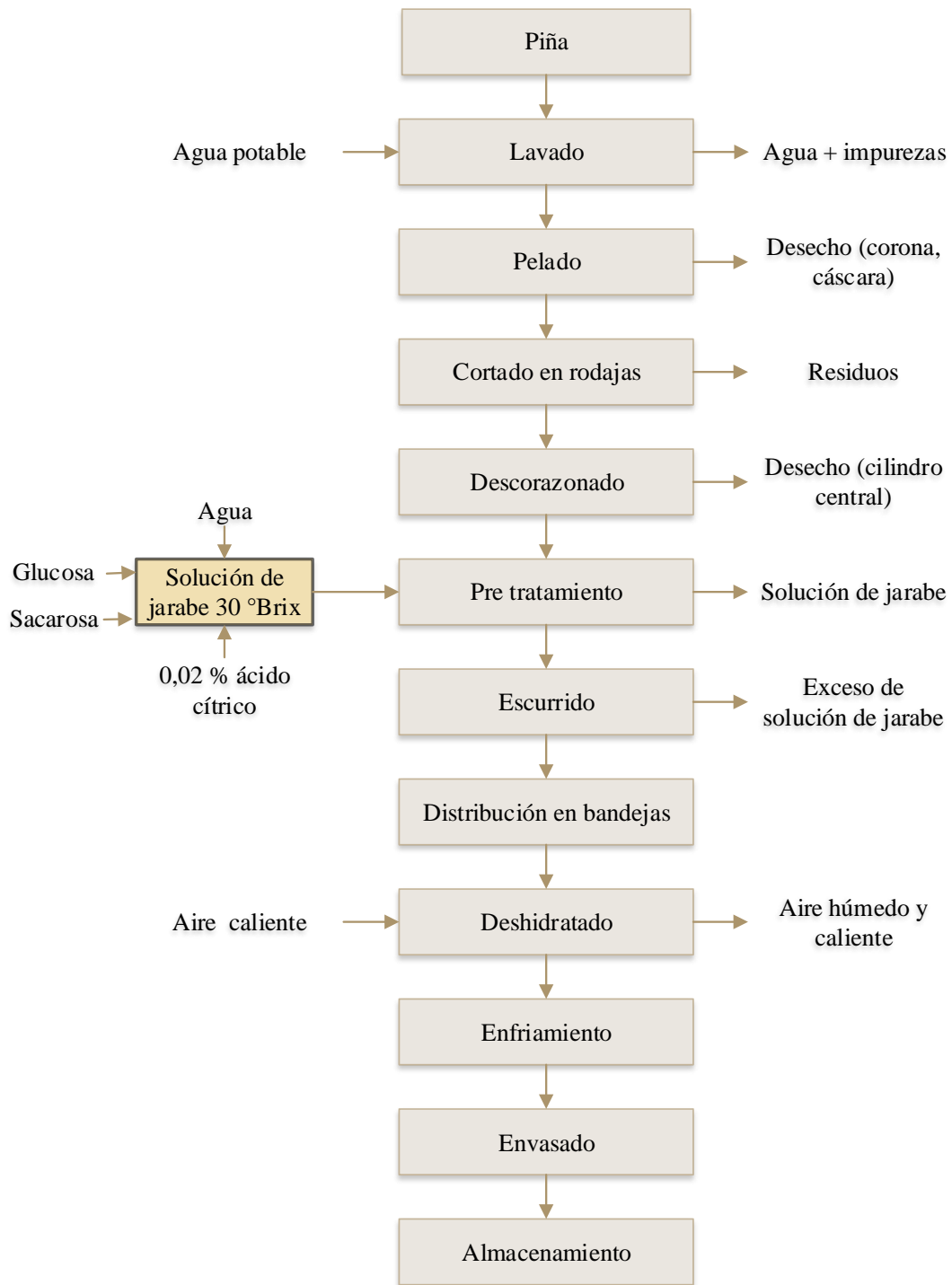
3.7 Reactivos químicos de laboratorio

Los reactivos químicos que fueron utilizados en la parte experimental del presente trabajo, se detallan a continuación.

- **Hidróxido de sodio:** Concentración 0.1 N, procedencia boliviana, cantidad 1000 ml
- **Fenolftaleína:** Concentración 1 %, procedencia boliviana, cantidad 250 ml.
- **Alcohol etílico:** Concentración 70 %, procedencia boliviana, cantidad 500 ml.

3.8 Diagrama de flujo del proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada

En la figura 3.7, se muestra el diagrama de flujo del proceso para la obtención de rodajas de piña deshidratada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Diagrama del proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada

3.8.1 Descripción del diagrama de flujo para la obtención de rodajas de piña deshidratada

A continuación, se describe cada proceso para obtener rodajas de piña deshidratada

Piña: En la figura 3.8, se muestra la piña que se utilizó realizar la parte experimental variedad (*Cayena Lisa*) la cual después de su adquisición en el mercado es llevada al Laboratorio de Taller de Alimentos y colocada en un recipiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8: Piña

Lavado: En la figura 3.9, se muestra el lavado que consiste en colocar la piña en un recipiente con agua potable que mediante inmersión se realiza el lavado, con el fin de eliminar suciedad como tierra e impurezas adheridas en el exterior de la piña.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Etapa de lavado

Pelado: En la figura 3.10, se muestra el proceso de pelado donde se procedió a quitar la parte no comestible (corona y cáscara) con la ayuda de un cuchillo y una tabla para cortar, dejando la parte comestible de la piña.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Etapa de pelado

Cortado en rodajas: En la figura 3.11, se muestra el cortado que se realiza mediante una mandolina regulable de acero inoxidable, donde se corta la piña en rodajas de 3 mm de grosor para facilitar el proceso de deshidratación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11: Cortado en rodajas

Descorazonado: Luego de rebanar la piña, quitamos el cilindro central (corazón) con la ayuda de un cuchillo y una tabla de madera para cortar, como se muestra en la figura (3.12).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Descorazonado

Pre-tratamiento: Para realizar el pre tratamiento se preparó una solución de jarabe de 30°Brix el cual contiene 70 % de jarabe de sacarosa, 29,98 % jarabe de glucosa y 0,02 % ácido cítrico, luego la piña se sumerge en una relación piña-jarabe 1:2, a temperatura ambiente y por un tiempo de 30 minutos, como se muestra en la (figura 3.13).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Pretratamiento

Escurreido: En la figura 3.14, se muestra el proceso de escurrir que consiste en colocar las rodajas de piña en un colador por unos 5 minutos para dejar escurrir el exceso de solución de jarabe.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14: Escurreido

Distribución: En la figura 3.15, se muestra el proceso de distribución de las rodajas de piña en bandejas de malla milimétrica para llevar al secador, estas se deben distribuirse uniformemente sin colocarse encimadas para facilitar el proceso de secado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15: Distribución en bandeja

Deshidratado: En el proceso de deshidratado primeramente se debe calentar el secador por unos 30 min. aproximadamente hasta que alcance la temperatura de trabajo (50 - 60) °C, también se debe ajustar la velocidad del aire (3 - 5) m/s regulando en el generador de aire que se encuentra en la entrada del secador.

Después de ajustar las condiciones de secado, se procede a introducir la bandeja de malla milimétrica distribuida con la muestra (figura 3.16). Así mismo, se controló la variación de pérdida de peso. Para lo cual, se realizó pesando la bandeja con las rodajas de piña en una balanza de precisión digital que se encuentra sujeta por un soporte metálico encima del secador, se tomó datos cada 20 minutos hasta peso constante con la finalidad de obtener el contenido de humedad en base seca. .



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16: Deshidratado

Enfriamiento: Al salir del secador se deja enfriar las rodajas de piña ya deshidratada para evitar la exudación en el empaque, esto se hace por un tiempo de 3 minutos como se muestra en la (figura 3.17).



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.17: Enfriamiento

Envasado: En la figura 3.18, se muestra las rodajas de piña ya deshidratadas y envasadas en bolsas zipper de polipropileno de alta densidad con el fin de conservar el producto y proteger de la humedad del medio.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.18: Envasado

Almacenado: En la figura 3.19, se muestra la etapa de almacenado del producto terminado que se realizó en caja de cartón a temperatura ambiente para proteger de la luz y conservar la calidad del producto, como también proteger de agentes contaminantes como (insectos).



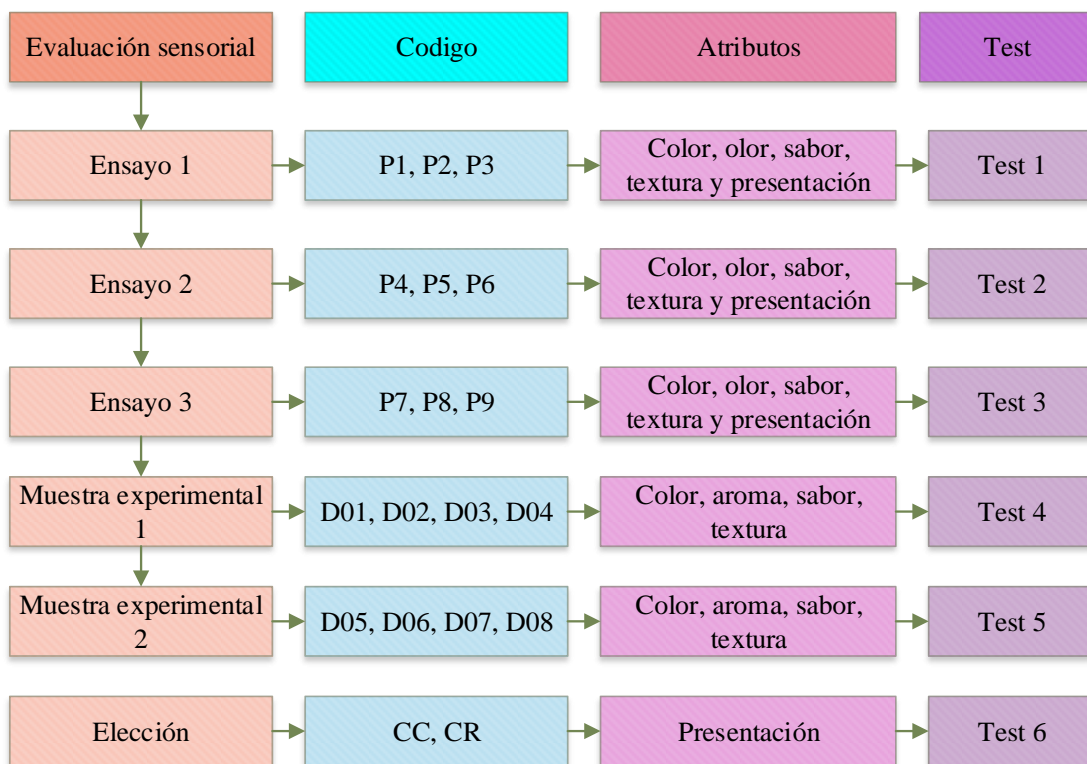
Fuente: Elaboración propia
Figura 3.19: Almacenado

3.9 Evaluación sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial es una disciplina científica mediante la cual se evalúan las propiedades organolépticas a través del uso de uno o más de los sentidos humanos. Mediante esta evaluación se puede conocer que opina el consumidor sobre un determinado alimento, su aceptación o rechazo, así como su nivel de agrado y criterios que se tienen en cuenta para la formulación y desarrollo de los mismos. (Espinosa, 2020)

Según (Hernández, 2005), la evaluación sensorial también es considerada como “el análisis de las propiedades sensoriales, se refiere a la medición y cuantificación de los productos alimenticios o materias primas evaluados por los cinco sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín sensus, que significa sentido”.

En la figura 3.20, se detalla las evaluaciones sensoriales realizadas para la obtención de rodajas de piña deshidratada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20: Evaluaciones sensoriales de las rodajas de piña deshidratada

3.10 Diseño experimental

Diseñar estadísticamente un experimento es realizar una prueba o una serie de pruebas buscando caracterizar las variables explicativas o factores (X_i) de mayor influencia en un ensayo de interés, evaluado a través de una o varias variables respuesta(s), tal que si deliberada o sistemáticamente se introducen cambios controlados en algunas de las variables explicativas del proceso, siempre sea posible observar o cuantificar los cambios que estos generan en la(s) variable(s) respuesta(s). Adicionalmente, se busca minimizar el efecto de las variables no controlables (covariables), procurando con ello estabilizar y minimizar la variabilidad de las respuestas, identificando los factores que contribuyen a las mayores causas de variabilidad. (Melo et al., 2020)

3.11 Diseño factorial 2^k

Un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores, los factores pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo, para estudiar la manera en que influyen cada factor sobre la variable de respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. Con el diseño factorial completo se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de factores a investigar. En general la familia de los diseños 2^k consiste en k factores, todos con dos niveles de prueba cada uno, que es uno de los diseños de mayor impacto en la industria y en la investigación, debido a su eficiencia y versatilidad. En la ecuación 3.1, se muestra el diseño factorial. (Gutiérrez & Vara, 2008)

$$2^k$$

Ecuación 3.1

Donde:

2 = número de niveles

K = número de variables

3.11.1 Diseño factorial 2^3

El diseño factorial 2^3 estudia tres factores en dos niveles cada uno. Consta de $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos diferentes. La matriz de diseño se construye fácilmente alternando el signo menos y el signo más en la primera columna, dos menos y dos más en la segunda columna y cuatro menos y cuatro más en la tercera columna que resulta acomodado en el orden estándar o de Yates. (Gutiérrez & Vara, 2008)

Un análisis de regresión para el diseño factorial 2^3 tiene como objetivo modelar en forma matemática el comportamiento de una o varias variables respuesta en función de una variable independiente (factores), existen varias variables independientes que se cree que influye con una variable respuesta. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión del diseño factorial 2^3 a ser aplicado. (Gutiérrez & Vara, 2008)

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

Ecuación 3.2

Donde:

Y = variable respuesta

β = coeficiente de regresión

$X_A X_B X_C$ = Variables independientes (factores)

3.11.2 Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado de las rodajas de piña

Para realizar el diseño experimental en el proceso de secado de las rodajas de piña, se aplicó un diseño factorial de 2^3 como se muestra en la ecuación 3.3.

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

Donde las variables propuestas y sus niveles de variación de cada factor son los siguientes:

A = Temperatura de secado (A) = 2 niveles

B = Velocidad del aire de secado (B) = 2 niveles

C = Forma del corte (C) = 2 niveles

En el cuadro 3.1, se muestra la matriz del diseño factorial aplicado en la etapa de secado para la obtención de rodajas de piña deshidratada conformado por tres variables: temperatura de secado (A), velocidad del aire (B) y forma de corte (C).

Cuadro 3.1

Matriz experimental en la etapa de secado de las rodajas de piña deshidratada

| Combinación de tratamientos | Variables | | | Interacciones | | | | Y _{i1} | Y _{i2} |
|-----------------------------|-----------|---|---|---------------|----|----|-----|-----------------|-----------------|
| | A | B | C | AB | AC | BC | ABC | | |
| (1) | - | - | - | + | + | + | - | Y _{i1} | Y _{i1} |
| A | + | - | - | - | - | + | + | Y _{i2} | Y _{i2} |
| B | - | + | - | - | + | - | + | Y _{i3} | Y _{i3} |
| Ab | + | + | - | + | - | - | - | Y _{i4} | Y _{i4} |
| C | - | - | + | + | - | - | + | Y _{i5} | Y _{i5} |
| Ac | + | - | + | - | + | - | - | Y _{i6} | Y _{i6} |
| Bc | - | + | + | - | - | + | - | Y _{i7} | Y _{i7} |
| Abc | + | + | + | + | + | + | + | Y _{i8} | Y _{i8} |

Fuente: Gutiérrez & Vara, 2008

Donde la variable respuesta (Y_i) es el contenido de humedad en base seca.

En el cuadro 3.2, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo) a ser aplicado en el proceso de secado por aire caliente en rodajas de piña; conformado por las tres variables tomadas en cuenta en el presente trabajo.

Cuadro 3.2

Niveles de variación en el proceso de secado

| Variables | Nivel bajo | Nivel alto | Unidades |
|----------------------------------|------------|------------|----------|
| Temperatura de secado (A) | 50 | 60 | °C |
| Velocidad del aire de secado (B) | 3 | 5 | m/s |
| Forma del corte (C) | 1 | 2 | - |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

1 = Rodajas divididas en cuatro (3 mm de grosor)

2 = Rodajas enteras (3 mm de grosor)

3.12 Operacionalización de las variables para la obtención de rodajas de piña deshidratada

En el cuadro 3.3, se muestran la operacionalización de las variables dependientes e independientes para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo.

Cuadro 3.3

Operacionalización de las variables para el presente trabajo

| Hipótesis | Variable | Definición | Indicadores | Escala |
|--|--|---|------------------------------|---------|
| El proceso de secado por aire caliente a nivel experimental permitirá obtener rodajas de piña deshidratada de calidad para el mercado local del departamento Tarija. | Variable dependiente: Rodajas de piña deshidratada | Fruta natural a la que se aplica un proceso de deshidratación para reducir su contenido interno del agua y conservando las propiedades de la piña (Montesino, 2014) | Humedad | % |
| | | | Ceniza | % |
| | | | Grasa | % |
| | | | Hidratos de carbono | % |
| | | | Fibra | % |
| | | | Valor energético | Kcal |
| | | | Azúcares reductores | % |
| | | | Azúcares totales | % |
| | | | Acidez | % |
| | | | pH | - |
| | | | Potasio | mg/100g |
| | | | Calcio | mg/100g |
| | | | Coliforme totales | UFC/g |
| | Mohos y levaduras | UFC/g | | |
| | Staphylococcus aureus | UFC/g | | |
| | Color, olor, sabor, textura y presentación | Escala hedónica | | |
| Variable independiente Proceso de secado por aire caliente | Método de conservación mediante la aplicación de aire caliente bajo condiciones controladas para remover la mayor cantidad del agua presente en los alimentos (Espinoza, 2016) | Tiempo de secado | h | |
| | | Temperatura de secado | °C | |
| | | Velocidad del aire | m/s | |
| | | Contenido de humedad base seca | Kg de agua/kg de sólido seco | |

Fuente: Elaboración propia

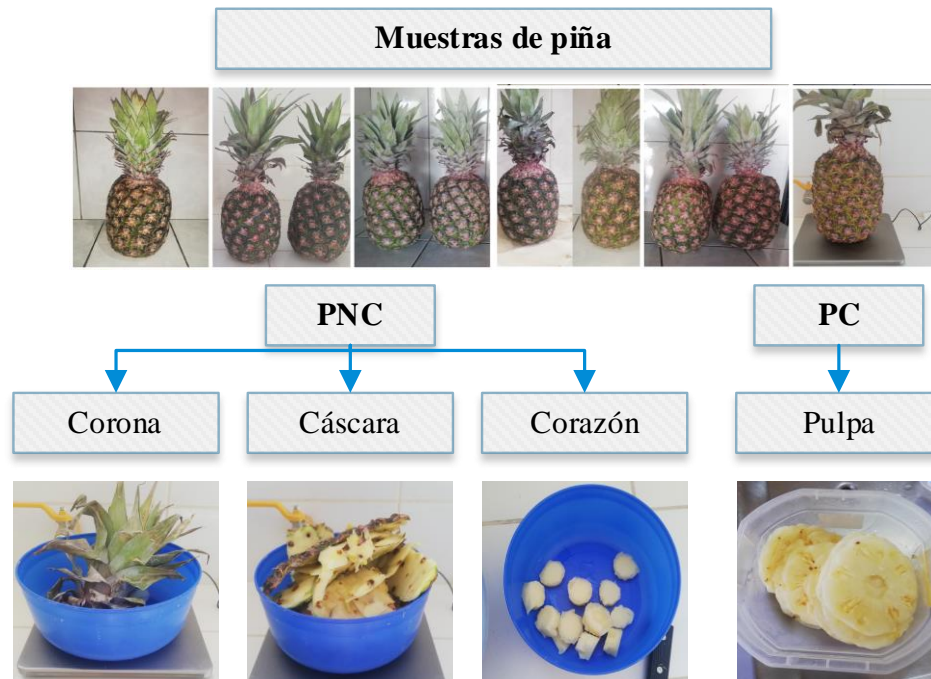
CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la piña

Para la caracterización de la piña (*Ananas Comosus*), variedad (*Cayena Lisa*), se tomaron en cuenta los análisis: físicos, índice de madurez, fisicoquímico y microbiológico.

4.1.2 Análisis físicos de la piña

Para la determinación del análisis físico, se utilizaron 10 muestras de piña (*Ananas Comosus*) donde los parámetros que se analizaron son: altura, diámetro, peso total, porción comestible (pulpa), porción no comestible (cáscara, cilindro central y corona), rodajas útiles y rodajas no útiles. En la figura 4.1, se puede observar las diez muestras de piña utilizadas para determinar porción no comestible (PNC) y porción comestible (PC).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Muestras de piña (porción no comestible y porción comestible)

Posteriormente los resultados obtenidos del análisis físico de la piña, se muestran en la tabla 4.1, los cuales fueron realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4.1*Análisis físico de la piña*

| Muestras | Altura (cm) | Diámetro (cm) | Peso total (g) | PC pulpa (g) | PNC cáscara (g) | PNC cilindro central (g) | PNC corona (g) | PC (%) | PNC (%) | Rodajas útiles (%) | Rodajas no útiles (%) |
|-----------|-------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|--------------------------|----------------|--------|---------|--------------------|-----------------------|
| 1 | 17,08 | 12,46 | 1755,09 | 913,03 | 588,92 | 102,54 | 150,60 | 52,02 | 47,98 | 88,24 | 11,76 |
| 2 | 16,09 | 11,70 | 1660,84 | 865,33 | 536,46 | 105,72 | 153,33 | 52,10 | 47,90 | 79,55 | 20,45 |
| 3 | 18,08 | 12,08 | 1885,36 | 1016,40 | 618,61 | 112,43 | 137,92 | 53,91 | 46,09 | 85,11 | 14,89 |
| 4 | 18,01 | 11,63 | 1878,74 | 937,30 | 658,32 | 114,79 | 168,33 | 49,89 | 50,11 | 89,74 | 10,26 |
| 5 | 16,09 | 11,74 | 1804,26 | 926,69 | 585,00 | 104,14 | 188,43 | 51,36 | 48,64 | 89,58 | 10,42 |
| 6 | 16,09 | 11,89 | 1635,33 | 823,25 | 538,29 | 78,87 | 194,92 | 50,34 | 49,66 | 91,49 | 8,51 |
| 7 | 15,98 | 11,71 | 1596,88 | 798,06 | 507,20 | 80,95 | 210,67 | 49,98 | 50,02 | 90,74 | 9,26 |
| 8 | 18,06 | 12,14 | 2202,67 | 1140,74 | 666,96 | 116,55 | 278,42 | 51,79 | 48,21 | 89,29 | 10,71 |
| 9 | 20,30 | 11,91 | 2326,65 | 1252,55 | 728,25 | 125,70 | 220,15 | 53,83 | 46,17 | 91,22 | 8,77 |
| 10 | 18,27 | 12,81 | 2518,31 | 1333,21 | 793,76 | 159,83 | 231,51 | 52,94 | 47,06 | 91,53 | 8,47 |
| \bar{X} | 17,41±0,05 | 12,01±0,05 | 1926,41±0,01 | 1000,66±0,01 | 622,18±0,01 | 110,15±0,01 | 193,43±0,01 | 51,82 | 48,18 | 88,649 | 11,35 |

Fuente: Elaboración propiaDonde: \bar{X} = promedio

En la tabla 4.1, se puede observar los valores promedios del análisis físico de la piña los cuales presentan: altura $17,41 \pm 0,05$ cm; diámetro $12,01 \pm 0,05$ cm; peso total $1926,41 \pm 0,01$ g; porción comestible (PC) 51,82 % y porción no comestible (PNC) 48,18 %, rodajas útiles 88,65 % y rodajas no útiles 11,35 %.

4.1.3 Índice de madurez de las muestras de piña

Con el fin de conocer el grado de madurez de la piña variedad (*Ananas comosus*) se procedió a determinar el índice de madurez (Anexo D.4) de 10 muestras de piña y para lo cual se realizaron los análisis de: sólidos solubles (Anexo D.1) y acidez (Anexo D.3). Así mismo, se determinó el pH (Anexo D.2) donde los resultados de los parámetros se muestran en la tabla 4.2 y los cuales fueron realizados en el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Tabla 4.2

Parámetros del índice de madurez de la piña

| Muestras | Sólidos solubles (Brix) | Acidez (%) | pH | Índice de madurez (IM) |
|-----------|-------------------------|------------|--------------|------------------------|
| 1 | 10,9 | 0,62 | 3,89 | 17,58 |
| 2 | 10,4 | 0,56 | 3,85 | 18,57 |
| 3 | 10,4 | 0,71 | 3,68 | 14,65 |
| 4 | 10,5 | 0,57 | 3,61 | 18,42 |
| 5 | 9,6 | 0,54 | 3,54 | 17,78 |
| 6 | 11,0 | 0,72 | 3,77 | 15,28 |
| 7 | 09,4 | 0,43 | 3,69 | 21,86 |
| 8 | 10,0 | 0,45 | 3,91 | 22,22 |
| 9 | 09,9 | 0,48 | 3,93 | 20,63 |
| 10 | 10,2 | 0,43 | 3,81 | 23,72 |
| \bar{X} | 10,4 ± 0,1 | 0,55 | 3,77 ± 0,003 | 19,07 |

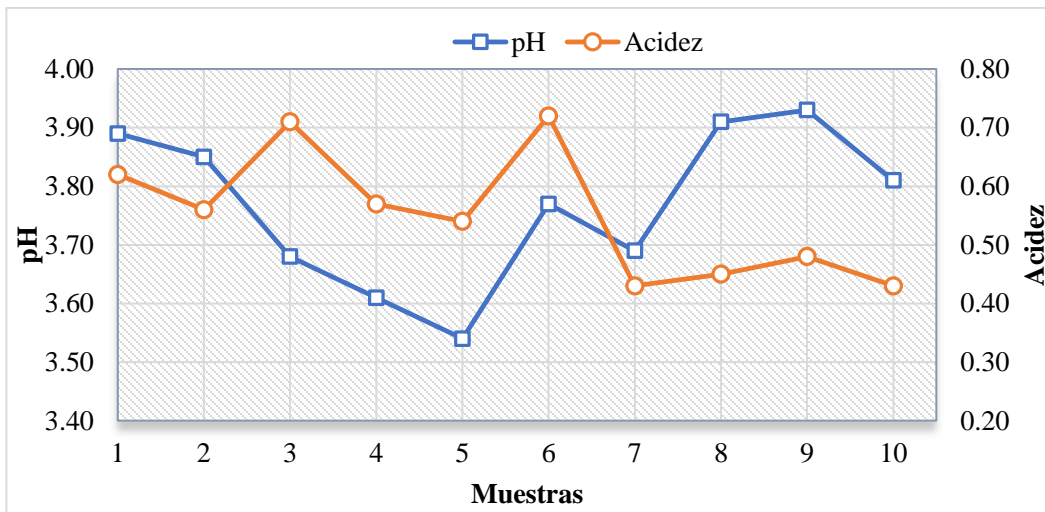
Fuente: Elaboración propia

Donde: \bar{X} = Promedio

En la tabla 4.2, se puede observar los valores promedio de los análisis realizados de las diez muestras de piña los cuales presentan: sólidos solubles $10,4 \pm 0,1$; acidez 0,55 %, pH $3,77 \pm 0,003$ e índice de madurez de 19,07.

4.1.3.1 Relación acidez vs pH en las muestras de piña

En la figura 4.2, se muestra la relación de la variación del pH y acidez en las 10 muestras de piña en base a los resultados de la tabla 4.2.

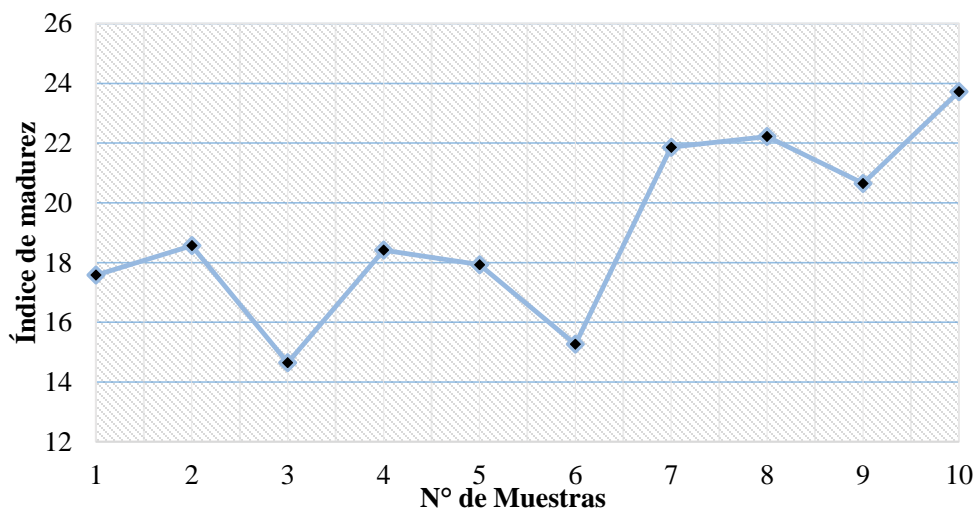


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Relación del pH y acidez de las muestras de piña

En la figura 4.2, se observa que la (muestra 1) tiene un pH de 3,89, luego las muestras 2, 3 y 4 fueron disminuyendo hasta la muestra (muestra 5) el cual presentó el pH mas bajo con 3,54. Posteriormente las muestras 6, 7 y 8 aumentaron hasta (muestra 9) que obtuvo el pH mas alto con 3,93, en relación del pH y acidez se observa una tendencia opuesta al disminuir el pH la acidez aumenta y viceversa.

En la figura 4.3, se muestra el índice de madurez de las 10 muestras de piña tomadas en cuenta en base a los resultados de la tabla 4.2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Índice de madurez de las diez muestras de piña

En la figura 4.3, se puede observar que para la (muestra 1) el índice de madurez es 17,58 y aumenta hasta (muestra 2) con 18,57, luego disminuye (muestra 3) con 14,65 alcanzando el grado de madurez más bajo y aumenta hasta la (muestra 10) con 23,72 que presenta el mayor índice de madurez. Según (Morales et al., 2001) menciona que el grado de madurez de la piña debe encontrarse entre 21 - 27 (Pág. 67), lo que indica que las muestras tomadas en cuenta no presentan el mismo grado de madurez y se encuentran entre 14,65 y 23,72 de índice de madurez.

4.1.4 Análisis fisicoquímico de la piña

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

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímicos de la piña

| Parámetros | Unidad | Resultado |
|-------------------------|-----------|-----------|
| Ácido cítrico | % | 0,75 |
| Ceniza | % | 0,39 |
| Fibra | % | 0,23 |
| Grasa | % | 0,08 |
| Hidratos de carbono | % | 10,48 |
| Humedad | % | 88,56 |
| Proteína total (Nx6,25) | % | 0,26 |
| pH (20°C) | - | 3,85 |
| Valor energético | Kcal/100g | 43,68 |

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.3, se puede observar que la piña (*Ananas comosus*) contiene: ácido cítrico (0,75 %); ceniza (0,39 %); fibra (0,23 %); grasa (0,08 %); hidratos de carbono (10,48 %); humedad (88,56 %); proteína total (0,26 %); pH (3,85) y valor energético (43,68 Kcal/100 g).

4.1.5 Análisis microbiológico de la piña

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

Tabla 4.4

Análisis microbiológicos de la piña

| Microorganismos | Unidad | Resultados |
|--|--------|-------------------------|
| Coliformes fecales | UFC/g | $< 1,0 \times 10^1$ (*) |
| Coliformes totales | UFC/g | $4,0 \times 10^1$ |
| Mohos y levaduras | UFC/g | $1,9 \times 10^3$ |
| (*) no se observa desarrollo de colonias | | |

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.4, se puede observar que la piña presenta: Coliformes fecales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); Coliformes totales $4,0 \times 10^1$ UFC/g; Mohos y Levaduras $1,9 \times 10^3$ UFC/g.

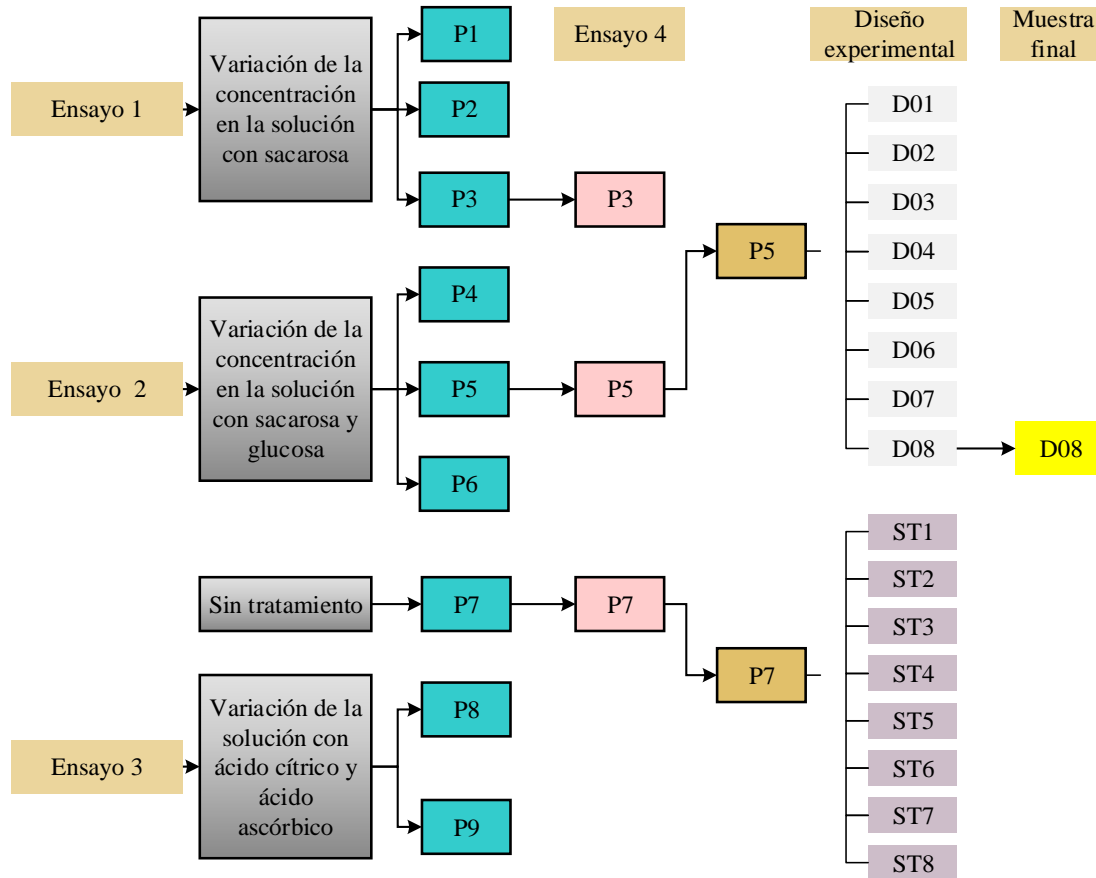
(*) = No se observa desarrollo de colonias. Según el reglamento Colombiano 003929 para el recuento de Mohos y Levaduras en pulpa de frutas el índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad es 1000 UFC/g y el índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de buena calidad es 3000 UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso en la obtención de rodajas de piña deshidratada

Para realizar la caracterización de las variables del proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos que se detallan a continuación:

4.2.1 Pretratamientos de las rodajas de piña deshidratada

Para realizar el presente trabajo de investigación, se procedió a realizar la elección del pretratamiento a ser utilizado para la obtención de las rodajas de piña deshidratada según lo expuesto por (Michelis & Ohaco, 2015), “el pretratamiento antes del proceso de secado minimiza las reacciones de pardeamiento” (Pág. 64). Para tal efecto, se prepararon soluciones de diferentes concentraciones como ser: jarabe de sacarosa, (ensayo 1), sacarosa-glucosa (ensayo 2), en soluciones acidas (ensayo 3) y una muestra sin tratamiento (natural). En la figura 4.4, se muestran los diferentes ensayos que fueron realizados experimentalmente para la obtención de las rodajas de piña deshidratada.

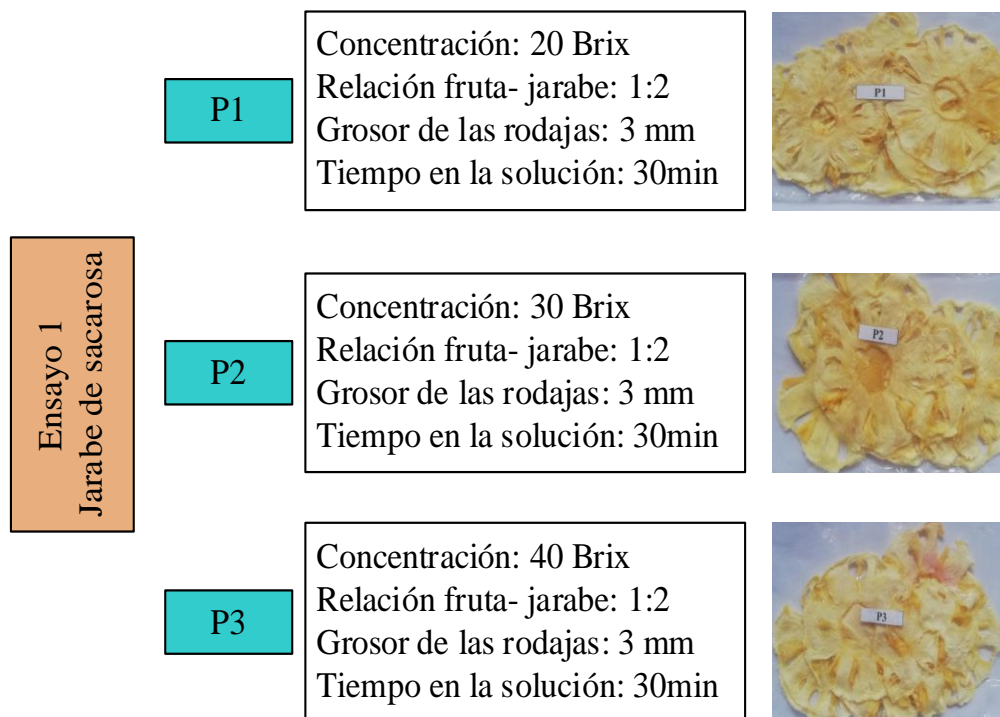


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Ensayos experimentales para la obtención de rodajas de piña deshidratada

4.2.2 Variación de la concentración del jarabe de sacarosa en el ensayo 1

Para realizar el ensayo 1, se precedió a preparar tres soluciones de jarabe de sacarosa en distintas concentraciones (20, 30 y 40) °Brix, según lo recomendado por (Núñez, 2018. Pág. 44) a temperatura ambiente (25 °C). Así mismo, se corrigió el pH de la solución para el ensayo 1 de acuerdo con el pH promedio de la pulpa de piña (3,77) extraído de la tabla 4.2; ya que según (Zapata & Castro, 1999). “Una disminución del pH en la solución del jarabe aumenta la pérdida de agua en la fruta” (Pág. 12). En la figura 4.5, se muestra el ensayo 1 con las tres muestras obtenidas de rodajas de piña deshidratada.



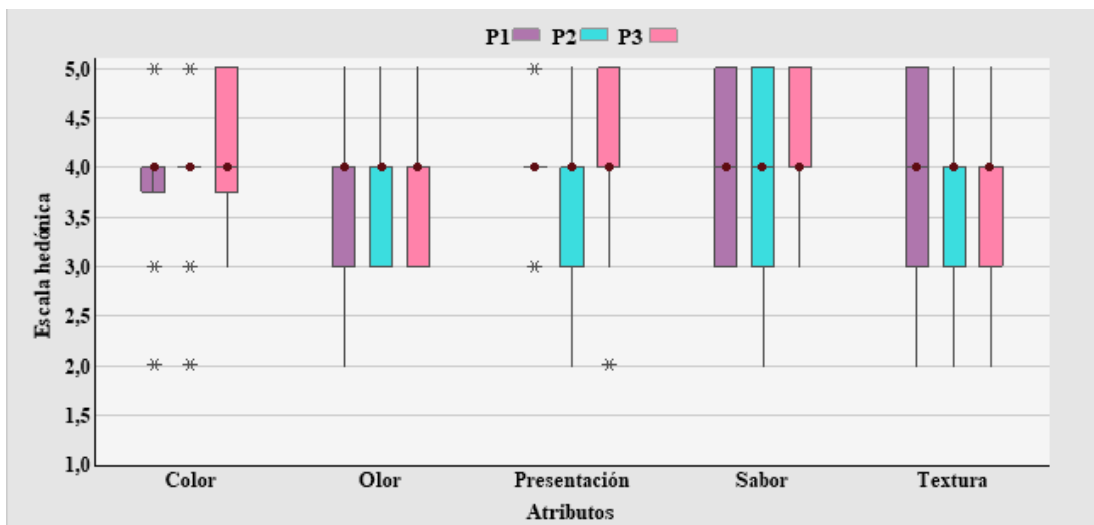
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Variación de la concentración del jarabe de sacarosa para el ensayo 1

En base a las muestras P1, P2 y P3, se procedió a realizar una evaluación sensorial; utilizando 22 jueces no entrenados y donde evaluaron los atributos color, olor, presentación, sabor y textura; utilizando una escala hedónica de cinco puntos.

4.2.2.1 Estadístico caja y bigote en la variación de la concentración de la solución con jarabe de sacarosa

En la figura 4.6, se muestra la caja y bigote en la variación de solución de jarabe de sacarosa (ensayo 1), realizado en el pretratamiento de datos extraídos del Anexo C, para el atributo; color (tabla C.1), olor (tabla C.2), sabor (tabla (C.3), textura (tabla C.4) y presentación (tabla C.5).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Caja y bigote de las muestras variando la concentración de sacarosa

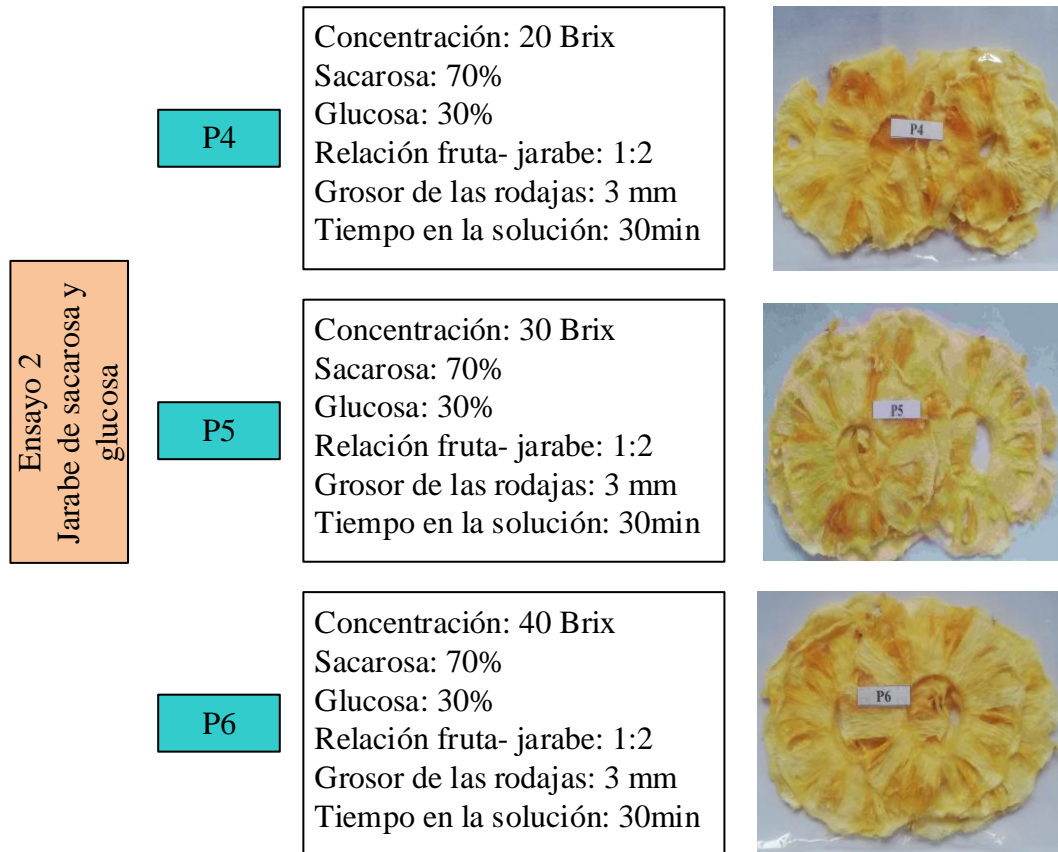
En la figura 4.6, se muestra la caja y bigote de las tres muestras (P1, P2 y P3) en función de los atributos y donde los resultados en función de las medianas y posición de la caja: atributo color 4,0 (P2); olor 4,0 (P3); presentación 4,0 (P1); sabor 4,0 (P3) y textura 4,0 (P3). Así mismo, realizado el análisis de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa para los atributos analizados en un nivel de confianza del 95 %.

De acuerdo la preferencia de los jueces, se precedió a elegir la muestra P3, según los atributos olor, sabor y textura que presentó mayor aceptación. Por lo tanto, se pudo evidenciar que, a mayor concentración de la solución, la ganancia de sólido durante el pretratamiento es mayor que la pérdida de agua.

4.2.3 Variación de la concentración del jarabe de sacarosa y glucosa del ensayo 2

Para realizar el ensayo 2, se precedió a preparar tres soluciones de jarabe de sacarosa y glucosa en distintas concentraciones (20, 30 y 40) °Brix según lo recomendado por (Núñez, 2018, Pág. 44). La relación que se utilizó en la solución es del 70 % de sacarosa y 30 % de glucosa, a temperatura ambiente (25 °C). Así mismo, se corrigió el pH de la solución para el ensayo 2 de acuerdo con el pH promedio de la pulpa de piña (3,77), extraído de la tabla 4.2; ya que según (Zapata & Castro, 1999). “Una disminución del pH

en la solución del jarabe aumenta la pérdida de agua en la fruta” (Pág. 12). En la figura 4.7, se muestra el ensayo 2 con las tres muestras obtenidas de rodajas de piña.



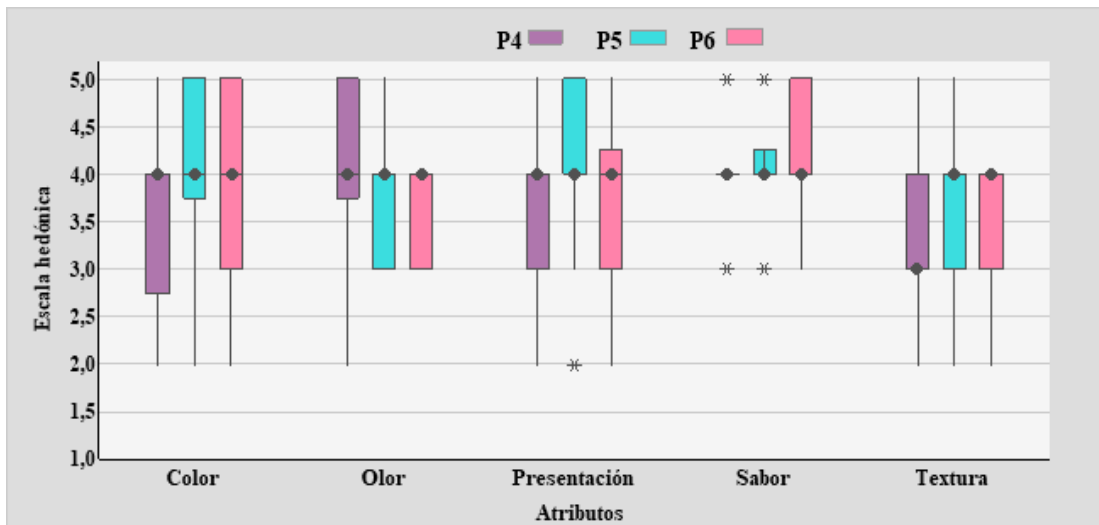
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Variación de la concentración del jarabe de sacarosa y glucosa para el ensayo 2

En base a las muestras P4, P5 y P6, se procedió a realizar una evaluación sensorial; utilizando 22 jueces no entrenados y donde evaluaron los atributos color, olor, presentación, sabor y textura, utilizando una escala hedónica de cinco puntos.

4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote en la variación de la concentración de la solución de sacarosa y glucosa

En la figura 4.8, se muestra el estadístico caja y bigote de las muestras variando la concentración del jarabe de sacarosa y glucosa (ensayo 2) en el pretratamiento del ensayo 2 y de datos extraídos del Anexo C, para el atributo; color (tabla C.6), olor (tabla C.7), sabor (tabla (C.8), textura (tabla C.9) y presentación (tabla C.10).



Fuente: Elaboración propia

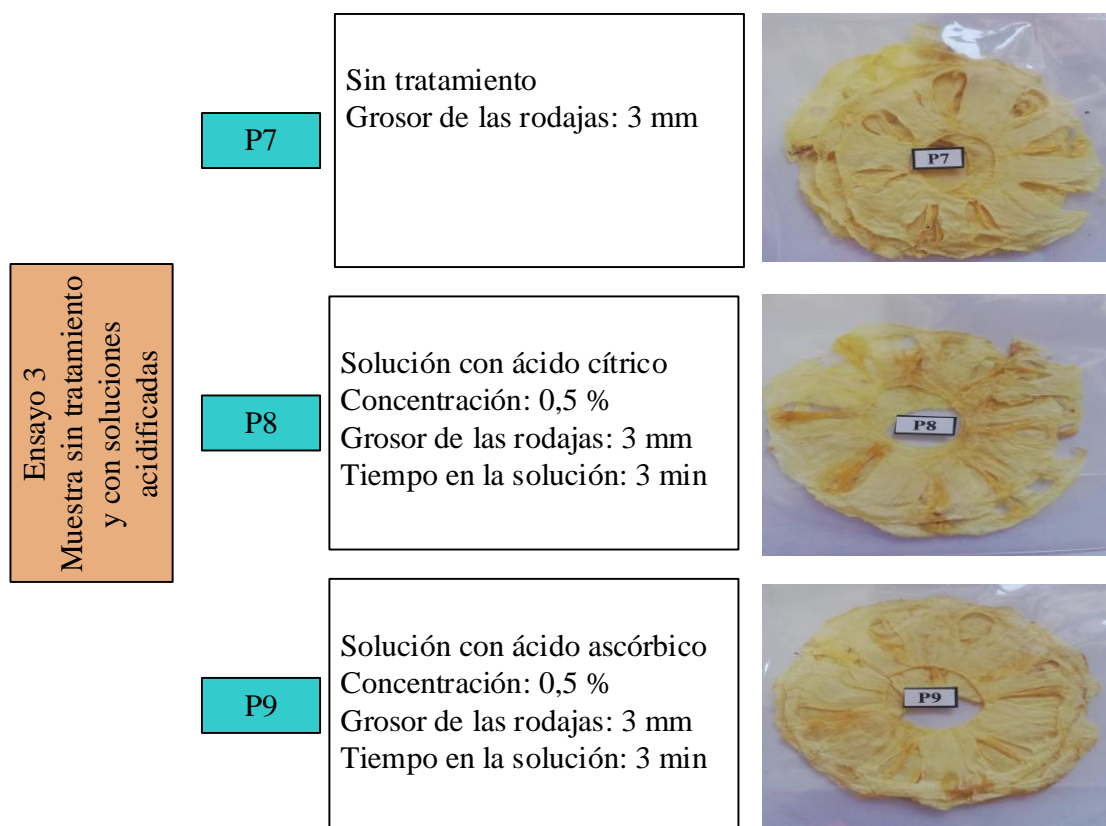
Figura 4.8: Estadístico caja y bigote en la variación del jarabe sacarosa y glucosa para el ensayo 2

En la figura 4.6, se muestra la caja y bigote de las tres muestras (P4, P5 y P6) en función de los atributos y donde los resultados en función de las medianas y posición de la caja: atributo color 4,0 (P5); olor 4,0 (P4); presentación 4,0 (P5); sabor 4,0 (P5) y textura 4,0 (P5). Así mismo, realizado el análisis de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa para los atributos analizados en un nivel de confianza del 95 %.

En base a la preferencia de los jueces de acuerdo al estadístico caja y bigote, se procedió a elegir la muestra P5 que presentó mayor aceptación en los atributos color, sabor, presentación y textura, y la cual preservó mejor el color.

4.2.4 Variación de las soluciones ácidas y natural del ensayo 3

Para el ensayo 3, se prepararon dos soluciones ácidas utilizando ácido cítrico (0,5 %) y ácido ascórbico (0,5 %), luego se cortaron las piñas en rodajas y fueron sumergidas en la solución por un tiempo de 3 minutos, también se realizó una muestra natural en las mismas condiciones de secado como se muestra en la figura 4.9.



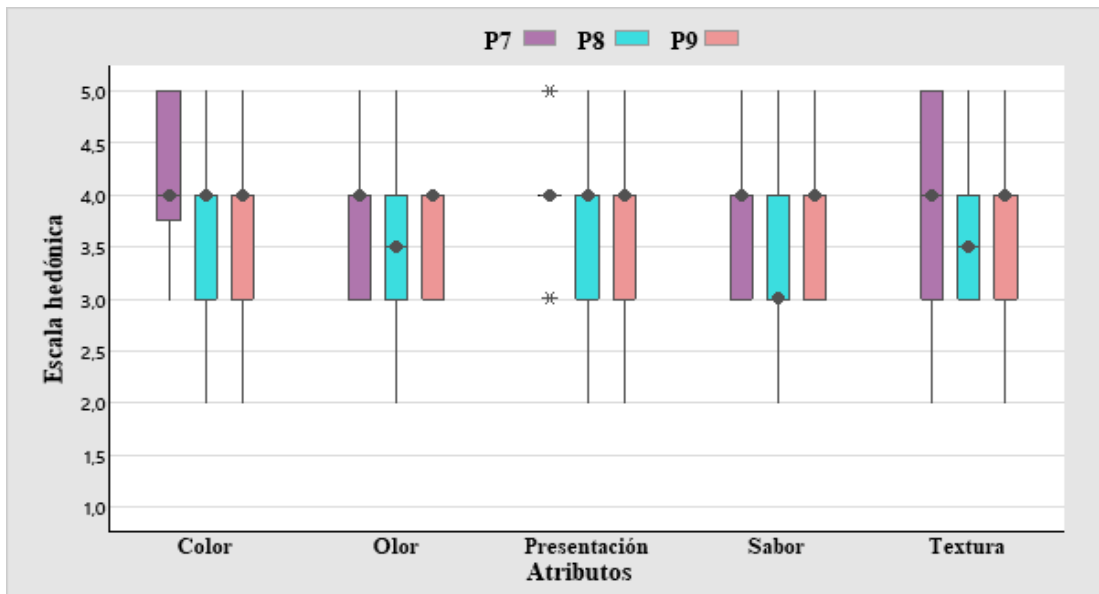
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Variación de las soluciones acidas y al natural

En base a las muestras P7, P8 y P9, se procedió a realizar una evaluación sensorial en escala hedónica de cinco puntos donde evaluaron 22 jueces no entrenados los atributos color, olor, sabor, textura y presentación.

4.2.4.1 Estadístico caja y bigote en la variación de las soluciones ácidas y sin tratamiento

En la figura 4.10, se muestra el estadístico caja y bigote de las muestras en la variación de la solución acidas y sin tratamiento (ensayo 3) de datos extraídos del Anexo C, para el atributo; color (tabla C.11), olor (tabla C.12), sabor (tabla (C.13), textura (tabla C.14) y presentación (tabla C.15).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Estadístico caja y bigote para la variación de la solución ácida y sin tratamiento del ensayo 3

En la figura 4.6, se muestra la caja y bigote de las tres muestras (P7, P8 y P9) en función de los atributos y donde los resultados en función de las medianas y posición de la caja: atributo color 4,0 (P7); olor 4,0 (P7); presentación 4,0 (P7); sabor 4,0 (P7) y textura 4,0 (P9). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que existe diferencia significativa en los atributos color y olor de las muestras para un nivel de confianza del 95 %.

4.2.4.1.1 Estadístico Tukey para el atributo color en la variación de la solución ácidas y sin tratamiento

En la tabla 4.5, se muestra el estadístico Tukey para el atributo color de las muestras P7, P8 y P9 del ensayo tres de datos extraídos de la tabla (C.11.2) del (Anexo C).

Tabla 4.5

Estadístico Tukey en el atributo color de las muestras del ensayo 3

| Muestras | N° de jueces | Media | Agrupación | |
|----------|--------------|-------|------------|---|
| P7 | 22 | 4,227 | A | |
| P9 | 22 | 3,727 | A | B |
| P8 | 22 | 3,500 | | B |

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.5, se puede evidenciar que existe diferencia significativa entre las muestras (P7 - P8), sin embargo, para los tratamientos (P7 - P9) y (P9 - P8) no existe diferencia significativa para un nivel de confianza del 95 %.

4.2.4.1.2 Estadístico Tukey para el atributo olor en la variación de las soluciones ácidas y sin tratamiento

En la tabla 4.6, se muestra el estadístico Tukey para el atributo olor de las muestras P7, P8 y P9 del ensayo tres de datos extraídos de la (tabla C.12.2) del (Anexo C).

Tabla 4.6

Estadístico Tukey en el atributo olor de las muestras del ensayo 3

| Muestras | N° de jueces | Media | Agrupación |
|----------|--------------|-------|------------|
| P7 | 22 | 3,909 | A |
| P9 | 22 | 3,545 | A |
| P8 | 22 | 3,500 | A |

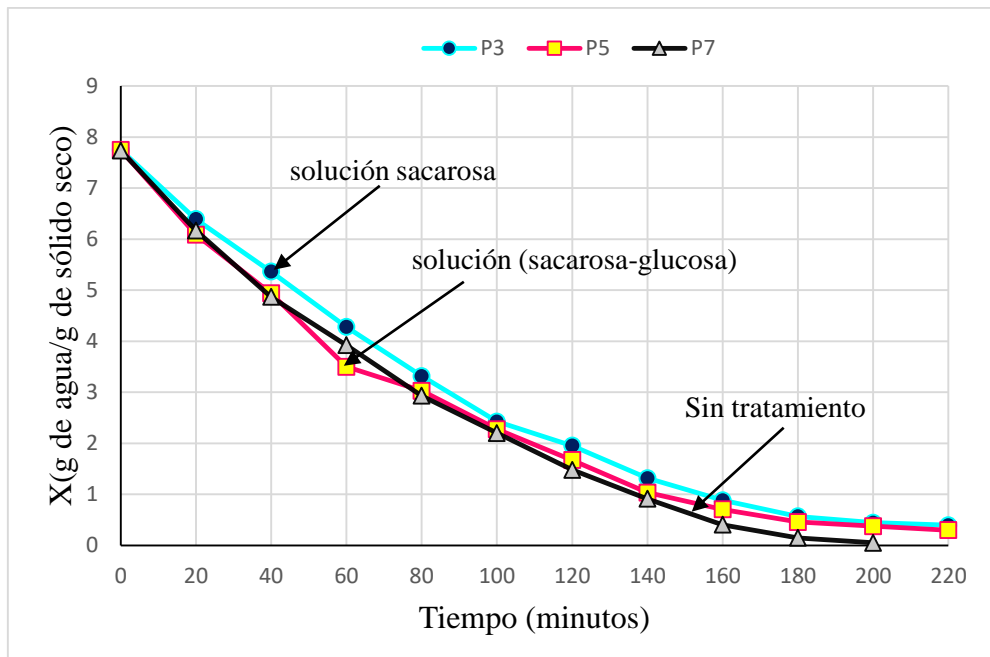
Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.6, se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre ninguna de las muestras, para un nivel de confianza del 95 %.

En base al estadístico caja y bigote de la evaluación sensorial se pudo observar que los jueces eligieron la muestra P7 (sin tratamiento), por no presentar sabor muy ácido a diferencia de las demás muestras.

4.2.5 Variación de pérdida de humedad en las muestras del ensayo 4

En la figura 4.11, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras seleccionadas P3, P5 y P7 la cual se determinó cada 20 minutos, utilizando las mismas condiciones de secado para las tres muestras donde; temperatura 55 °C, velocidad del aire 3 m/s, grosor de corte de las rodajas 3 mm. Los datos obtenidos para cada una de las muestras P3 (tabla F.2), P5 (tabla F.3) y P7 (tabla F.1) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Variación del contenido de humedad de las muestras vs tiempo

En la figura 4.11, se puede observar el contenido de humedad en base seca en función del tiempo para las muestras P3, P5 y P7, donde la muestra sin pretratamiento P7 pierde humedad más rápido alcanzando un contenido de humedad de 0,050 g de agua/g de sólido seco en un tiempo de 200 min. Posteriormente, la muestra P5 con 0,376 g de agua/g de sólido seco en un tiempo de 200 minutos y P3 con 0,446 g de agua/g de sólido seco en tiempo 200 min. Esta diferencia se debe de acuerdo con (Zapata & Castro, 1999), al utilizar soluciones azucaradas concentradas como pretratamiento es más difícil la pérdida de humedad durante el deshidratado, ya que la migración del agua desde el centro de la muestra es mucho más lenta debido a la presencia de los azúcares que crean una barrera en la superficie del producto. Pero sirve como capa protectora del tejido durante el deshidratado permitiendo la utilización del aire a mayor temperatura y preservando el color del producto.

Posteriormente, en la tabla 4.7, se muestra los resultados del contenido de humedad en base húmeda de las muestras P3 (solución de jarabe de sacarosa), P5 (solución de jarabe de sacarosa y glucosa) y P7 (sin tratamiento), utilizando el método de la termobalanza detallada en el (Anexo D.5).

Tabla 4.7

Contenido de humedad en base húmeda de las muestras con pretratamiento y sin tratamiento

| Muestras | Humedad en base húmeda (%) |
|-----------------|-----------------------------------|
| P3 | 11,3388 |
| P5 | 10,8645 |
| P7 | 9,9050 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7, se puede observar los resultados obtenidos de humedad en base húmeda de las muestras que presentan: P3 (11,3388 %); P5 (10,8645 %) y P7 (9,9050 %).

Finalmente, se tomó en cuenta la muestra P5 que obtuvo una pérdida de humedad en base seca menor (0,376) g de agua/g de sólido seco, en comparación con la muestra P3 (0,446) g de agua/g de sólido seco y la cual mantuvo mejor las características organolépticas en cuanto se refiere al color en la etapa de secado.

4.3 Diseño experimental en el proceso de secado de las rodajas de piña

El diseño experimental, se realizó en el proceso de secado en función de los niveles de variación del diseño factorial 2^3 de acuerdo al cuadro 3.2. Donde los factores tomados en cuenta son: Temperatura (50 - 60) °C, velocidad del aire (3 - 5) m/s, y forma de corte 1 y 2 donde (1 = rodajas divididas en cuatro y 2 = rodajas enteras) y la variable respuesta fue el contenido de humedad en base seca.

4.3.1 Diseño factorial 2^3 en el proceso de secado para las muestras de rodajas de piña sin pretratamiento

En la tabla 4.8, se muestra los factores que fueron controlados durante la etapa de deshidratado de las muestras sin pretratamiento y donde los resultados de la variable respuesta son el contenido de humedad en base seca. Donde para el factor forma de corte: 1 = rodajas divididas en cuatro y 2 = rodajas enteras.

Tabla 4.8

Contenido de humedad en base seca del proceso de secado de las muestras sin pretratamiento

| Combinación de tratamientos | Variables | | | Réplica I | Réplica II | Valores ajustados |
|-----------------------------|-------------|--------------------|----------------|-----------|------------|-------------------|
| | Temperatura | Velocidad del aire | Forma de corte | | | |
| | A | B | C | | | |
| (1) | 50 | 3 | 1 | 0,226 | 0,101 | 0,164 |
| a | 60 | 3 | 1 | 0,053 | 0,141 | 0,097 |
| b | 50 | 5 | 1 | 0,103 | 0,177 | 0,140 |
| ab | 60 | 5 | 1 | 0,051 | 0,056 | 0,054 |
| c | 50 | 3 | 2 | 0,204 | 0,255 | 0,023 |
| ac | 60 | 3 | 2 | 0,217 | 0,084 | 0,151 |
| bc | 50 | 5 | 2 | 0,122 | 0,202 | 0,162 |
| abc | 60 | 5 | 2 | 0,234 | 0,049 | 0,142 |

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1 Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado de las rodajas de piña deshidratada sin tratamiento

En la tabla 4.9, se muestran los resultados del análisis de varianza del diseño 2^3 para las muestras sin pretratamiento.

Tabla 4.9

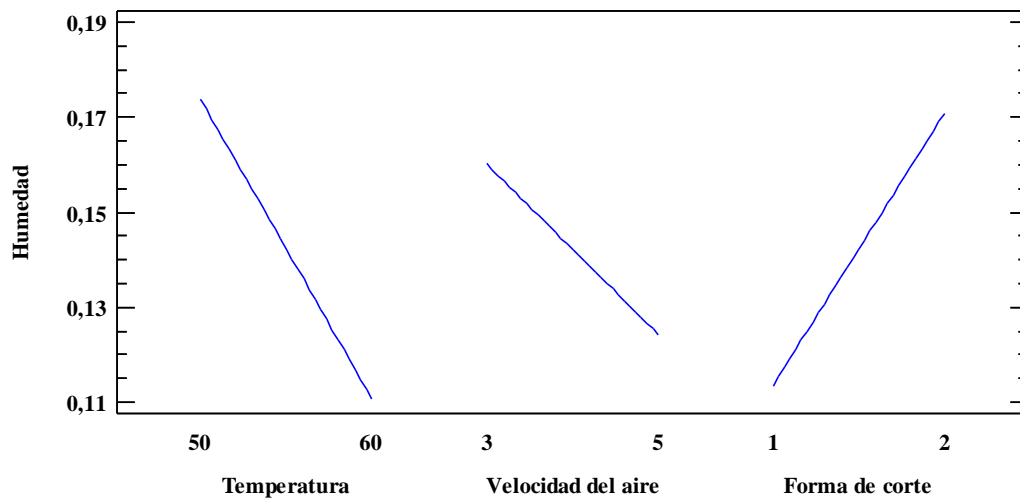
Análisis de varianza en el secado de las muestras sin pretratamiento

| Fuente de varianza | Suma de Cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado Medio | Fcal. | Ftab. | Valor-P |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|-------|---------|
| A:Temperatura | 0,015939 | 1 | 0,015939 | 2,84 | 5,318 | 0,1304 |
| B:Velocidad del aire | 0,005148 | 1 | 0,005148 | 0,92 | 5,318 | 0,3662 |
| C:Forma de corte | 0,013168 | 1 | 0,013168 | 2,35 | 5,318 | 0,1641 |
| AB | 0,000371 | 1 | 0,000371 | 0,07 | 5,318 | 0,8037 |
| AC | 0,000716 | 1 | 0,000716 | 0,13 | 5,318 | 0,7303 |
| BC | 0,000023 | 1 | 0,000022 | 0,00 | 5,318 | 0,9510 |
| ABC | 0,001541 | 1 | 0,001541 | 0,27 | 5,318 | 0,6145 |
| Error | 0,044893 | 8 | 0,005612 | | | |
| Total | 0,081796 | 15 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de varianza para las muestras sin pretratamiento tabla 4.9, se observa que para los factores: temperatura (A), velocidad del aire (B), forma de corte (C) e interacciones (AB, AC, BC, ABC) no existe diferencia significativa; ya que el valor de P es mayor a 0,05 y $F_{cal.} < F_{tab.}$ Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un límite de probabilidad del 95 %.

En la figura 4.12, se muestra los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad del aire) y C (forma de corte), con relación a la variable respuesta (contenido de humedad en base seca) de las muestras de rodajas de piña deshidratada sin pretratamiento.

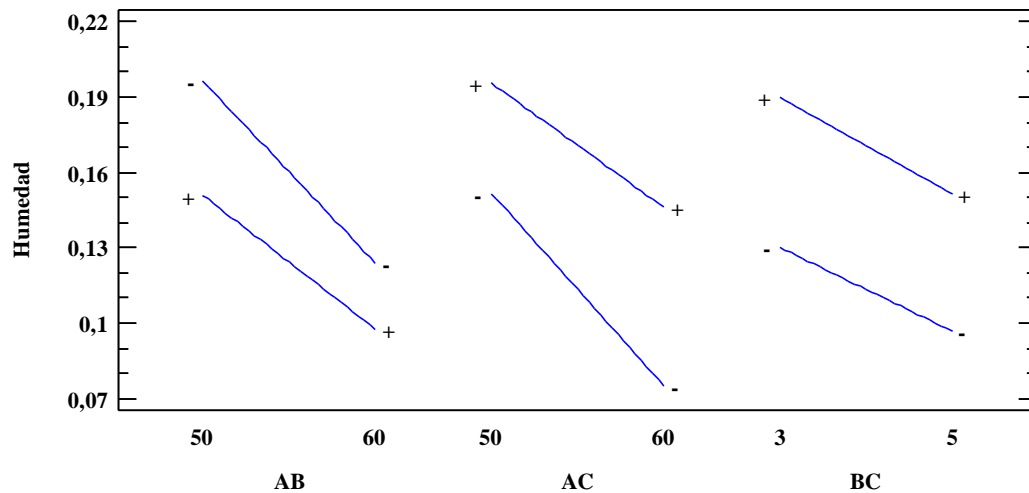


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Efectos principales con relación al contenido de humedad

En la figura 4.12, se observa que para los factores temperatura (50 y 60) °C influye significativamente en la variable respuesta contenido de humedad en base seca cuando se encuentra en su nivel bajo y alto, igualmente para el factor forma de corte (1 - 2), afecta significativamente en el contenido de humedad en base seca cuando se encuentra en su nivel alto y bajo, sin embargo, para el factor velocidad del aire influye significativamente leve para el nivel bajo 3 m/s y alto 5 m/s ya que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la figura 4.13, se muestra las interacciones de los factores AB (temperatura - velocidad del aire), AC (temperatura - forma de corte) y BC (velocidad del aire - forma de corte) respecto a la variable respuesta contenido de humedad en base seca para las muestras de rodajas de piña sin pretratamiento.

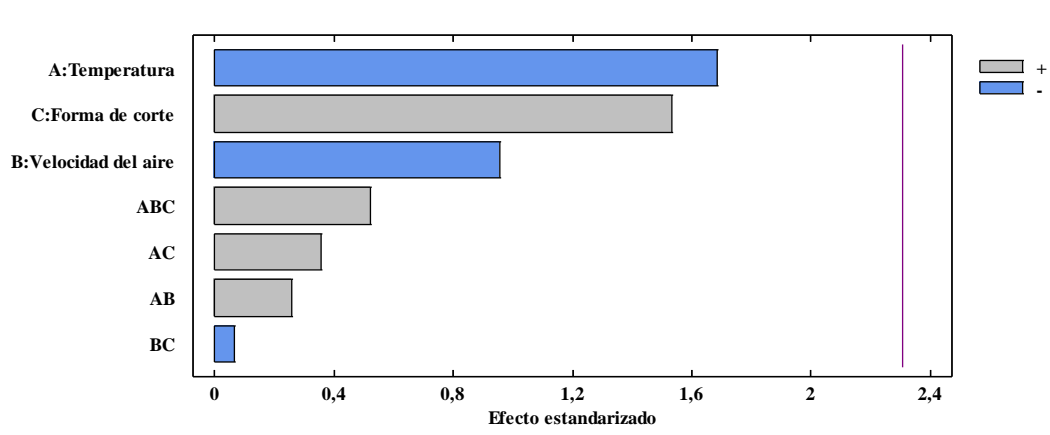


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad

En la figura 4.13, se puede observar que el contenido de humedad en base seca para la interacción AB se ve levemente afectado cuando la temperatura se encuentra en su nivel alto 60 °C y cuando velocidad del aire se encuentra en su nivel alto y bajo ya que es mínimo la variación del contenido de humedad, sin embargo, para el nivel bajo 50 °C el contenido de humedad aumenta y se ve afectado significativamente leve para el nivel alto y bajo de velocidad del aire. Para la interacción AC a temperatura 60 °C el contenido de humedad se ve afectado significativamente cuando la forma de corte se encuentra en su nivel alto y bajo y a temperatura 50 °C el contenido de humedad no es muy significativo cuando la forma de corte se encuentra en su nivel alto y bajo ya que la variación del contenido de humedad es mínimo y oscila entre (0,15 y 0,20) g de agua/g de sólido seco y para la interacción BC se observa que la velocidad de aire en su nivel bajo 3 m/s y alto 5 m/s el contenido de humedad se ve afectado significativamente cuando la forma de corte se encuentra en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.14, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores del diseño factorial 2^3 que fueron tomados en cuenta. Donde la línea azul representa la línea de referencia como el valor crítico (2,306) en un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y ocho grados de libertad. Por lo tanto, los efectos cuyas barras superan la línea roja serán significativos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Pareto estandarizado del diseño sin pretratamiento

En la figura 4.14, se puede observar que los factores A (temperatura), C (forma de corte), B (velocidad del aire) e interacciones ABC (Temperatura - velocidad del aire-forma de corte), BC (velocidad del aire - forma de corte), AC (temperatura - velocidad del aire) y AB (temperatura - velocidad del aire) no superan la línea vertical de referencia, por lo tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.1.2 Coeficiente de regresión para el contenido de humedad de las muestras sin pretratamiento

En la ecuación 4.1, se observa el modelo de regresión lineal ajustado a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de las muestras con pretratamiento de acuerdo al modelo de regresión lineal para diseño 2^3 (ecuación 3.2) de datos extraídos de la (tabla E.4) del (Anexo E).

$$\text{Humedad} = -0,402 + 0,009375 * A + 0,2565 * B + 0,78325 * C - 0,004925 * A * B - 0,013025 * A * C - 0,21825 * B * C + 0,003925 * A * B * C \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

A: (Temperatura °C)

B: (Velocidad del aire m/s)

C: (Forma de corte)

4.3.1.3 Optimización de la variable respuesta del diseño factorial de las muestras sin pretratamiento

En la tabla 4.10, se muestra los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de rodajas de piña deshidratada donde los tratamientos y variables tomadas en cuenta se describen en la (tabla 4.8) y de datos extraídos de la (tabla E.5) del (Anexo E).

Tabla 4.10

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca

| Factores | | Bajo | Alto | Óptimo |
|--------------------|-----|------|------|--------|
| Temperatura | (A) | 50,0 | 60,0 | 60,0 |
| Velocidad del aire | (B) | 3,0 | 5,0 | 5,0 |
| Forma de corte | (C) | 1,0 | 2,0 | 1,0 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se puede observar los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad de las muestras sin pretratamiento donde los valores son: temperatura 60 °C, velocidad del aire 5 m/s y forma de corte (1 = rodajas divididas en cuatro) el valor óptimo de contenido de humedad es 0,0535 g de agua/g de sólido seco.

En la tabla 4.11, se muestra los valores óptimos para maximizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de rodajas de piña sin pretratamiento donde los tratamientos y variables tomadas en cuenta se describen en la (tabla 4.7) y de datos extraídos de la (tabla E.6) del (Anexo E).

Tabla 4.11*Valor óptimo para maximizar el contenido de humedad en base seca*

| Factores | Bajo | Alto | Óptimo |
|------------------------|------|------|--------|
| Temperatura (A) | 50,0 | 60,0 | 50,0 |
| Velocidad del aire (B) | 3,0 | 5,0 | 3,0 |
| Forma de corte (C) | 1,0 | 2,0 | 2,0 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar los valores óptimos para maximizar el contenido de humedad en base seca de las muestras sin pretratamiento donde: temperatura (50 °C), velocidad del aire (3 m/s) y forma de corte (2 = rodajas enteras), el valor óptimo de contenido de humedad es 0,229 g de agua/g de sólido seco.

4.3.2 Diseño factorial 2³ en el proceso de secado para las muestras de rodajas de piña con pretratamiento

En la tabla 4.12, se muestra los factores que fueron controlados durante la etapa de deshidratado de las muestras con pretratamiento y donde los resultados de la variable respuesta son el contenido de humedad en base seca. Donde para el factor forma de corte: 1 = rodajas divididas en cuatro y 2 = rodajas enteras.

Tabla 4.12*Contenido de humedad en base seca del proceso de secado de las muestras con pretratamiento*

| Combinación de tratamientos | Variables | | | Réplica I | Réplica II | Valores ajustados |
|-----------------------------|-------------|--------------------|----------------|-----------|------------|-------------------|
| | Temperatura | Velocidad del aire | Forma de corte | | | |
| | A | B | C | | | |
| (1) | 50 | 3 | 1 | 0,164 | 0,545 | 0,355 |
| a | 60 | 3 | 1 | 0,009 | 0,443 | 0,226 |
| b | 50 | 5 | 1 | 0,353 | 0,399 | 0,376 |
| ab | 60 | 5 | 1 | 0,331 | 0,325 | 0,328 |
| c | 50 | 3 | 2 | 0,226 | 0,156 | 0,191 |
| ac | 60 | 3 | 2 | 0,251 | 0,023 | 0,137 |
| bc | 50 | 5 | 2 | 0,248 | 0,207 | 0,228 |
| abc | 60 | 5 | 2 | 0,036 | 0,050 | 0,043 |

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.1 Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado de las rodajas de piña deshidratada con pretratamiento

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del análisis de varianza del diseño 2^3 para las muestras con pretratamiento.

Tabla 4.13

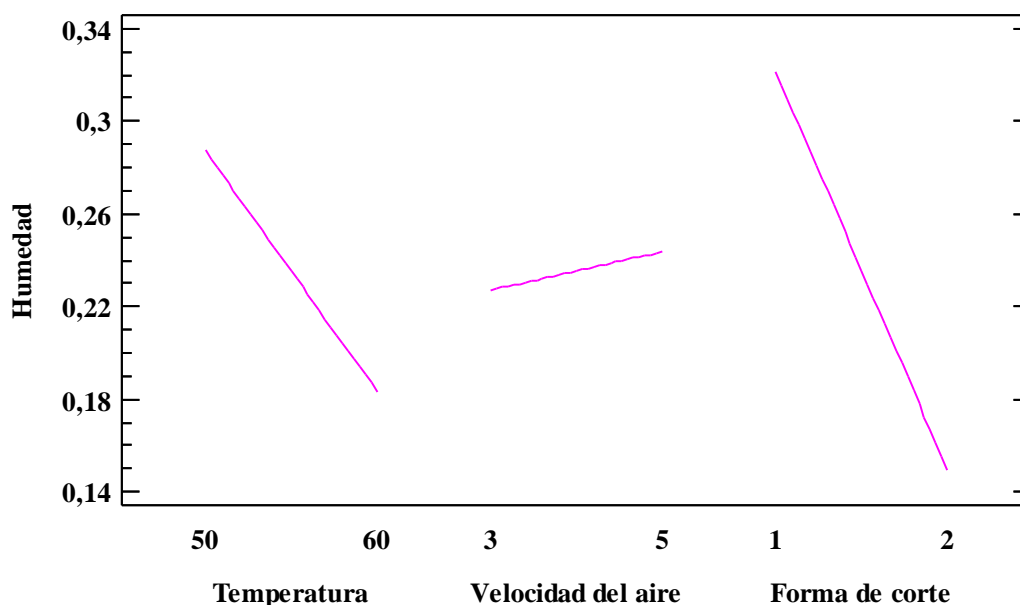
Análisis de varianza en el deshidratado de las muestras con pretratamiento

| Fuente de varianza | Suma de Cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado Medio | Fcal. | Ftab. | Valor-P |
|----------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|-------|---------|
| A:Temperatura | 0,043056 | 1 | 0,043056 | 1,75 | 5,318 | 0,2228 |
| B:Velocidad del aire | 0,001089 | 1 | 0,001089 | 0,04 | 5,318 | 0,8388 |
| C:Forma de corte | 0,117649 | 1 | 0,117649 | 4,77 | 5,318 | 0,0604 |
| AB | 0,000625 | 1 | 0,000625 | 0,03 | 5,318 | 0,8774 |
| AC | 0,000961 | 1 | 0,000961 | 0,04 | 5,318 | 0,8484 |
| BC | 0,008190 | 1 | 0,008190 | 0,33 | 5,318 | 0,5802 |
| ABC | 0,011130 | 1 | 0,011130 | 0,45 | 5,318 | 0,5206 |
| Error | 0,197215 | 8 | 0,024652 | | | |
| Total | 0,379916 | 15 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de varianza para las muestras con pretratamiento tabla 4.13, se observa que para los factores: temperatura de secado (A), velocidad del aire (B), forma de corte (C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe diferencia significativa ya que el valor de P es mayor a 0,05 y $F_{cal.} < F_{tab.}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un límite de probabilidad del 95 %.

En la figura 4.15, se muestra los efectos principales para los factores: A (temperatura), B (velocidad del aire) y C (forma de corte), con relación a la variable respuesta (contenido de humedad en base seca) de las muestras de rodajas de piña deshidratada con pretratamiento.

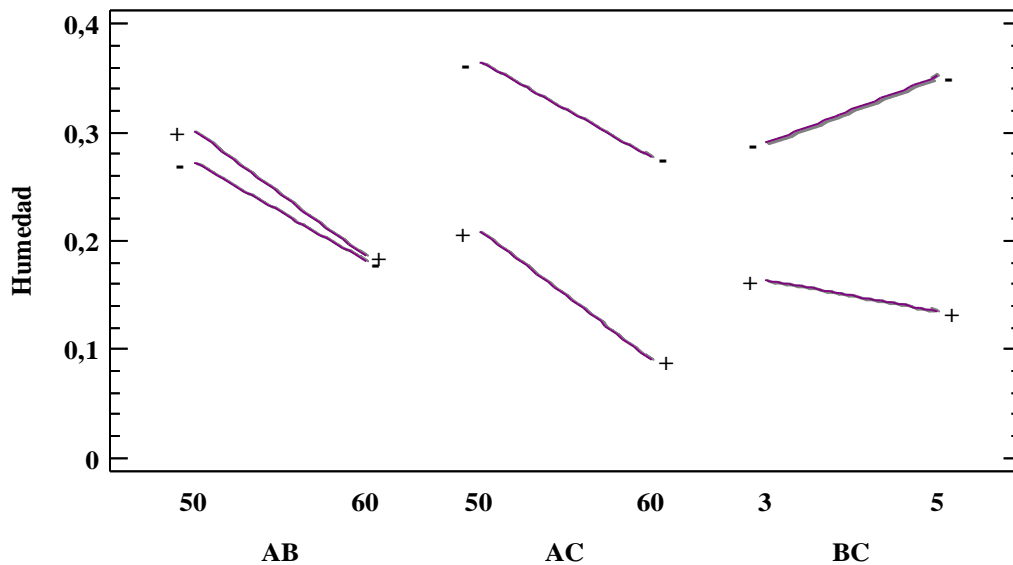


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Efectos principales con relación al contenido de humedad

En la figura 4.15, se observa que los factores temperatura (50 - 60) °C y forma de corte (1 - 2) influyen significativamente sobre el contenido de humedad en base seca cuando se encuentra en su nivel bajo y alto, sin embargo, para el factor velocidad del aire (3 - 5) m/s no influye significativamente sobre la variable respuesta (contenido de humedad en base seca) cuando se encuentran en su nivel bajo y alto ya que los valores son mínimos y oscilan entre (0,22 y 0,26) g de agua/g de sólido seco.

En la figura 4.16, se muestra la interacción de los factores AB (temperatura- velocidad del aire), AC (temperatura- forma de corte) y BC (velocidad del aire-forma de corte), con relación a la variable respuesta (contenido de humedad en base seca) de las muestras de rodajas de piña deshidratada con pretratamiento.



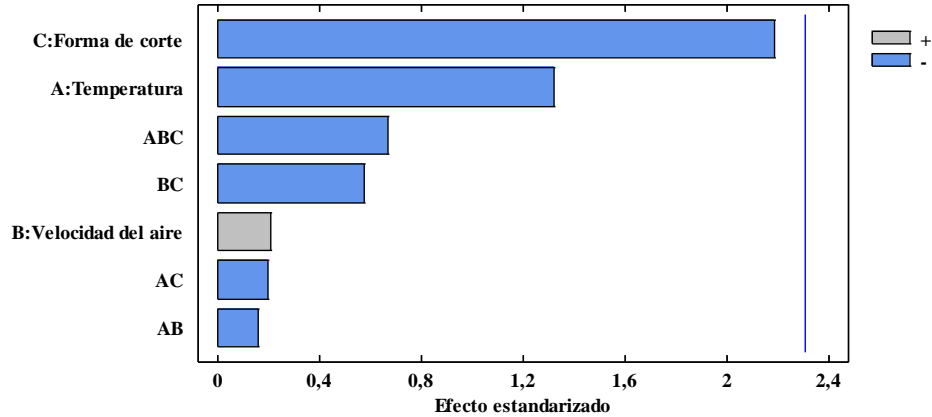
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad

En la figura 4.16, se puede observar que el contenido de humedad en base seca para la interacción AB cuando la temperatura se encuentra en su nivel alto 60 °C no afecta significativamente en relación con la velocidad del aire cuando se encuentra en su nivel bajo 3 m/s y alto 5 m/s debido a que el cambio de contenido de humedad es mínimo, sin embargo, para el nivel bajo 50 °C el contenido de humedad aumenta pero en relación a la velocidad de secado no afecta significativamente en su nivel alto y bajo. En la interacción AC se observa que a temperatura de 50 °C el contenido de humedad se ve afectado cuando la forma de corte se encuentra en su nivel alto y bajo de igual manera cuando la temperatura se incrementa a 60 °C el contenido de humedad se ve afectado significativamente cuando la forma de corte se encuentra en su nivel alto y bajo. Para la interacción BC se observa que la velocidad del aire (3 y 5) m/s afectan significativamente en el contenido de humedad cuando la forma de corte se encuentra en su nivel bajo 1 y alto 2.

En la figura 4.17, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores del diseño factorial que fueron tomados en cuenta. Donde la línea azul representa la línea de referencia como el valor crítico (2,306) en un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y ocho

grados de libertad. Por lo tanto, los efectos cuyas barras superan la línea azul serán significativos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Pareto estandarizado para el diseño factorial con pretratamiento

En la figura 4.17, se puede observar que los factores C (forma de corte), A (temperatura), B (velocidad del aire) e interacciones ABC (Temperatura - velocidad del aire - forma de corte), BC (velocidad del aire - forma de corte), AC (temperatura - velocidad del aire) y AB (temperatura - velocidad del aire) no sobrepasan la línea vertical de referencia, por lo tanto no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2.2 Coeficiente de regresión para el contenido de humedad de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento

En la ecuación 4.2, se observa el modelo de regresión lineal ajustado a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de las muestras con pretratamiento de acuerdo al modelo de regresión lineal para diseño 2^3 (ecuación 3.2) de datos extraídos de la (tabla E.1) del (Anexo E).

$$\text{Humedad} = 3,7095 - 0,064025 * A - 0,7255 * B - 2,141 * C + 0,014575 * A * B + 0,0391 * A * C + 0,535 * B * C - 0,01055 * A * B * C \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

A: (Temperatura °C)

B: (Velocidad del aire m/s)

C: (Forma de corte)

4.3.2.3 Optimización de la variable respuesta del diseño factorial de las muestras de rodajas de piña deshidratada con pretratamiento

En la tabla 4.14, se muestra los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de rodajas de piña deshidratada donde los tratamientos y variables tomadas en cuenta se describen en la (tabla 4.12) y de datos extraídos de la (tabla E.2) del (Anexo E).

Tabla 4.14

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

| Factores | Bajo | Alto | Óptimo |
|------------------------|------|------|--------|
| Temperatura (A) | 50,0 | 60,0 | 60,0 |
| Velocidad del aire (B) | 3,0 | 5,0 | 5,0 |
| Forma corte (C) | 1,0 | 2,0 | 2,0 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14, se puede observar los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad donde: temperatura 60 °C, velocidad del aire 5 m/s y forma de corte (2 = rodajas enteras) el valor óptimo de contenido de humedad es 0,043 g de agua/g de sólido seco.

En la tabla 4.15, se muestra los valores óptimos para maximizar el contenido de humedad en base seca de las muestras de rodajas de piña donde los tratamientos y variables tomadas en cuenta se describen en la tabla 4.8 y de datos extraídos de la (tabla E.3) del (Anexo E).

Tabla 4.15

Valores óptimos para maximizar el contenido de humedad

| Factores | Bajo | Alto | Óptimo |
|------------------------|------|------|--------|
| Temperatura (A) | 50,0 | 60,0 | 50,0 |
| Velocidad del aire (B) | 3,0 | 5,0 | 5,0 |
| Forma corte (C) | 1,0 | 2,0 | 1,0 |

Fuente: Elaboración propia

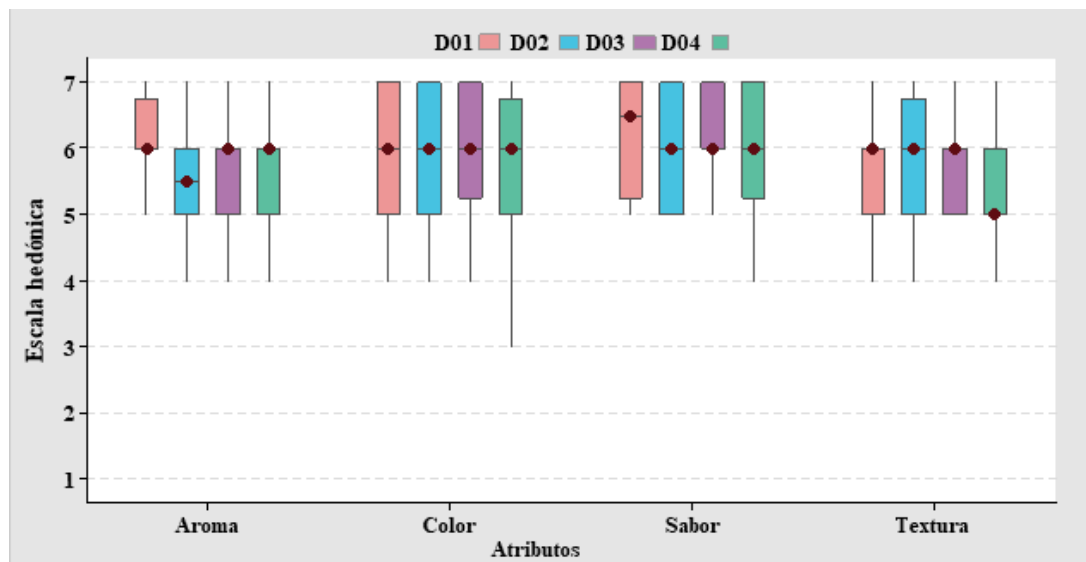
En la tabla 4.15, se puede observar los valores óptimos de los factores para maximizar el contenido de humedad donde: temperatura 50 °C, velocidad del aire 5 m/s y forma de corte (1 = rodajas divididas en cuatro) el valor óptimo de contenido de humedad es 0,376 g de agua/g de sólido seco.

4.3.3 Evaluación sensorial de muestras experimentales para las rodajas de piña deshidratada

Se realizó una evaluación sensorial de las muestras experimentales con pretratamiento para corroborar si existen diferencia o no entre las muestras para el factor forma de corte utilizando una escala hedónica de siete puntos con jueces no entrenados.

4.3.3.1 Estadístico caja y bigote de las muestras experimentales del nivel inferior del factor forma de corte

En la figura 4.18, se muestra el estadístico de caja y bigote para las muestras con pretratamiento del nivel inferior del factor forma de corte de datos extraídos del Anexo C, para el atributo; color (tabla C.16), aroma (tabla C.17), sabor (tabla C.18), textura (tabla C.19).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Estadístico caja y bigote para el nivel inferior del factor forma de corte

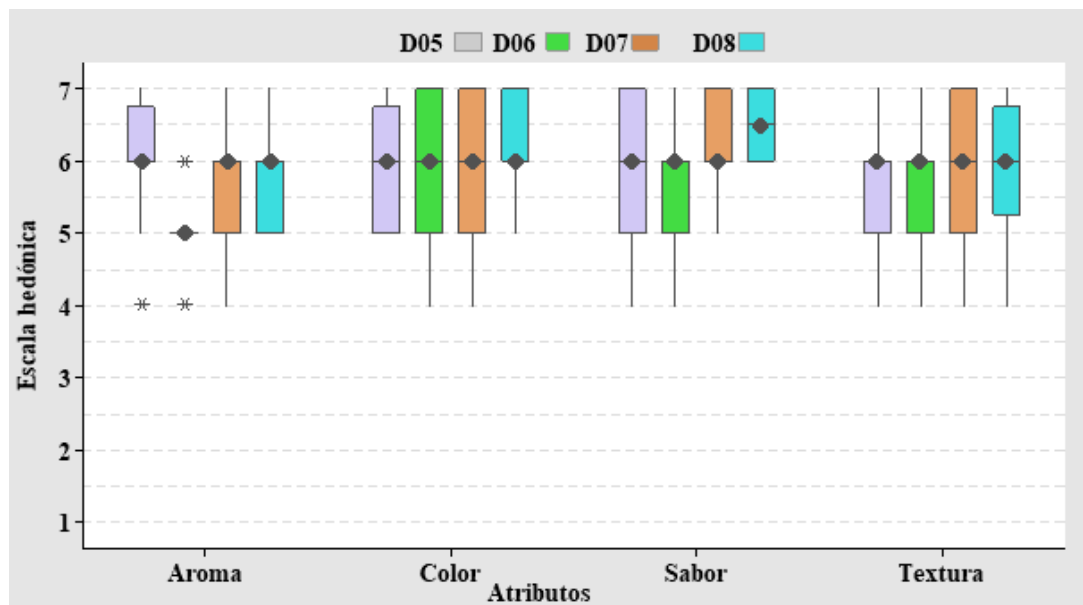
En la figura 4.18, se muestra la caja y bigote de las cuatro muestras evaluadas en función de los atributos donde los resultados en función de la mediana y posición de la

caja: aroma 6,0 (D01); color 6,0 (D03); sabor 6,5 (D01); textura 6,0 (D01). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa en los atributos de las muestras para un nivel de confianza del 95 %.

De acuerdo al análisis estadístico de varianza para el nivel inferior, se procedió a elegir la muestra D01; ya que presentó mayor aceptación por parte de los jueces en los atributos aroma, color, sabor y textura.

4.3.3.2 Estadístico caja y bigote de las muestras experimentales del nivel superior del factor forma de corte

En la figura 4.19, se muestra el estadístico de caja y bigote para las muestras con pretratamiento del nivel inferior del factor forma de corte de datos extraídos del Anexo C, para el atributo; color (tabla C.20), Aroma (tabla C.21), sabor (tabla (C.22), textura (tabla C.23).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Estadístico caja y bigote para el nivel superior del factor forma de corte

En la figura 4.19, se muestra la caja y bigote de las cuatro muestras evaluadas en función de los atributos donde los resultados en función de la mediana y posición de la caja: atributo aroma, 6,0 (D05); color 6,0 (D08); sabor 6,5 (D08); textura 6,0 (D08). Así mismo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que existe

diferencia significativa en los atributos aroma y sabor de las muestras para un nivel de confianza del 95 %.

4.3.3.2.1 Estadístico Tukey en el atributo aroma para el nivel superior del factor forma de corte

En la tabla 4.16, se muestra el estadístico Tukey para el atributo aroma de las muestras del diseño factorial con pretratamiento para el nivel superior del factor forma de corte de datos extraídos de la tabla (C.21.2) del (Anexo C).

Tabla 4.16

Estadístico Tukey para el atributo aroma del nivel superior

| Muestras | N de jueces | Media | Agrupación | |
|----------|-------------|-------|------------|---|
| D05 | 16 | 6,000 | A | |
| D07 | 16 | 5,813 | A | |
| D08 | 16 | 5,750 | A | |
| D06 | 16 | 5,000 | | B |

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.16 se puede evidenciar que existe diferencia significativa entre las muestras (D05 - D06), (D07 - D06) y (D08 - D06), sin embargo, para los tratamientos; (D05 - D07), (D05 - D08) y (D07 - D08) no existe diferencia significativa para un nivel de confianza del 95 %.

4.3.3.2.2 Estadístico Tukey en el atributo sabor para el nivel superior del factor forma de corte

En la tabla 4.17, se muestra el estadístico Tukey para el atributo sabor de las muestras del diseño factorial con pretratamiento para el nivel superior del factor forma de corte de datos extraídos de la tabla (C.22.2) del (Anexo C).

Tabla 4.17

Estadístico Tukey para el atributo sabor del nivel superior

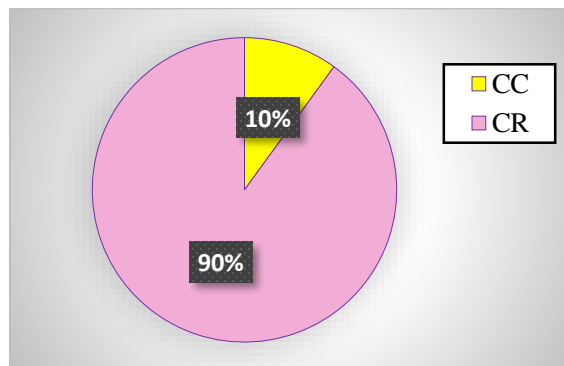
| Muestras | N° de jueces | Media | Agrupación | |
|----------|--------------|-------|------------|---|
| D08 | 16 | 6,500 | A | |
| D07 | 16 | 6,188 | A | B |
| D05 | 16 | 5,875 | A | B |
| D06 | 16 | 5,625 | | B |

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.17, se puede evidenciar que existe diferencia significativa entre las muestras (D08 - D06), sin embargo, para los tratamientos; (D08 - D07), (D08 - D05), (D07 - D05) y (D07 - D06), no existe diferencia significativa para un nivel de confianza del 95 %.

De acuerdo al análisis estadístico Tukey para el nivel superior del factor forma de corte se procedió a elegir la muestra D08; ya que existe diferencia significativa en relación con las demás muestras y presentó mayor aceptación por parte de los jueces en los atributos color, sabor y textura.

Posteriormente se realizó una elección de las muestras D01 y D08 para determinar la forma de corte de mayor preferencia por parte de los jueces y proceder a elegir una muestra, para lo cual se recodificó D01 = CC (rodajas divididas en cuatro) y D08 = CR (rodajas enteras) para ser evaluadas y donde los resultados se muestran en la figura 4.20 de datos extraídos de la (tabla C.24) del (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Porcentaje de aceptación para la forma de corte

En la figura 4.20, se puede observar que el 10 % de las personas que evaluaron les gustó la muestra CC (rodajas divididas en cuatro) y el 90 % de las personas tuvieron mayor preferencia por la muestra CR (rodajas enteras); ya que tiene mejor presentación. Por lo tanto, se tomó la muestra experimental D08 como muestra final.

4.4 Influencia del contenido de humedad en la etapa de secado de las muestras de rodajas de piña deshidratada

Para calcular la variación de pérdida de humedad, se determinó a partir de la variación de pérdida de peso que se controló durante la etapa de secado de las muestras con pretratamiento y sin pretratamiento partiendo de peso inicial que oscilaron entre (90,37 a 116,56) g de rodajas de piña.

Según (Ibarz & Barbosa, 2005) el contenido en humedad de las muestras se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólido seco y se calcula según la ecuación 4.3:

$$X = \frac{W_i - SS}{SS} = \text{kg de agua /kg de sólido seco} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Para calcular el sólido seco, se tomó en cuenta en función de la ecuación 4.4:

$$SS = W_i * (1 - HBH/100) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Donde:

SS: Sólido seco (g de agua/g de sólido seco)

W_i: Masa inicial (g)

HBS: Humedad en base seca (%)

HBH: Humedad en base húmeda (%)

En la tabla 4.18, se muestra los niveles de variación de las variables: temperatura (A), velocidad del aire (B) y forma de corte (C) para las muestras con pretratamiento para analizar la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras.

Donde:

Para la variable forma de corte

1 = Rodajas divididas en cuatro

2 = Rodajas enteras

Tabla 4.18

Variables para el análisis de contenido de humedad en base seca de las muestras con pretratamiento

| Tratamiento | Variables | | |
|-------------|----------------|--------------------------|----------------|
| | Temperatura °C | Velocidad del aire (m/s) | Forma de corte |
| | A | B | C |
| D01 | 50 | 3 | 1 |
| D02 | 60 | 3 | 1 |
| D03 | 50 | 5 | 1 |
| D04 | 60 | 5 | 1 |
| D05 | 50 | 3 | 2 |
| D06 | 60 | 3 | 2 |
| D07 | 50 | 5 | 2 |
| D08 | 60 | 5 | 2 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19, se muestra los niveles de variación de las variables: temperatura (A), velocidad del aire (B) y forma de corte (C) de las muestras sin pretratamiento para analizar la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras.

Donde:

1 = Rodajas divididas en cuatro

2 = Rodajas enteras

Tabla 4.19

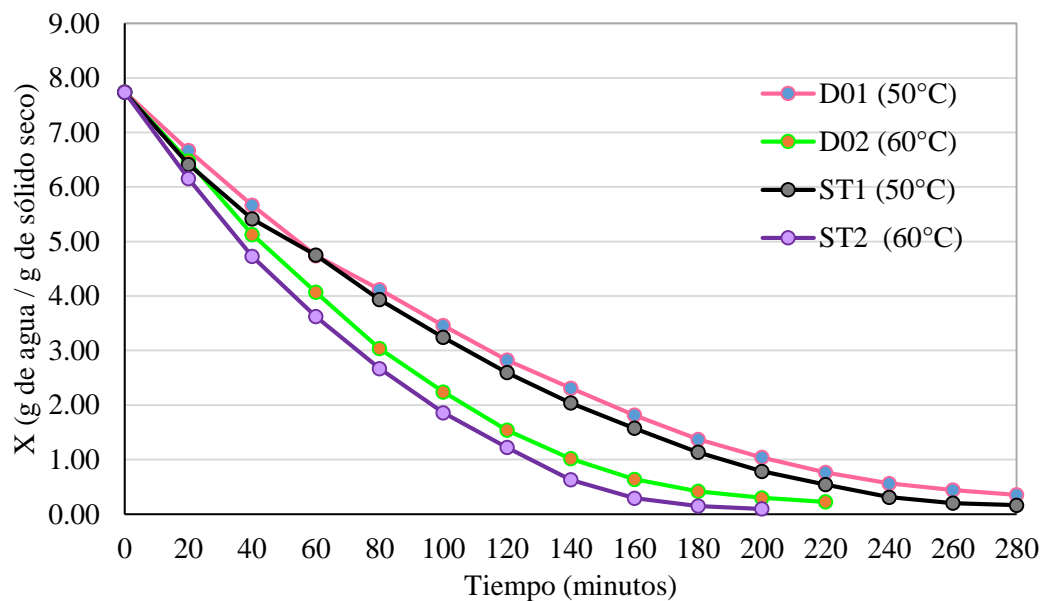
Variables para el análisis contenido de humedad en base seca de las muestras sin pretratamiento

| Tratamiento | Variables | | |
|-------------|------------------|--------------------------|----------------|
| | Temperatura (°C) | Velocidad del aire (m/s) | Forma de corte |
| | A | B | C |
| ST1 | 50 | 3 | 1 |
| ST2 | 60 | 3 | 1 |
| ST3 | 50 | 5 | 1 |
| ST4 | 60 | 5 | 1 |
| ST5 | 50 | 3 | 2 |
| ST6 | 60 | 3 | 2 |
| ST7 | 50 | 5 | 2 |
| ST8 | 60 | 5 | 2 |

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D01, D02, ST1 y ST2

En la figura 4.21, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras con pretratamiento (D01 y D02) y sin pretratamiento (ST1 y ST2), que fueron controladas cada 20 minutos, variando la temperatura entre (50 - 60) °C y manteniendo constante la velocidad del aire (3 m/s) y forma de corte (rodajas divididas en cuatro) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.4), (tabla F.5), (F.12) y (tabla F.13) del Anexo F.



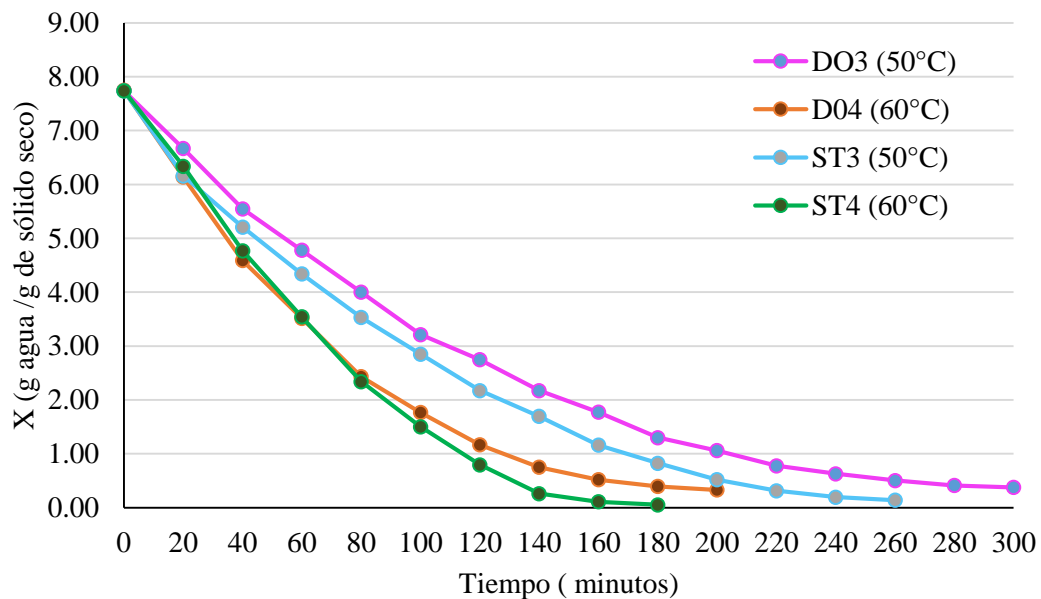
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D01, D02, ST1 y ST2

En la figura 4.21, se puede observar que al incrementar la temperatura entre (50 a 60) °C el proceso de secado se ve favorecido con el tiempo de secado y el contenido de humedad final, donde las muestras en condiciones de secado 50 °C, se observa que para un tiempo de 200 minutos tiene una pérdida de humedad de 1,042 g de agua/g de sólido seco (D01) y 0,785 g de agua/g de sólido seco (ST1) y para las muestras a 60 °C en un tiempo de 200 minutos la pérdida de humedad es 0,300 kg de agua/kg de sólido seco (D02) y 0,097 g de agua/g de sólido seco (ST2).

4.4.2 Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D03, D04, ST3 y ST4

En la figura 4.22, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras con tratamiento (D03 y D04) y de las muestras sin tratamiento (ST3 y ST4), variando la temperatura de (50 - 60) °C y manteniendo constante la velocidad del aire (5 m/s) y forma de corte (rodajas divididas en cuatro), los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.6), (tabla F.7), (tabla F.14) y (tabla F.15) del Anexo F.



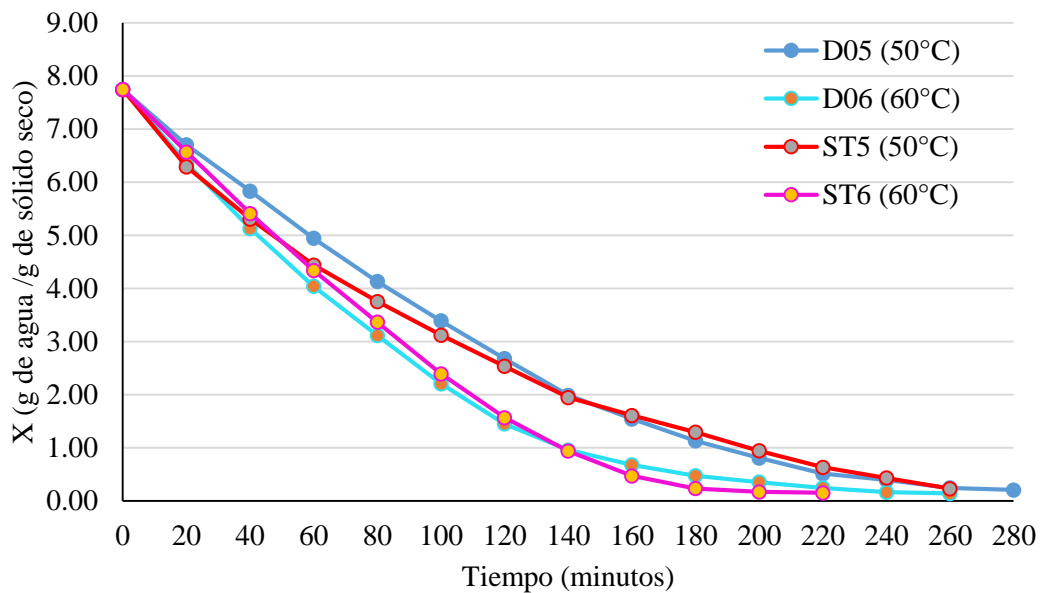
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D03, D04, ST3 y ST4

En la figura 4.22, se puede observar que al incrementar la temperatura entre (50 a 60) °C el proceso de secado se ve favorecido con el tiempo de secado y el contenido de humedad final, donde las muestras en condiciones de secado 50 °C, se observa que para un tiempo de 180 minutos tiene una pérdida de humedad de 1,301 g de agua/g de sólido seco (D03) y 0,825 g de agua/g de sólido seco (ST3) y para las muestras a 60 °C en un tiempo de 200 minutos la pérdida de humedad es 0,394 g de agua/g de sólido seco (D04) y 0,053 g de agua/g de sólido seco (ST4).

4.4.3 Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D05, D06, ST5 y ST6

En la figura 4.23, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras con pretratamiento (D05 y D06) y sin pretratamiento (ST5 y ST6), que fueron controladas cada 20 minutos variando la temperatura entre (50 - 60) °C y manteniendo constante la velocidad del aire (3 m/s) y la forma de corte (rodajas enteras) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.8), (tabla F.9), (F.16) y (tabla F.17) del Anexo F.



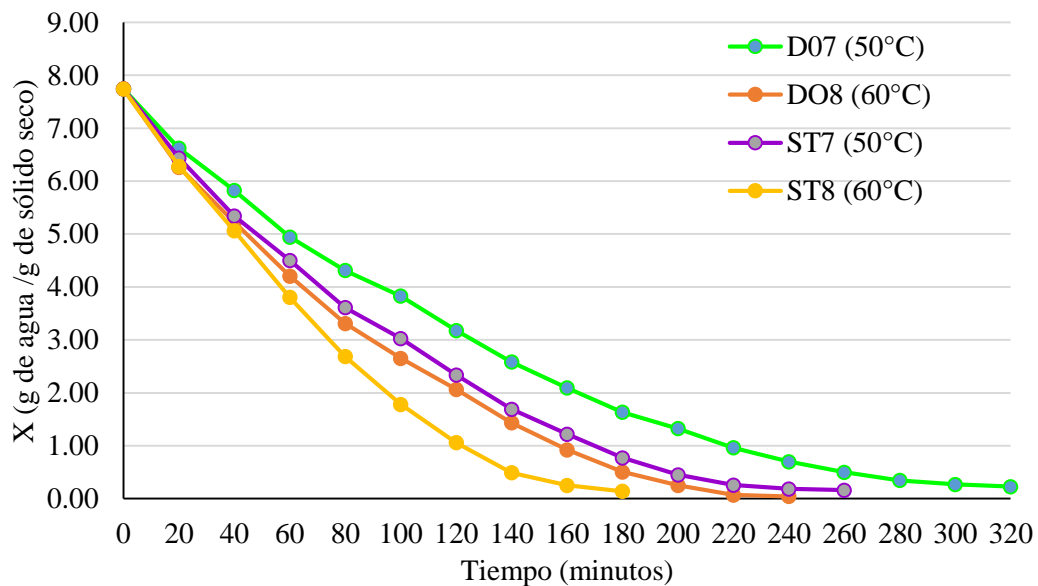
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D05, D06, ST5 y ST6

En la figura 4.23, se puede observar que al incrementar la temperatura entre (50 a 60) °C el proceso de secado se ve favorecido con el tiempo de secado y el contenido de humedad final, donde las muestras en condiciones de secado 50 °C, se observa que para un tiempo de 200 minutos tiene una pérdida de humedad de 0,806 g de agua/g de sólido seco (D05) y 0,941 g de agua/g de sólido seco (ST5) y para las muestras a 60 °C en un tiempo de 200 minutos la pérdida de humedad es 0,353 g de agua/g de sólido seco (DO6) y 0,167 g de agua/g de sólido seco (ST6).

4.4.4 Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D07, D08, ST7 y ST8

En la figura 4.24, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras con pretratamiento (D07 y D08) y sin pretratamiento (ST7 y ST8), que fueron controladas cada 20 minutos, variando la temperatura entre (50 - 60) °C y manteniendo constante la velocidad del aire (5 m/s) y la forma de corte (rodajas enteras) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.10), (tabla F.11), (tabla F.18) y (tabla F.19) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

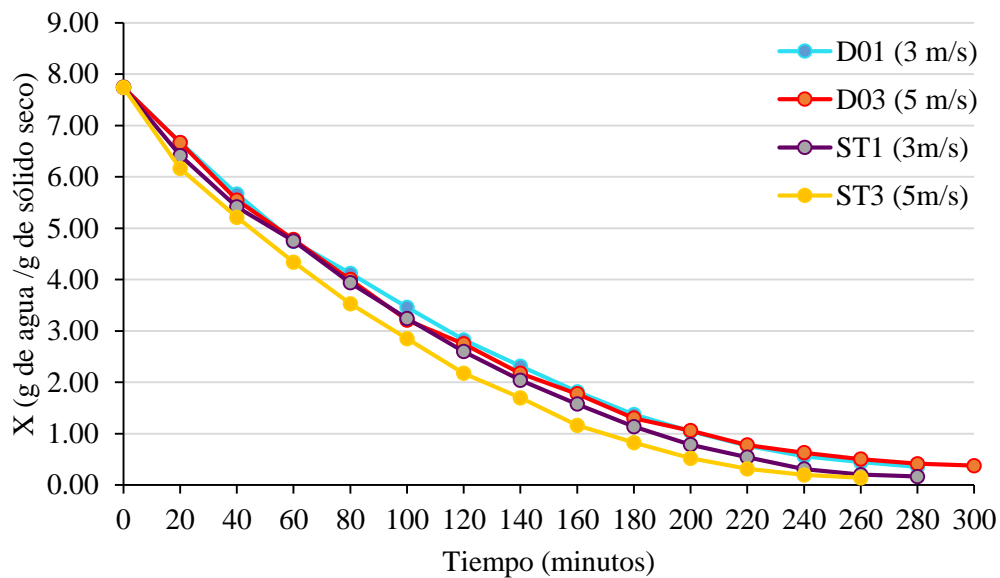
Figura 4.24: Variación del contenido de humedad con la temperatura para las muestras D07, D08, ST7 y ST8

En la figura 4.24, se puede observar que al incrementar la temperatura entre (50 a 60) °C el proceso de secado se ve favorecido con el tiempo de secado y el contenido de humedad final, donde las muestras en condiciones de secado 50 °C, se observa que para un tiempo de 180 minutos tiene una pérdida de humedad 1,634 g de agua/g de sólido seco (D07) y 0,771 g de agua/g de sólido seco (ST7) y para las muestras a 60 °C en un tiempo de 180 minutos la pérdida de humedad es 0,505 g de agua/g de sólido seco (D08) y 0,141 g de agua/g de sólido seco (ST8).

Finalmente se puede observar que cuando la temperatura se incrementa de (50 a 60) °C para las muestras sin pretratamiento y con pretratamiento se ven favorecidas en la disminución del contenido de humedad y el tiempo de secado, sin embargo, comparando ambas, se observa que las muestras sin pretratamiento se deshidratan más rápido que las muestras con previo pretratamiento.

4.4.5 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D01, D03, ST1 y ST3

En la figura 4.25, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D01 y D03) y sin pretratamiento (ST1 y ST3) las cuales fueron controladas cada de 20 minutos, variando la velocidad de secado de (3 a 5) m/s y manteniendo constante la temperatura (50 °C) y la forma de corte (rodajas divididas en cuatro) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.4), (tabla F.6), (tabla F.12) y (tabla F.14) del Anexo F.



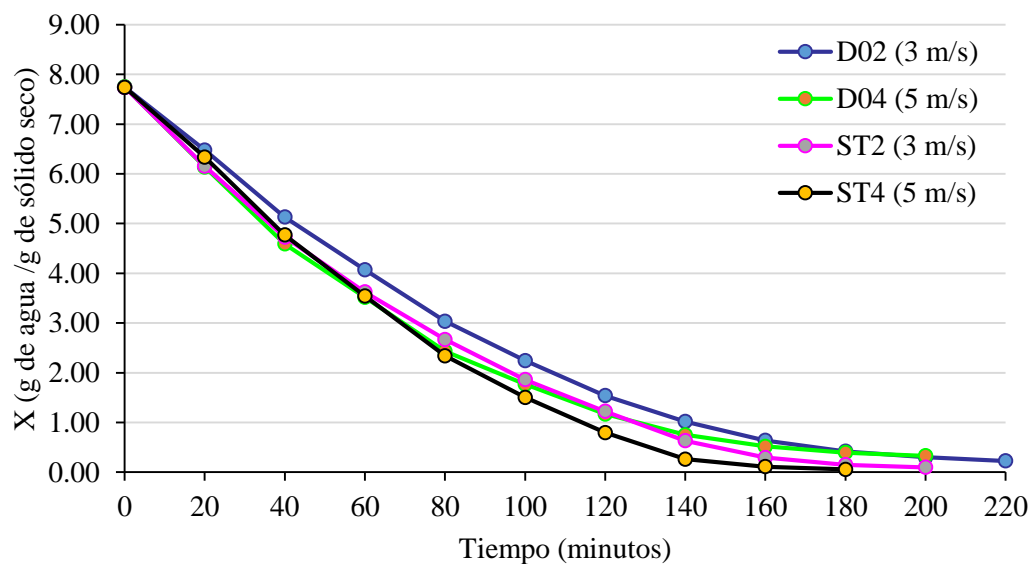
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D01, D03, ST1 y ST3

En la figura 4.25, se puede observar que al aumentar la velocidad del aire de (3 a 5) m/s el proceso de secado se ve favorecido levemente en la disminución del contenido de humedad y tiempo de secado en las muestras con pretratamiento y sin pretratamiento. Las muestras con velocidad de aire 3 m/s (D01 y ST1) en un tiempo de 260 minutos tiene un contenido de humedad de 0,345 g de agua/g de sólido seco (D01) y 0,202 g de agua/g de sólido seco (ST1) y para las muestras con velocidad de secado de 5 m/s en un tiempo de 260 minutos tiene un contenido de humedad de 0,504 g de agua/g de sólido seco (D03) y 0,140 g de agua/g de sólido seco (ST3).

4.4.6 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D02, D04, ST2 y ST4

En la figura 4.26, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D02 y D04) y sin pretratamiento (ST2 y ST4) las cuales fueron controladas cada 20 minutos, variando la velocidad de secado de (3 a 5) m/s y manteniendo constante la temperatura (60 °C) y la forma de corte (rodajas divididas en cuatro), los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.5), (tabla F.7), (tabla F.13) y (tabla F.15) del Anexo F.



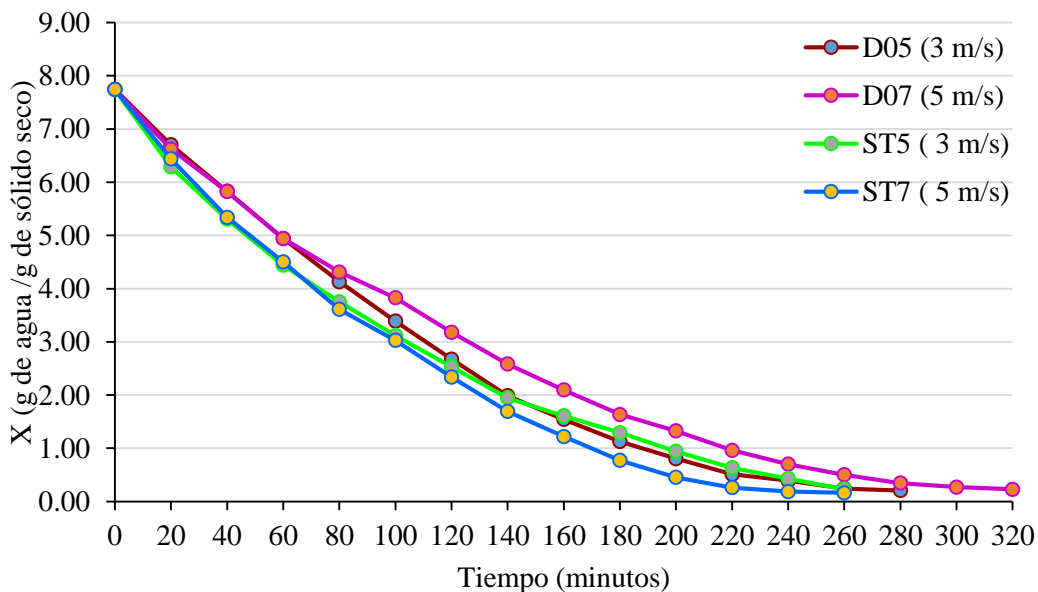
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D02, D04, ST2 y ST4

En la figura 4.26, se puede observar que al aumentar la velocidad del aire de (3 a 5) m/s el proceso de secado se ve favorecido levemente en la disminución del contenido de humedad y tiempo de secado en las muestras con pretratamiento y sin pretratamiento. Las muestras con velocidad de aire 3 m/s (D02 y ST2) en un tiempo de 180 minutos tiene un contenido de humedad de 0,638 g de agua/g de sólido seco (D02) y 0,148 g de agua/g de sólido seco (ST2) y para las muestras con velocidad de secado de 5 m/s en un tiempo de 180 minutos tiene un contenido de humedad de 0,394 g de agua/g de sólido seco (D04) y 0,053 g de agua/g de sólido seco (ST4).

4.4.7 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D05, D07, ST5 y ST7

En la figura 4.27, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D05 y D07) y sin pretratamiento (ST5 y ST7) las cuales fueron controlado cada 20 minutos, variando la velocidad de secado de (3 a 5) m/s y manteniendo constante la temperatura (50 °C) y la forma de corte (rodajas enteras) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.8), (tabla F.10), (tabla F.16) y (tabla F.18) del Anexo F.



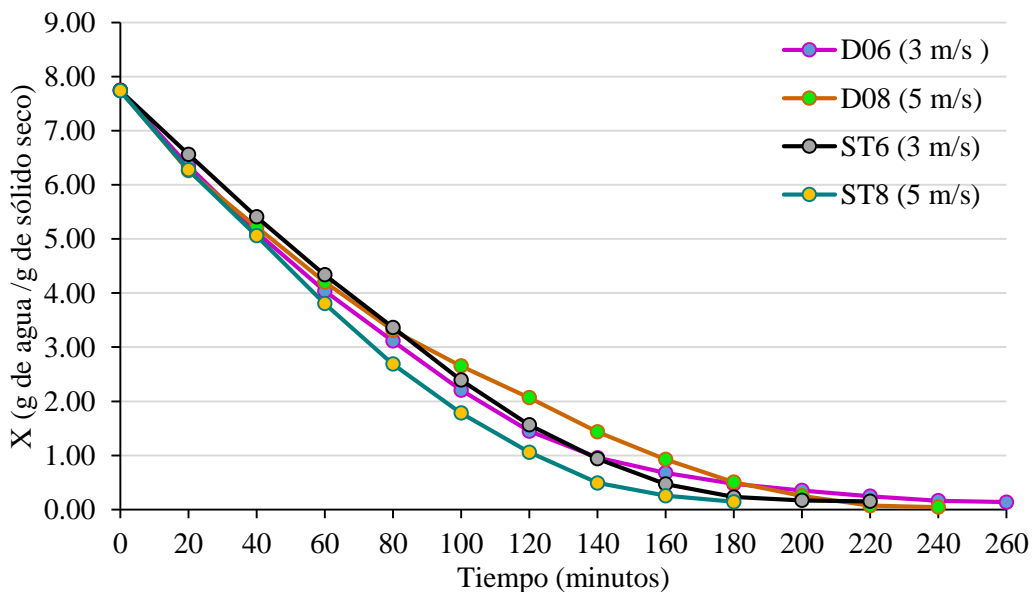
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D05, D07, ST5 y ST7

En la figura 4.27, se puede observar que al aumentar la velocidad del aire de (3 a 5) m/s el proceso de secado se ve favorecido levemente en la disminución del contenido de humedad y tiempo de secado en las muestras con pretratamiento y sin pretratamiento. Las muestras con velocidad de aire 3 m/s (D05 y ST5) en un tiempo de 260 minutos tiene un contenido de humedad de 0,242 g de agua/g de sólido seco (D05) y 0,223 g de agua/g de sólido seco (ST5) y para las muestras con velocidad de secado de 5 m/s en un tiempo de 260 minutos tiene un contenido de humedad de 0,501 g de agua/g de sólido seco (D07) y 0,162 g de agua/g de sólido seco (ST3).

4.4.8 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D06, D08, ST6 y ST8

En la figura 4.28, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D06 y D08) y sin pretratamiento (ST6 y ST8) las cuales fueron controlado cada 20 minutos, variando la velocidad de secado de (3 a 5) m/s y manteniendo constante la temperatura (60 °C) y la forma de corte (rodajas enteras) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.9), (tabla F.11), (tabla F.17) y (tabla F.19) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

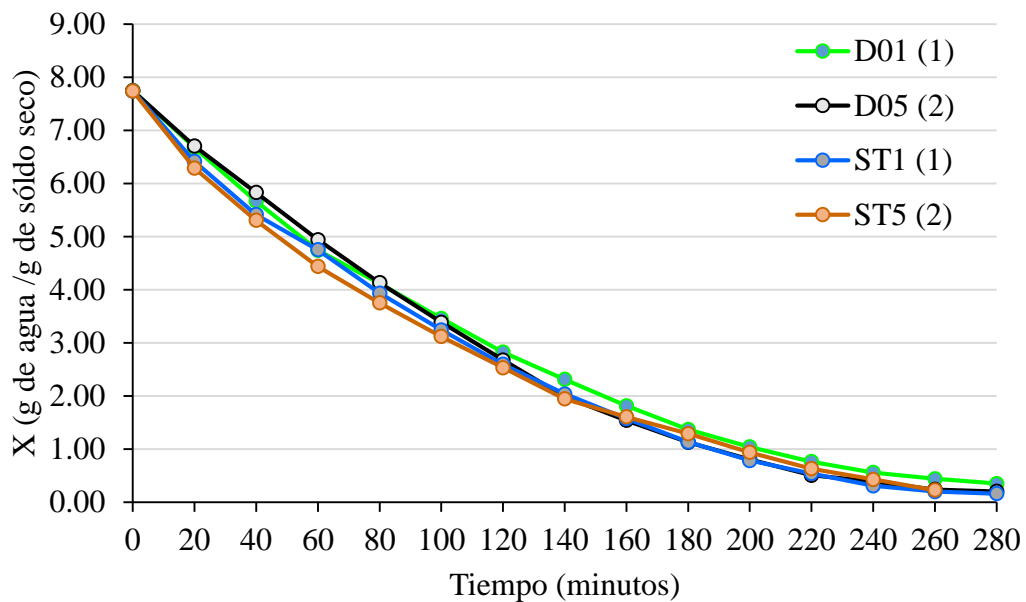
Figura 4.28: Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire para las muestras D06, D08, ST6 y ST8

En la figura 4.28, se puede observar que al aumentar la velocidad del aire de (3 a 5) m/s el proceso de secado se ve favorecido levemente en la disminución del contenido de humedad y tiempo de secado en las muestras con pretratamiento y sin pretratamiento. Las muestras con velocidad de aire 3 m/s (D06 y ST6) en un tiempo de 180 minutos tiene un contenido de humedad de 0,474 g de agua/g de sólido seco (D06) y 0,231 g de agua/g de sólido seco (ST6) y para las muestras con velocidad de secado de 5 m/s en un tiempo de 180 minutos tiene un contenido de humedad de 0,505 g de agua/g de sólido seco (D08) y 0,141 g de agua/g de sólido seco (ST8).

Finalmente se puede observar que al aumentar la velocidad del aire de (3 a 5) m/s se ve favorecido con la disminución del tiempo y contenido de humedad final para las muestras sin pretratamiento, sin embargo para las muestras con pretratamiento se ve favorecido con la disminución del tiempo para las muestras (D03 - D04) y (D06 - D08) y en el contenido de humedad final para la muestra (D06 - D08), al comprar las muestras sin pretratamiento y con pretratamiento al aumentar la velocidad del aire de (3 a 5) m/s la velocidad de secado se ve favorecido en el tiempo de secado.

4.4.9 Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D01, D05, ST1 y ST5

En la figura 4.29, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D01 y D05) y sin pretratamiento (ST1 y ST5) que fueron determinados cada 20 minutos variando la forma de corte (rodajas divididas en cuatro - rodajas enteras) y manteniendo constante la temperatura 50 °C y velocidad de secado 3 m/s, los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.4), (tabla F.8), (tabla F.12) y (tabla F.16) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

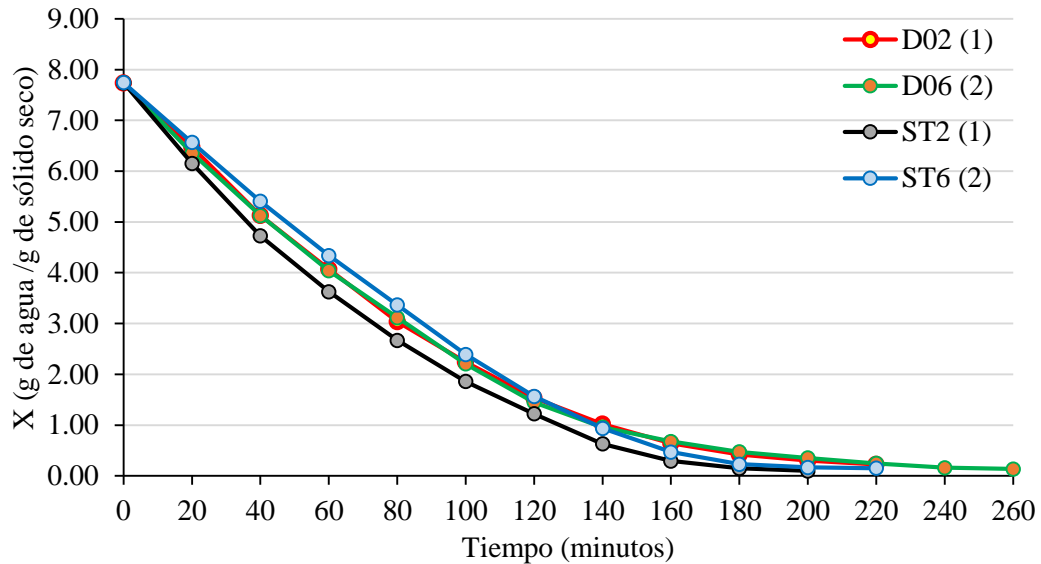
Figura 4.29: Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D01, D05, ST1 y ST5

En la figura 4.29, se puede observar que al variar la forma de corte (1 = rodajas divididas en cuatro y 2 = rodajas enteras) el proceso de secado se ve favorecido levemente para las muestras con pretratamiento en la disminución del contenido de humedad y el tiempo de secado se ve favorecido para las muestras sin pretratamiento. Las muestras D01 y ST1 con forma de corte 1 se observa que para un tiempo de 260 minutos el contenido de humedad en base seca es 0,044 g de agua/g de sólido seco (D01) y 0,202 g de agua/g de sólido seco (ST1), y para las muestras con forma de corte 2 el contenido de humedad de las muestras son 0,242 g de agua/g de sólido seco (D05) y 0,230 g de agua/g de sólido seco (ST5).

4.4.10 Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D02, D06, ST2 y ST6

En la figura 4.30, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D02 y D06) y sin pretratamiento (ST2 y ST6) que fueron determinados cada 20 minutos variando la forma de corte (rodajas divididas en cuatro - rodajas enteras) y manteniendo

constante la temperatura 60 °C y velocidad de secado 3 m/s los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.5), (tabla F.9), (tabla F.13) y (tabla F.17) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

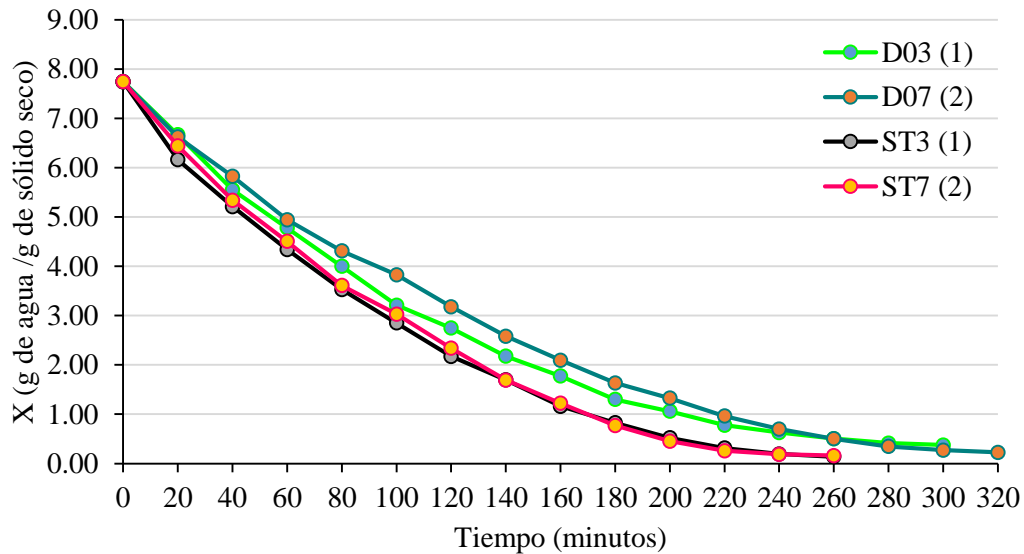
Figura 4.30: Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D02, D06, ST2 y ST6

En la figura 4.30, se puede observar que al variar la forma de corte (1 = rodajas divididas en cuatro y 2 = rodajas enteras), el proceso de secado se ve favorecido levemente para las muestras con pretratamiento en la disminución del contenido de humedad y sin pretratamiento en la disminución del tiempo de secado. Donde las muestras D02 y ST2 con forma de corte 1 se observa que para un tiempo de 200 minutos el contenido de humedad en base seca es 0,300 g de agua/g de sólido seco (D01) y 0,097 g de agua/g de sólido seco (ST2), y para las muestras con forma de corte 2 el contenido de humedad de las muestras son 0,353 g de agua/g de sólido seco (D06) y 0,167 g de agua/g de sólido seco (ST6).

4.4.11 Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D03, D07, ST3 y ST7

En la figura 4.31, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D03 y D07)

y sin pretratamiento (ST3 y ST7) que fueron controlados cada 20 minutos variando la forma de corte (rodajas divididas en cuatro - rodajas enteras) y manteniendo constante la temperatura (50 °C) y velocidad de secado (5 m/s) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.6), (tabla F.10), (tabla F.14) y (tabla F.18) del Anexo F.



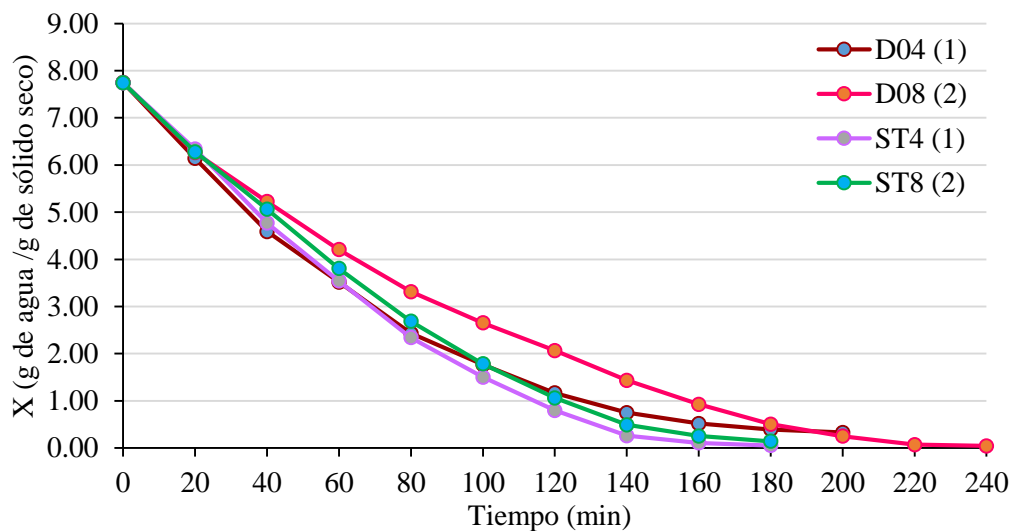
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D03, D07, ST3 y ST7

En la figura 4.31, se puede observar que al variar la forma de corte (1 = rodajas divididas en cuatro y 2 = rodajas enteras) el proceso de secado se ve favorecido levemente para las muestras con pretratamiento en la disminución del contenido de humedad y sin pretratamiento en el tiempo de secado. Las muestras D03 y ST3 con forma de corte 1 se observa que para un tiempo de 260 minutos el contenido de humedad en base seca es 0,504 g de agua/g de sólido seco (D03) y 0,140 g de agua/g de sólido seco (ST4), y para las muestras con forma de corte 2 el contenido de humedad de las muestras son 0,501 g de agua/g de sólido seco (D07) y 0,162 g de agua/g de sólido seco (ST7).

4.4.12 Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D04, D08, ST4 y ST8

En la figura 4.32, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras de rodajas de piña con pretratamiento (D04 y D08) y sin pretratamiento (ST4 y ST8) que fueron controlados cada 20 minutos variando la forma de corte (rodajas divididas en cuatro - rodajas enteras) y manteniendo constante la temperatura (60 °C) y velocidad de secado (5 m/s) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla F.7), (tabla F.11), (tabla F.15) y (tabla F.19) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Variación del contenido de humedad con la forma de corte para las muestras D04, D08, ST4 y ST8

En la figura 4.32, se puede observar que al variar la forma de corte (1 = rodajas divididas en cuatro y 2 = rodajas enteras), el proceso de secado se ve favorecido levemente para las muestras con pretratamiento en la disminución del contenido de humedad y para las muestras sin pretratamiento en el tiempo de secado. Donde las muestras D04 y ST4 con forma de corte 1 se observa que para un tiempo de 180 minutos el contenido de humedad en base seca es 0,394 g de agua/g de sólido seco (D04) y 0,053 g de agua/g de sólido seco (ST4), y para las muestras con forma de corte 2 el

contenido de humedad de las muestras son 0,505 g de agua/g de sólido seco (D08) y 0,141 g de agua/g de sólido seco (ST8).

Finalmente se puede observar para las muestras con pretratamiento al cambiar la forma de corte rodajas divididas en cuatro a rodajas enteras se observa una disminución mínima de contenido de humedad final para las muestras con forma de corte rodajas enteras, sin embargo el tiempo de secado es mayor y para las muestras sin pretratamiento, las muestras con forma de corte rodajas divididas en cuatro se ven favorecidas en el tiempo de secado y el contenido de humedad final a diferencia de las muestras con forma de corte rodajas enteras. Así mismo, las muestras sin pretratamiento tienen un tiempo de secado menor que las muestras con pretratamiento.

4.5 Cinética de secado para la obtención de las rodajas de piña con pretratamiento y sin pretratamiento

En la tabla 4.20, se muestra los resultados obtenidos para realizar la cinética de secado de las muestras de rodajas de piña deshidratada con pretratamiento donde los parámetros controlados fueron: temperatura 60 °C, velocidad del aire 3 m/s, forma de corte rodajas enteras de 3 mm de grosor y donde las condiciones de secado fueron las siguientes:

Tamaño de la bandeja: 25 x 25 cm

Área de la bandeja: 0,063 m²

Cantidad de muestra: 103,29 g

Contenido de humedad: 88,56 %

Contenido de sólido seco: 11,82 g

Tiempo de secado: 4 horas

Tabla 4.20

Variación de humedad y velocidad de secado para las rodajas de piña deshidratada con pretratamiento

| Tiempo (minutos) | Peso (g) | X (kg de agua/kg de sólido seco) | X media (kg /kg) | $\Delta\Theta$ (h) | ΔX (kg/kg) | $\Delta X/\Delta\Theta$ (kg/kg h) | N (kg/m ² h) |
|------------------|----------|----------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 0 | 103,29 | 7,739 | | | | | |
| 10 | 97,43 | 7,243 | 7,491 | 0,167 | 0,496 | 2,969 | 0,560 |
| 20 | 89,91 | 6,607 | 6,925 | 0,167 | 0,636 | 3,810 | 0,719 |
| 30 | 82,91 | 6,014 | 6,310 | 0,167 | 0,592 | 3,546 | 0,670 |
| 40 | 77,82 | 5,584 | 5,799 | 0,167 | 0,431 | 2,579 | 0,487 |
| 50 | 71,37 | 5,038 | 5,311 | 0,167 | 0,546 | 3,268 | 0,617 |
| 60 | 65,62 | 4,552 | 4,795 | 0,167 | 0,486 | 2,913 | 0,550 |
| 70 | 59,87 | 4,065 | 4,308 | 0,167 | 0,486 | 2,913 | 0,550 |
| 80 | 54,71 | 3,629 | 3,847 | 0,167 | 0,437 | 2,614 | 0,494 |
| 90 | 49,74 | 3,208 | 3,418 | 0,167 | 0,420 | 2,518 | 0,475 |
| 100 | 44,30 | 2,748 | 2,978 | 0,167 | 0,460 | 2,756 | 0,520 |
| 110 | 41,37 | 2,500 | 2,624 | 0,167 | 0,248 | 1,484 | 0,280 |
| 120 | 36,07 | 2,052 | 2,276 | 0,167 | 0,448 | 2,685 | 0,507 |
| 130 | 33,20 | 1,809 | 1,930 | 0,167 | 0,243 | 1,454 | 0,275 |
| 140 | 30,47 | 1,578 | 1,693 | 0,167 | 0,231 | 1,383 | 0,261 |
| 150 | 27,53 | 1,329 | 1,453 | 0,167 | 0,249 | 1,489 | 0,281 |
| 160 | 24,68 | 1,088 | 1,209 | 0,167 | 0,241 | 1,444 | 0,273 |
| 170 | 23,00 | 0,946 | 1,017 | 0,167 | 0,142 | 0,851 | 0,161 |
| 180 | 21,76 | 0,841 | 0,893 | 0,167 | 0,105 | 0,628 | 0,119 |
| 190 | 20,34 | 0,721 | 0,781 | 0,167 | 0,120 | 0,719 | 0,136 |
| 200 | 19,67 | 0,664 | 0,692 | 0,167 | 0,057 | 0,339 | 0,064 |
| 210 | 19,38 | 0,640 | 0,652 | 0,167 | 0,025 | 0,147 | 0,028 |
| 220 | 19,21 | 0,625 | 0,632 | 0,167 | 0,014 | 0,086 | 0,016 |
| 230 | 18,98 | 0,606 | 0,615 | 0,167 | 0,019 | 0,117 | 0,022 |
| 240 | 18,80 | 0,591 | 0,598 | 0,167 | 0,015 | 0,091 | 0,017 |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

X = Humedad en base seca de las rodajas de piña (kg de agua/kg de sólido seco).

ΔX = Gradiente de humedad en base seca (kg de agua/kg de sólido seco).

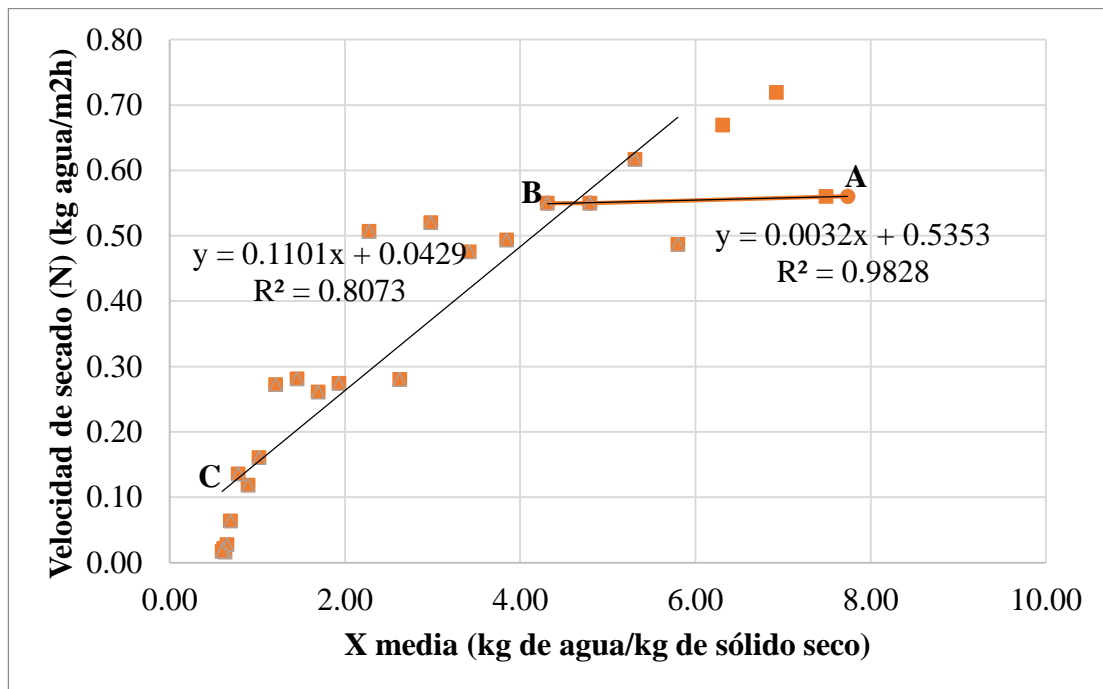
$\Delta\Theta$ = Gradiente de tiempo (h).

$\Delta X/\Delta\Theta$ = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo (kg/kg h).

X media = Humedad promedio (kg de agua/kg de sólido seco).

N = Velocidad de secado ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ h}$).

En la figura 4.33, se muestra la curva de velocidad de secado de la muestra de rodajas de piña con pretratamiento en función del contenido de humedad promedio de datos obtenidos de la tabla 4.19. Los resultados experimentales fueron realizados mediante regresión lineal por Excel 2016.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Cinética de secado en el proceso de secado con pretratamiento para obtener rodajas de piña deshidratada

En la figura 4.33, se puede observar el comportamiento de pérdida de humedad de la muestra con pretratamiento con la velocidad de secado donde se observa dos tramos distintos (A - B), (B - C) y los cuales se describen a continuación.

En el tramo (A - B) periodo ante crítico cuya velocidad de secado es relativamente constante, se puede observar que finaliza cuando el contenido medio de humedad alcanza la humedad crítica por lo tanto la ecuación matemática de la regresión lineal ajustada con el coeficiente de regresión R^2 (0,9828) para el tramo A - B, se describe en la ecuación 4.5.

$$y = 0,0032x + 0,5353$$

Ecuación 4.5

En el tramo B - C periodo de secado post crítico, la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad alcanza el equilibrio por lo tanto la ecuación matemática de la regresión lineal ajustada con el coeficiente de regresión R^2 (0,8073) para el tramo B - C, se describe en la ecuación 4.6.

$$y = 0,1101x + 0,0429$$

Ecuación 4.6

En la tabla 4.21, se muestra los resultados obtenidos y calculados para realizar la cinética de secado de las muestras de rodajas de piña deshidratada sin pretratamiento donde los parámetros controlados fueron: temperatura 60 °C, velocidad del aire 3 m/s, forma de corte; rodajas enteras de 3 mm de grosor. donde las condiciones de secado fueron las siguientes. Los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel 2016.

Tamaño de la bandeja: 25 x 25 cm

Área de la bandeja: 0,063 m²

Cantidad de muestra: 107,59 g

Contenido de humedad: 88,56 %

Contenido de sólido seco: 12,31 g

Tiempo de secado: 4 horas

Tabla 4.21

Variación de humedad y velocidad de secado para las rodajas de piña deshidratada sin pretratamiento

| Tiempo (minutos) | Peso (g) | X (kg de agua/kg de sólido seco) | X media (kg /kg) | $\Delta\Theta$ (h) | ΔX (kg/kg) | $\Delta X/\Delta\Theta$ (kg/kg/h) | N (kg/m ² h) |
|------------------|----------|----------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 0 | 107,59 | 7,741 | | | | | |
| 10 | 100,57 | 7,171 | 7,456 | 0,167 | 0,570 | 3,415 | 0,672 |
| 20 | 92,82 | 6,541 | 6,856 | 0,167 | 0,630 | 3,770 | 0,742 |
| 30 | 86,20 | 6,004 | 6,273 | 0,167 | 0,538 | 3,221 | 0,634 |
| 40 | 79,55 | 5,463 | 5,733 | 0,167 | 0,540 | 3,235 | 0,637 |
| 50 | 72,67 | 4,904 | 5,184 | 0,167 | 0,559 | 3,347 | 0,659 |
| 60 | 66,53 | 4,405 | 4,655 | 0,167 | 0,499 | 2,987 | 0,588 |
| 70 | 61,51 | 3,998 | 4,201 | 0,167 | 0,408 | 2,442 | 0,481 |
| 80 | 56,11 | 3,559 | 3,778 | 0,167 | 0,439 | 2,627 | 0,517 |
| 90 | 51,25 | 3,164 | 3,361 | 0,167 | 0,395 | 2,364 | 0,465 |
| 100 | 46,22 | 2,755 | 2,960 | 0,167 | 0,409 | 2,447 | 0,482 |
| 110 | 42,22 | 2,430 | 2,593 | 0,167 | 0,325 | 1,946 | 0,383 |
| 120 | 37,91 | 2,080 | 2,255 | 0,167 | 0,350 | 2,097 | 0,413 |
| 130 | 34,01 | 1,763 | 1,922 | 0,167 | 0,317 | 1,897 | 0,373 |
| 140 | 30,48 | 1,476 | 1,620 | 0,167 | 0,287 | 1,717 | 0,338 |
| 150 | 27,19 | 1,209 | 1,343 | 0,167 | 0,267 | 1,601 | 0,315 |
| 160 | 24,05 | 0,954 | 1,082 | 0,167 | 0,255 | 1,528 | 0,301 |
| 170 | 21,87 | 0,777 | 0,865 | 0,167 | 0,177 | 1,061 | 0,209 |
| 180 | 20,00 | 0,625 | 0,701 | 0,167 | 0,152 | 0,910 | 0,179 |
| 190 | 18,38 | 0,493 | 0,559 | 0,167 | 0,132 | 0,788 | 0,155 |
| 200 | 17,28 | 0,404 | 0,449 | 0,167 | 0,089 | 0,535 | 0,105 |
| 210 | 16,52 | 0,342 | 0,373 | 0,167 | 0,062 | 0,370 | 0,073 |
| 220 | 15,95 | 0,296 | 0,319 | 0,167 | 0,046 | 0,277 | 0,055 |
| 230 | 15,60 | 0,267 | 0,282 | 0,167 | 0,028 | 0,170 | 0,034 |
| 240 | 15,52 | 0,261 | 0,264 | 0,167 | 0,006 | 0,039 | 0,008 |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

X = Humedad en base seca de las rodajas de piña (kg de agua/kg de sólido seco).

ΔX = Gradiente de humedad en base seca (kg de agua/kg de sólido seco).

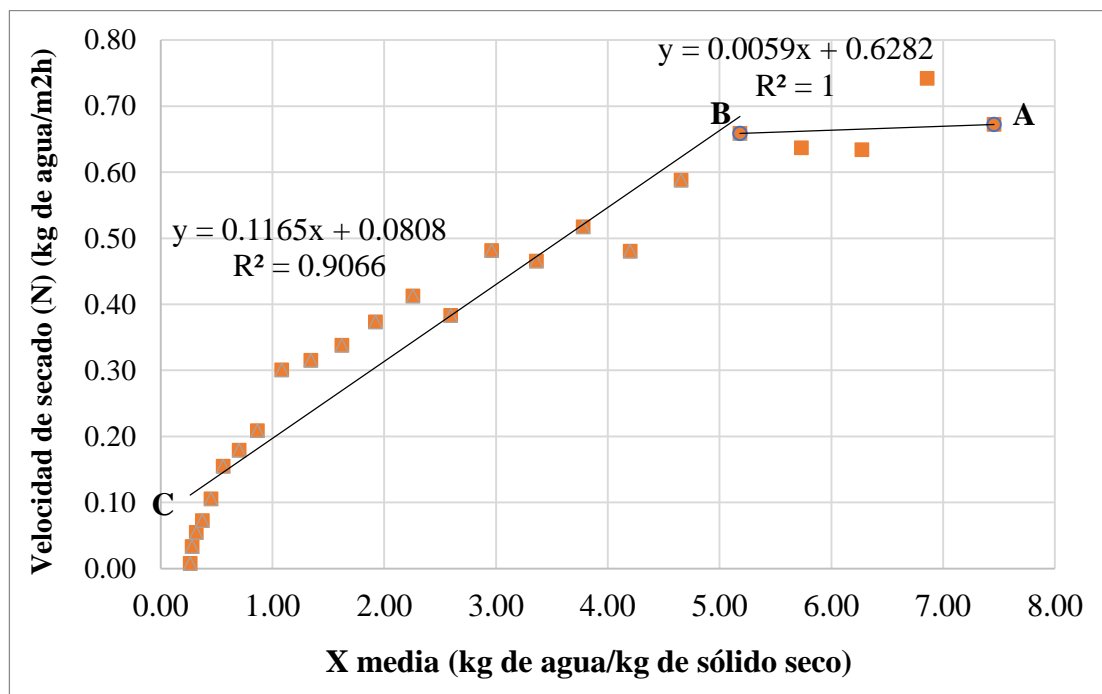
$\Delta\Theta$ = Gradiente de tiempo (h).

$\Delta X/\Delta\Theta$ = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo (kg/kg h).

X media = Humedad promedio (kg de agua/kg de sólido seco).

N = Velocidad de secado (kg/m² h).

En la figura 4.34, se muestra la curva de velocidad de secado de la muestra de rodajas de piña sin pretratamiento en función del contenido de humedad promedio de datos obtenidos de la tabla 4.20. Los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel 2016.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Cinética de secado en el proceso de secado sin pretratamiento para obtener rodajas de piña deshidratada

En la figura 4.34, se puede observar el comportamiento de pérdida de humedad de la muestra sin pretratamiento con la velocidad de secado donde se observa dos tramos distintos (A - B), (B - C) y los cuales se describen a continuación.

En el tramo (A - B) periodo ante crítico cuya velocidad de secado es relativamente constante, se puede observar que finaliza cuando el contenido medio de humedad alcanza la humedad crítica por lo tanto la ecuación matemática de la regresión lineal

ajustada con el coeficiente de regresión R^2 (1) para el tramo A - B, se describe en la ecuación 4.7

$$y = 0,0059x + 0,6282 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

En el tramo B-C periodo de secado post crítico, la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad alcanza el equilibrio por lo tanto la ecuación matemática de la regresión lineal ajustada con el coeficiente de regresión R^2 (0,9066) para el tramo B-C, se describe en la ecuación 4.8.

$$y = 0,1165x + 0,0808 \quad \text{Ecuación 4.8}$$

4.6 Caracterización de las rodajas de piña deshidratada

Para la caracterización de las (rodajas de piña deshidratada), se tomó en cuenta las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y los micronutrientes los cuales son detallados a continuación:

4.6.1 Análisis fisicoquímico de las rodajas de piña deshidratada

En la tabla 4.22, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de las rodajas de piña deshidratada de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.22

Análisis fisicoquímicos de las rodajas de piña deshidratada

| Parámetros | Unidad | Resultado |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Acidez (como ácido cítrico) | % | 0,90 |
| Azúcares reductores | % | 36,47 |
| Azúcares totales | % | 60,00 |
| Ceniza | % | 1,20 |
| Fibra | % | 2,07 |
| Grasa | % | 0,40 |
| Hidratos de carbono | % | 82,88 |
| Humedad | % | 10,85 |
| Proteína total (Nx6,25) | % | 2,60 |
| pH (20°C) | | 4,44 |
| Valor energético | Kcal/100g | 345,52 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se puede observar que las rodajas de piña deshidratada contienen: Acidez (como ácido cítrico) 0,90 %; azúcares reductores 36,47 %; azúcares totales 60,00 %; cenizas 1,20 %; fibra 2,07 %; grasa 0,40 %; hidratos de carbono 82,88 %; humedad 10,85 %; proteína total 2,60 %; pH 4,44 y valor energético 345,52 Kcal/100g.

4.6.2 Análisis microbiológico de las rodajas de piña deshidratada

En la tabla 4.23, se muestran los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos determinados a las rodajas de piña deshidratada de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.23

Análisis microbiológico de las rodajas de piña deshidratada

| Microorganismo | Unidad | Resultado |
|-----------------------|--------|-------------------------|
| Coliforme totales | UFC/g | $< 1,0 \times 10^1$ (*) |
| Mohos y levaduras | UFC/g | $2,3 \times 10^4$ |
| Staphylococcus aureus | UFC/g | $< 1,0 \times 10^1$ (*) |

(*) No se observa desarrollo de colonias

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se puede observar que las rodajas de piña presentan; Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); Mohos y Levaduras $2,3 \times 10^4$ UFC/g y Staphylococcus aureus $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*).

(*) No se observa desarrollo de colonias

4.6.3 Análisis de los micronutrientes de las rodajas de piña deshidratada

En la tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos de los micronutrientes realizado a las rodajas de piña deshidratada de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.24

Análisis de los micronutrientes de las rodajas de piña deshidratada

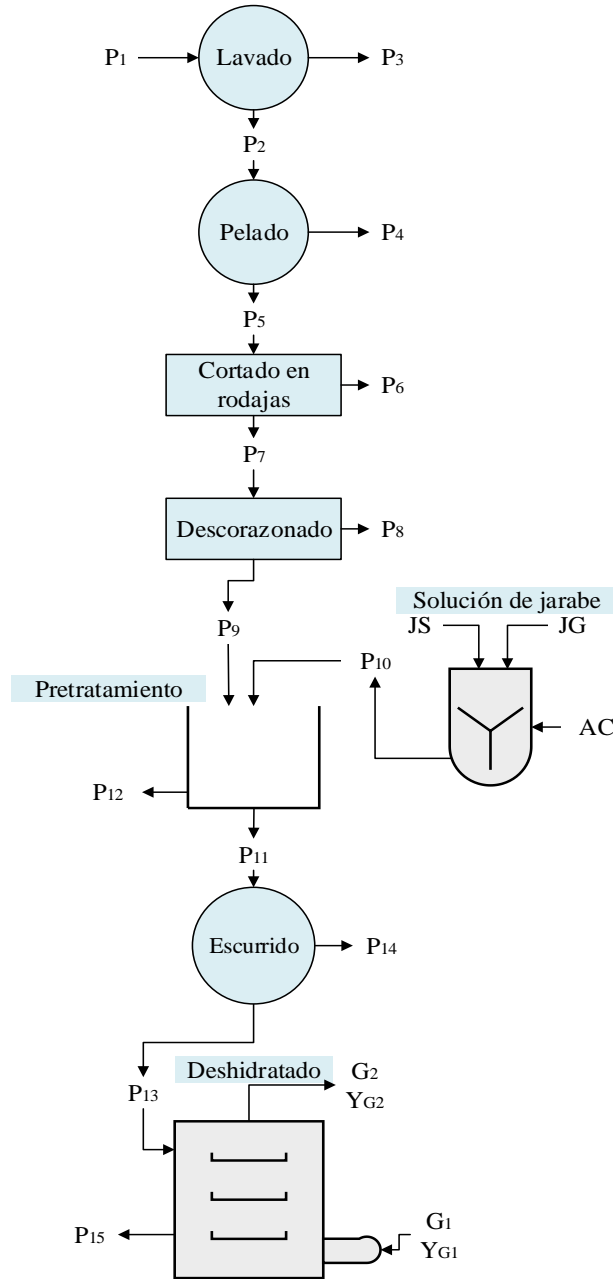
| Micronutriente | Unidad | Resultado |
|----------------|---------|-----------|
| Calcio | mg/100g | 39,1 |
| Potasio | mg/100g | 370,0 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.24, se puede observar que las rodajas de piña deshidratada presentan; calcio (39,1 mg/100 g) y potasio (370,0 mg/100 g).

4.7 Balance de materia en el proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada

En la figura 4.35, se muestra el diagrama de flujo que se realizó en el balance para la obtención de rodajas de piña deshidratada para una cantidad de 2435 g de piña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de rodajas de piña deshidratada.

Donde:

P_1 = Piña entera (g)

P_2 = Cantidad de piña lavada (g)

P_3 = Cantidad de impurezas (g)

P_4 = Cantidad de desechos (g)

P_5 = Cantidad de piña pelada (g)

P_6 = Cantidad de rodajas no útiles (g)

P_7 = Cantidad de rodajas útiles (g)

P_8 = Cantidad de PNC (cilindro central) (g)

P_9 = Cantidad de rodajas de piña acondicionadas (g)

P_{10} = Cantidad de solución de jarabe de sacarosa y glucosa (g)

P_{11} = Cantidad de piña pre tratada (g)

P_{12} = Cantidad de jarabe residual (g)

P_{13} = Cantidad de piña escurrida (g)

P_{14} = Cantidad de exceso de jarabe residual (g)

P_{15} = Cantidad de rodajas de piña deshidratada (g)

JG = Cantidad de jarabe de glucosa (g)

JS = Cantidad de jarabe de sacarosa (g)

AC = Cantidad de ácido cítrico (g)

SC = Cantidad de sacarosa (g)

GL = Cantidad de glucosa (g)

$A_1 = A_2 = A_T$ = Cantidad de agua destilada (g)

GS = Cantidad de ganancia de sólido (%)

G = Cantidad de aire seco (kg)

AE = Cantidad de agua evaporada (g)

X^{PC} = Fracción de porción comestible.

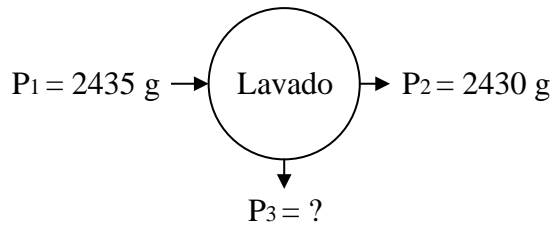
X^{PNC} = Fracción de porción no comestible.

X^{RU} = Fracción de las rodajas útiles

X^{RNU} = Fracción de las rodajas no útiles
 $W_{\text{JS}}^{\text{H2O}}$ = Fracción líquida del jarabe de sacarosa
 X_{JS}^{S} = Fracción sólida del jarabe de sacarosa
 $W_{\text{JG}}^{\text{H2O}}$ = Fracción líquida del jarabe de glucosa
 X_{JG}^{S} = Fracción sólida del jarabe de glucosa
 X_{10}^{S} = Fracción sólida del jarabe de sacarosa y glucosa.
 W_{10}^{S} = Fracción líquida del jarabe de sacarosa y glucosa.
 $X_{\text{A1}}^{\text{S}} = X_{\text{A2}}^{\text{S}}$ = Fracción sólida del agua
 $W_{\text{A1}}^{\text{H2O}} = W_{\text{A2}}^{\text{H2O}}$ = Fracción líquida del agua
 X_{SC}^{S} = Fracción sólida de la sacarosa
 $W_{\text{SC}}^{\text{H2O}}$ = Fracción líquida de la sacarosa
 X_{GL}^{S} = Fracción sólida de la glucosa
 $W_{\text{GL}}^{\text{H2O}}$ = Fracción líquida de la glucosa
 X_9^{SS} = Fracción sólida de las rodajas de piña
 X_{12}^{SS} = Fracción sólida del jarabe residual
 X_{11}^{SS} = Fracción sólida de las piñas pretratadas
 X_{13}^{SS} = Fracción sólida contenido de humedad de las rodajas de piña
 X_{13}^{H2O} = Fracción líquida contenido de humedad de las rodajas de piña
 X_{15}^{SS} = Fracción sólida contenido de humedad de las rodajas de piña deshidratada
 X_{15}^{H2O} = Fracción líquida contenido de humedad de las rodajas de piña deshidratada
 HBS_{13} = Humedad inicial en base seca
 HBS_{15} = Humedad final en base seca

4.7.1 Balance de materia en la etapa de lavado de la piña

En la figura 4.36, se muestra la etapa de lavado de la piña (*Anana comusus*) que se utilizó para la obtención de rodajas de piña deshidratada donde el peso de la piña entera es 2435 g.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.36: Etapa de lavado

- Balance general de materia en la etapa de lavado de la piña

$$P_1 = P_2 + P_3 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

- Despejando P_3 de la ecuación 4.9 se obtiene:

$$P_3 = P_1 - P_2$$

- Reemplazando valores

$$P_3 = 2435 \text{ g} - 2430 \text{ g}$$

$P_3 = 5 \text{ g}$ de pérdida de impurezas en la etapa de lavado

- Cantidad en porcentaje de pérdida en la etapa de lavado

$$\% P_3 = \frac{P_3 * 100 \%}{P_1} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

- Reemplazando valores

$$\% P_3 = \frac{5 \text{ g} * 100 \%}{2435 \text{ g}}$$

$\% P_3 = 0,21 \%$ de pérdida en la etapa de lavado

4.7.2 Balance de materia en la etapa de pelado de la piña

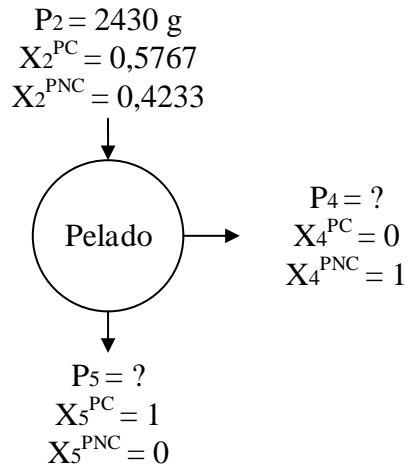
En la figura 4.37, se muestra la etapa de pelado de la piña donde se realizó con 2430 g de piña; para los datos de porcentaje de PC y PNC (tabla 4.25) de datos extraídos de la tabla 4.1.

Tabla 4.25

Datos de porción no comestible y porción comestible de la piña

| | Peso total | PNC | | PC | |
|-------------------|--------------|-------------|--------------|-----------------------|--------------|
| | | Peso corona | Peso cáscara | Peso cilindro central | Peso pulpa |
| Promedio | 1926,41±0,01 | 193,43±0,01 | 622,18±0,01 | 110,15±0,01 | 1000,66±0,01 |
| Porcentaje | | 0,4233 % | | 0,5767 % | |

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Etapa de pelado

- Balance general de materia en la etapa de pelado de la piña

$$P_2 = P_4 + P_5 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

- Balance parcial de materia para la porción comestible de la piña

$$P_2 * X_2^{PC} = P_4 * X_4^{PC} + P_5 * X_5^{PC} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

- Despejando P_5 de la ecuación 4.12 se obtiene:

$$P_5 = \frac{P_2 * X_2^{PC}}{X_5^{PC}}$$

- Reemplazando valores

$$P_5 = \frac{2430 \text{ g} * 0,5767}{1}$$

$$P_5 = 1401,38 \text{ g de piña pelada}$$

- Despejando P_4 de la ecuación 4.11 se obtiene:

$$P_4 = P_2 - P_5$$

- Reemplazando valores

$$P_4 = 2430 \text{ g} - 1401,38 \text{ g} = 1028,62 \text{ g de desechos en la etapa de pelado de la piña}$$

- Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de pelado de la piña

$$\% P_4 = \frac{P_4 * 100 \%}{P_2} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

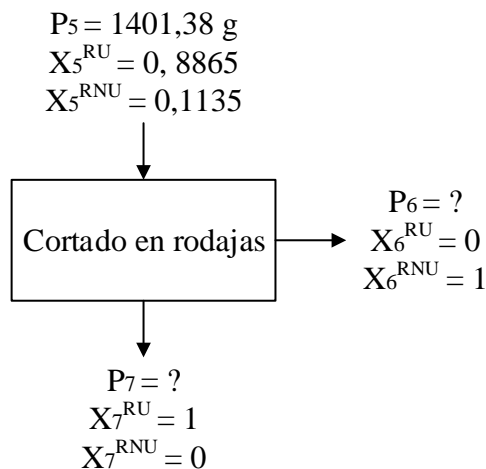
- Reemplazando valores

$$\% P_4 = \frac{1028,62 \text{ g} * 100 \%}{2430 \text{ g}}$$

$\% P_4 = 42,33 \%$ de desecho (cáscara y corona) en la etapa de pelado de la piña

4.7.3 Balance de materia en la etapa de cortado en rodajas de la piña

En la figura 4.38, se muestra la etapa de cortado en rodajas de la piña donde los porcentajes de rodajas útiles (RU) y rodajas no útiles (RNU) fueron extraídos de la tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Etapa de cortado en rodajas

- Balance general de materia en la etapa de cortado en rodajas de la pulpa de piña

$$P_5 = P_6 + P_7 \quad \text{Ecuación 4.14}$$

- Balance parcial de materia para las rodajas útiles

$$P_5 * X_5^{RU} = P_6 * X_6^{RU} + P_7 * X_7^{RU} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

- Despejando P_7 de la ecuación 4.15 se obtiene:

$$P_7 = \frac{P_5 * X_5^{RU}}{X_7^{RU}}$$

- Reemplazando valores

$$P_7 = \frac{1401,38 \text{ g} * 0,8865}{1}$$

$$P_7 = 1242,32 \text{ g de rodajas útiles}$$

- Despejando P_6 de la ecuación 4.14 se obtiene:

$$P_6 = P_5 - P_7$$

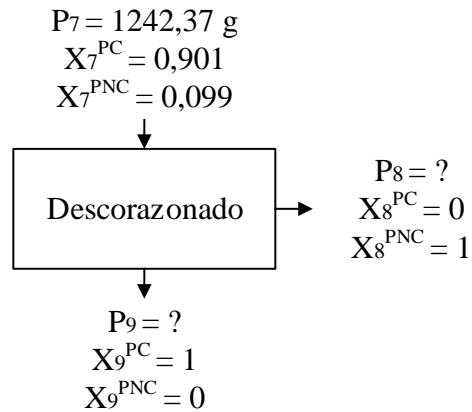
- Reemplazando valores

$$P_6 = 1401,38 \text{ g} - 1242,32 \text{ g}$$

$$P_6 = 159,06 \text{ g de rodajas no útiles}$$

4.7.4 Balance de materia en la etapa de descorazonado en rodajas de la piña

En la figura 4.39, se muestra la etapa de descorazonado de las rodajas de piña donde el porcentaje del cilindro central (PNC) 9,91 % que fueron calculados con datos de la tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.39: Etapa de descorazonado

- Balance general de materia en la etapa de descorazonado en las rodajas de piña

$$P_7 = P_8 + P_9 \quad \text{Ecuación 4.16}$$

- Balance parcial de materia para la porción comestible

$$P_7 * X_7^{\text{PC}} = P_8 * X_8^{\text{PC}} + P_9 * X_9^{\text{PC}} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

- Despejando P_9 de la ecuación 4.17 se obtiene:

$$P_9 = \frac{P_7 * X_7^{\text{PC}}}{X_9^{\text{PC}}}$$

- Reemplazando valores

$$P_9 = \frac{1242,32 \text{ g} * 0,901}{1}$$

$$P_9 = 1119,33 \text{ g de rodajas de piña acondicionada}$$

- Despejando P_8 de la ecuación 4.16 se obtiene:

$$P_8 = P_7 - P_9$$

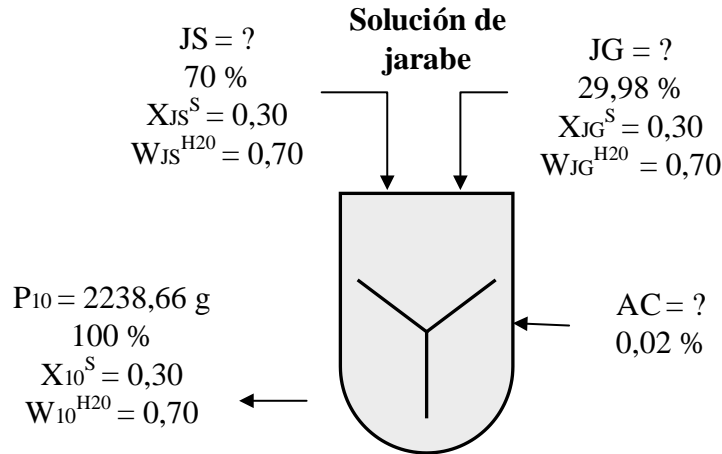
- Reemplazando valores

$$P_8 = 1242,32 \text{ g} - 1119,33 \text{ g}$$

$$P_8 = 122,99 \text{ g de porción no comestible (cilindro central)}$$

4.7.5 Balance de materia para la preparación de la solución del jarabe de sacarosa y glucosa

En la figura 4.40, se muestra la etapa de preparación de la solución del jarabe de sacarosa (70 %), glucosa (29,98 %) y ácido cítrico (0,02 %) para lo cual se realizó en una relación 1:2 fruta: jarabe donde se preparó 2238,66 g de solución de jarabe.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.40: Etapa de preparación del jarabe

- Balance general de materia para la etapa de preparación de la solución de jarabe

$$JS + JG + AC = P_{10} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

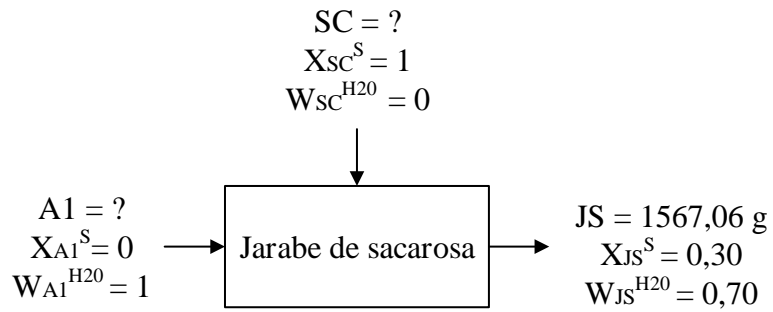
- Para realizar el cálculo de ácido cítrico, se tomó en cuenta la fracción del porcentaje de ácido a ser utilizado con la cantidad total del jarabe

$$AC = 2238,66 \text{ g} * 0,0002 = 0,45 \text{ g de ácido cítrico}$$

- Para el cálculo del jarabe de sacarosa, se tomó en cuenta la fracción del porcentaje de jarabe de sacarosa.

$$JS = 2238,66 \text{ g} * 0,70 = 1567,06 \text{ g de solución de jarabe de sacarosa}$$

- Para determinar la cantidad de los componentes agua y sacarosa para la preparación del jarabe de sacarosa se realizó el balance como se muestra en la figura 4.41.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.41: Preparación del jarabe de sacarosa

- Balance general de materia para preparar el jarabe de sacarosa

$$A1 + SC = JS \quad \text{Ecuación 4.19}$$

- Balance parcial de componente sólido (°Brix)

$$A1 * X_{A1}^S + SC * X_{SC}^S = JS * X_{JS}^S \quad \text{Ecuación 4.20}$$

- Despejando SC de la ecuación 4.20 se obtiene:

$$SC = \frac{JS * X_{JS}^S}{X_{SC}^S}$$

- Reemplazando valores se obtiene:

$$SC = \frac{1567,06 \text{ g} * 0,30}{1} = 470,12 \text{ g de sacarosa}$$

- Despejando A₁ de la ecuación 4.19 se obtiene:

$$A1 = JS - SC$$

- Reemplazando valores se obtiene:

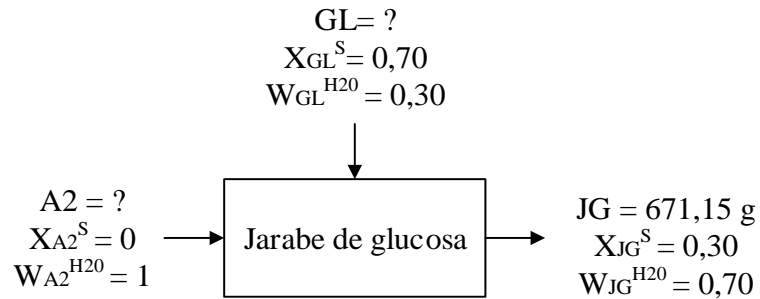
$$A1 = 1567,06 \text{ g} - 470,12 \text{ g}$$

$$A1 = 1096,94 \text{ g de agua destilada}$$

- Para el cálculo del jarabe de glucosa, se tomó en cuenta la fracción del porcentaje de jarabe de glucosa.

$$JG = 2238,66 \text{ g} * 0,2998 = 671,15 \text{ g de jarabe de glucosa}$$

- Para determinar la cantidad de los componentes glucosa y agua para la preparación del jarabe de glucosa se realizó el balance como se muestra en la figura 4.42, tomando en cuenta que el poder edulcorante de la glucosa es 0,70.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.42: Preparación del jarabe de glucosa

- Balance general de materia para preparar el jarabe de glucosa

$$GL + A2 = JG \quad \text{Ecuación 4.21}$$

- Balance parcial de materia para el componente sólido (°Brix)

$$GL * X_{GL}^S + A2 * X_{A2}^S = JG * X_{JG}^S \quad \text{Ecuación 4.22}$$

- Despejando GL de la ecuación 4.22 se obtiene:

$$GL = \frac{JG * X_{JG}^S}{X_{GL}^S}$$

- Reemplazando valores

$$GL = \frac{671,15 \text{ g} * 0,30}{0,70}$$

$$GL = 287,64 \text{ g de glucosa}$$

- Despejando A2 la ecuación 4.19 se obtiene:

$$A2 = JG - GL$$

- Reemplazando valores

$$A2 = 671,15 \text{ g} - 287,83 \text{ g} = 383,32 \text{ g de agua destilada}$$

- Cantidad total de agua destilada para preparar la solución de jarabe de sacarosa y glucosa

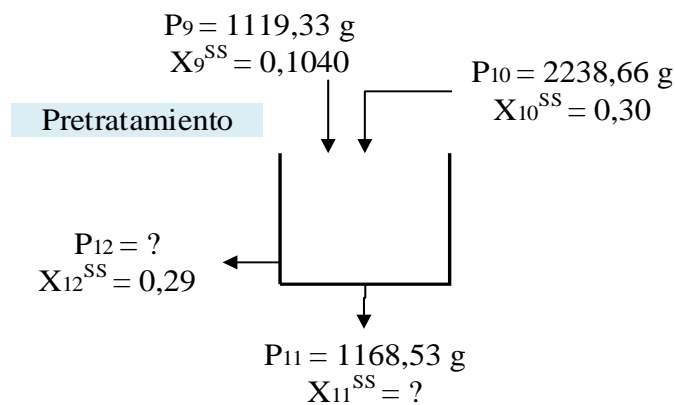
$$AT = A1 + A2$$

$$AT = 1096,94 \text{ g} + 383,32 \text{ g}$$

$$AT = 1480,26 \text{ g total de agua destilada}$$

4.7.6 Balance de materia en la etapa de pretratamiento para las rodajas de piña

En la figura 4.43, se muestra la etapa de pretratamiento que se realizó con 2238,66 g de solución de jarabe a 30 °Brix y 1119,33 g de rodajas de piña con 10,40 °Brix dato extraído de la tabla 4.2 y al finalizar se obtuvo un peso de 1168,53 g de rodajas de piña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.43: Etapa de pretratamiento

- Balance general de materia en la etapa de pretratamiento para las rodajas de piña

$$P_9 + P_{10} = P_{11} + P_{12} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

- Balance parcial de materia para el componente sólido (°Brix)

$$P_9 * X_9^{SS} + P_{10} * X_{10}^{SS} = P_{11} * X_{11}^{SS} + P_{12} * X_{12}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

- Despejando P_{12} de la ecuación 4.23 se obtiene:

$$P_{12} = P_9 + P_{10} - P_{11}$$

- Reemplazando los valores

$$P_{12} = 1119,33 \text{ g} + 2238,66 \text{ g} - 1168,53 \text{ g}$$

$$P_{12} = 2189,46 \text{ g de jarabe residual}$$

- Despejando X_{11}^{SS} de la ecuación 4.24 se obtiene:

$$X_{11}^{SS} = \frac{P_9 * X_9^{SS} + P_{10} * X_{10}^{SS} - P_{12} * X_{12}^{SS}}{P_{12}}$$

- Reemplazando valores

$$X_{12}^{SS} = \frac{1119,33 \text{ g} * 0,1040 + 2238,66 \text{ g} * 0,30 - 2189,46 \text{ g} * 0,29}{1168,53 \text{ g}}$$

$$X_{12}^{SS} = 0,13$$

- Ganancia de sólidos (°Brix) durante la etapa de pretratamiento ecuación 4.25 adaptada a la ecuación de (Acevedo et al., 2013. Pág. 125)

$$GS = \frac{P_{11} * X_{11}^{SS} - P_9 * X_9^{SS}}{P_9} * 100 \% \quad \text{Ecuación 4.25}$$

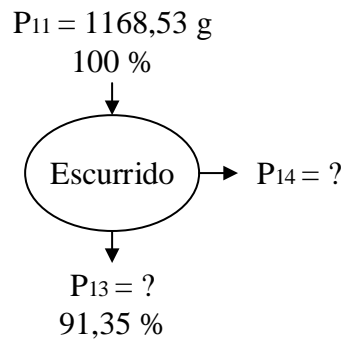
- Reemplazando valores

$$GS = \frac{1168,53 \text{ g} * 0,13 - 1119,33 \text{ g} * 0,1040}{1119,33 \text{ g}} * 100 \%$$

$$GS = 3,17 \% \text{ de ganancia de (°Brix) en las rodajas de piña pre tratada}$$

4.7.7 Balance de materia en la etapa de escurrido

En la figura 4.44, se muestra el balance de materia en el proceso de escurrido donde se realizó con 1168,53 g de rodajas de piña pre tratada y después del escurrido se obtuvo un 91,35 % de peso de las rodajas de piña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.44: Etapa de escurrido

- Balance general de materia en la etapa de escurrido

$$P_{11} = P_{14} + P_{13} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

- Para realizar el cálculo de las rodajas de piña escurridas se tomó en cuenta la fracción del porcentaje de peso.

$$P_{13} = P_{11} * 0,9135$$

$$P_{13} = 1168,53 \text{ g} * 0,9135$$

$$P_{13} = 1067,45 \text{ g de piña escurrida}$$

- De la ecuación 4.26 despejar P_{14} se obtiene:

$$P_{14} = P_{11} - P_{13}$$

- Reemplazando valores

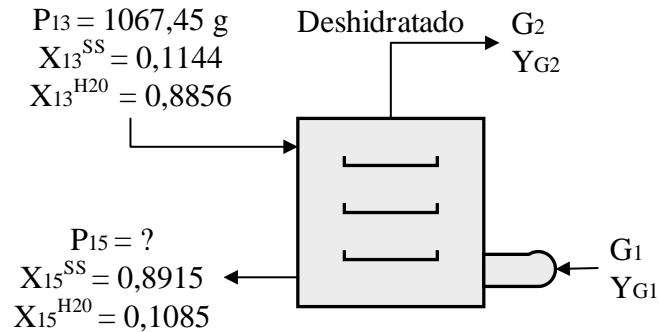
$$P_{14} = 1168,53 \text{ g} - 1067,45 \text{ g}$$

$$P_{14} = 101,08 \text{ g de exceso de jarabe}$$

4.7.8 Balance de materia en la etapa de secado de las rodajas de piña

En la figura 4.45, se muestra el balance de materia para la etapa de secado donde se realizó con 1067,45 g de rodajas de piña con contenido de humedad inicial 88,46 % y contenido de humedad después del proceso de secado 10,85 % que fueron

determinados en el laboratorio (CEANID) de datos extraídos del (Anexo A). Para determinar el contenido de sólido seco.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.45: Etapa de secado

- Balance general de materia en la etapa de secado de las rodajas de piña

$$P_{13} + G_1 = P_{15} + G_2 \quad \text{Ecuación 4.27}$$

- Balance parcial de materia para el componente sólido seco

$$P_{13} * X_{13}^{SS} = P_{15} * X_{15}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

- Despejando P_{15} de la ecuación 4.28 se obtiene:

$$P_{15} = \frac{P_{13} * X_{13}^{SS}}{X_{15}^{SS}}$$

- Reemplazando valores

$$P_{15} = \frac{1067,45 \text{ g} * 0,1144}{0,8915}$$

$$P_{15} = 136,98 \text{ g de rodajas de piña deshidratada}$$

- Balance parcial de materia en la etapa de secado donde se tomó en cuenta la ecuación 4.29 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$P_{13} * X_{13}^{SS} + G_1 * Y_{G1} = P_{15} * X_{15}^{SS} + G_2 * Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Donde las variables:

$G_1 = G_2 = G =$ Caudal másico del aire (kg de aire/ hora)

$P_{13} = P_{15} = P =$ Caudal másico de producto (kg de sólido seco/ hora)

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

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

- Reemplazando las variables en la ecuación 4.29 se obtiene:

$$P * X_{13}^{SS} + G * Y_{G1} = P * X_{15}^{SS} + G * Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

- Dividiendo la ecuación 4.30 entre P se obtiene:

$$X_{13}^{SS} + G Y_{G1}/P = X_{15}^{SS} + G Y_{G2} /P \quad \text{Ecuación 4.31}$$

- Ordenando la ecuación 4.31 se obtiene:

$$G Y_{G2}/P - G Y_{G1} /P = X_{13}^{SS} - X_{15}^{SS} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

- Factorizando G/P de la ecuación 4.32 se obtiene:

$$G = \frac{(X_{13}^{SS} - X_{15}^{SS}) * P}{(Y_{G2} - Y_{G1})} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

- Para calcular el contenido de humedad en base seca de las rodajas de piña al ingresar y al salir del secador se determinó según la ecuación 4.34. (Singh & Heldman, 2009)

$$HBS = \frac{\text{Masa}_{\text{agua}}}{\text{Masa}_{\text{sólido seco}}} = \text{kg de agua/kg de sólido seco} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

- De acuerdo a la ecuación 4.34, se calcula el contenido de humedad inicial en base seca en la etapa de secado.

$$HBS_{13} = \frac{0,8856}{0,1144}$$

$$HBS_{13} = 7,74 \text{ g de agua/g de sólido seco}$$

- De acuerdo a la ecuación 4.34, se calcula el contenido de humedad final en base seca en la etapa de secado.

$$HBS_{15} = \frac{0,1085}{0,8915}$$

$$HBS_{15} = 0,122 \text{ g de agua/g de sólido seco}$$

- En la tabla 4.26, se muestra las propiedades psicométricas en base a los datos obtenidos de temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del secador que fueron introducidos al software Psicrom 1.0 (Anexo G), a 1866 msnm según (INE, 2002).

Tabla 4.26

Propiedades psicométricas del aire

| Propiedades | Aire frío | Aire saturado |
|-------------------------------|-----------|---------------|
| TBS (°C) | 18,90 | 39,10 |
| TBH (°C) | 11,06 | 23,42 |
| HR (%) | 41,71 | 29,50 |
| Y (g de agua/kg de aire seco) | 7,13 | 16,50 |
| PVP (kpa) | 0,91 | 2,11 |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

PVP = Presión parcial de vapor de agua

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

TBS = Temperatura de bulbo seco (°C)

TBH = Temperatura de bulbo húmedo (°C)

- Para la cantidad de rodajas de piña escurridas 1067,45 g la relación de cantidad de materia seca (P) de las rodajas de piña es 136,98 g de sólido seco
- Reemplazando los valores a la ecuación 4.33 para calcular la cantidad de masa de aire seco

$$G = \frac{(7,74 - 0,122) \frac{\text{g de agua}}{\text{g sólido seco}} * 136,98 \text{ g sólido seco}}{(16,50 - 7,13) \text{ g de agua /kg de aire seco}}$$

$$G = 111,37 \text{ kg de aire seco}$$

- Para calcular la masa de agua evaporada se tomó en cuenta la ecuación 4.35 citada por (Valiente, 1994).

$$AE = (X_{13}^{SS} - X_{15}^{SS}) * P_{15} \quad \textbf{Ecuación 4.35}$$

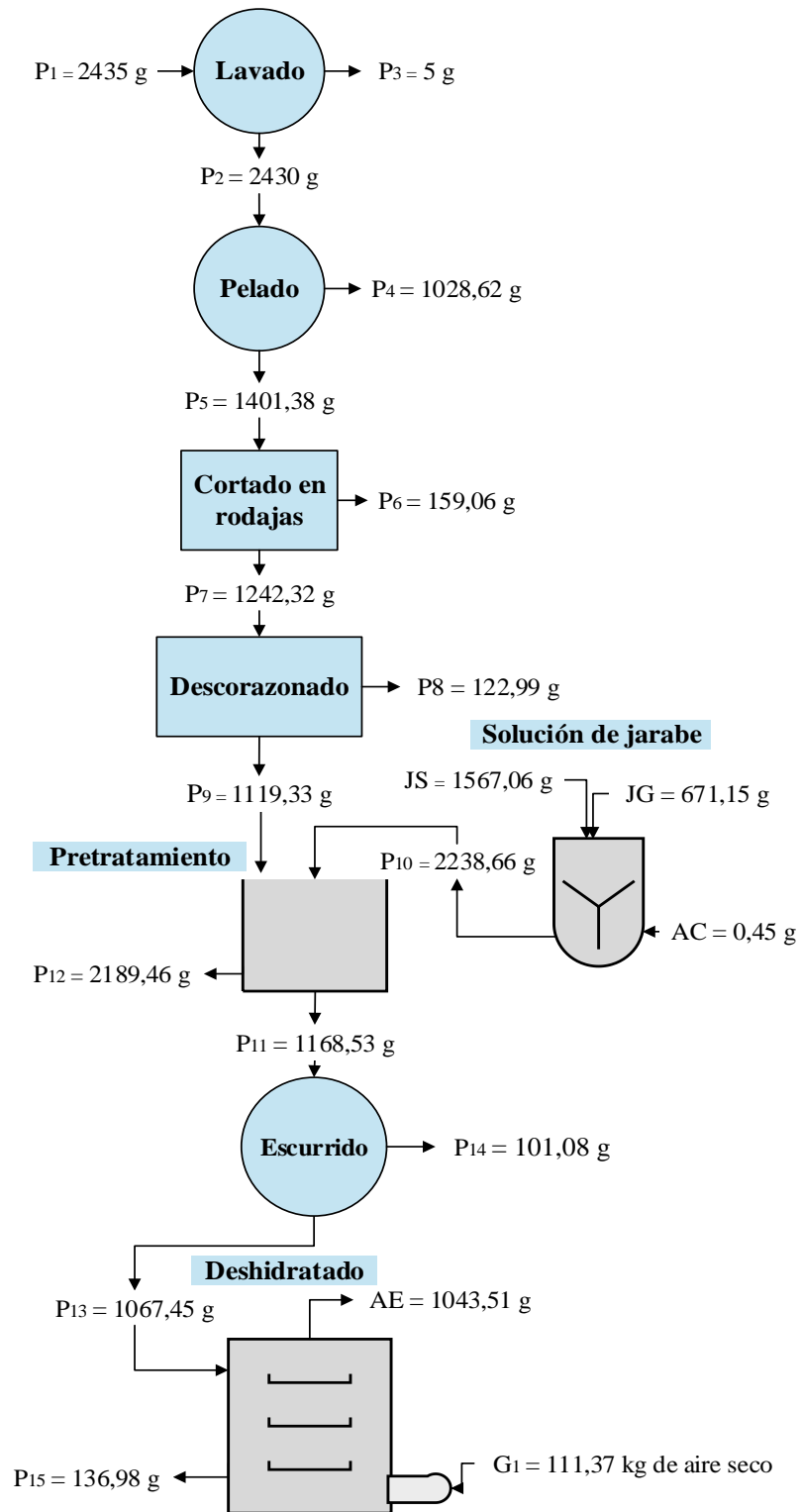
- Reemplazando valores

$$AE = (7,74 - 0,122) \text{ g de agua/g de sólido seco} * 136,98 \text{ g de sólido seco}$$

$$AE = 1043,51 \text{ g de agua evaporada}$$

4.7.9 Resumen general del balance de materia para la obtención de rodajas de piña deshidratada

En la figura 4.46, se muestra el resumen general del proceso para la obtención de rodajas de piña deshidratada.

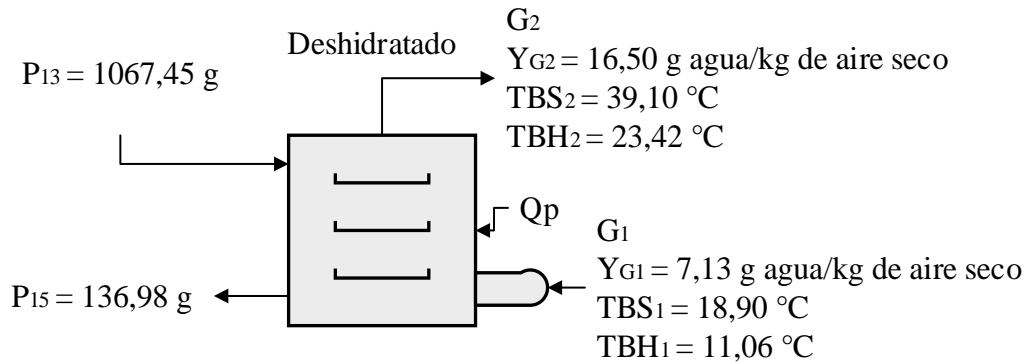


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.46: Resumen general del balance de materia

4.8 Balance de energía en el proceso de deshidratado de las rodajas de piña deshidratada

En la figura 4.47, se muestra el proceso de deshidratado para realizar el balance de energía para la obtención de rodajas de piña deshidratada



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.47: Balance de energía en el proceso de secado para la obtención de rodajas de piña deshidratada

- Balance combinado de materia y energía en el proceso de secado para la obtención de rodajas de piña deshidratada según (Singh & Heldman, 2009) ajustado a la ecuación 4.36.

$$P_{13} * H_{13} + G_1 * H_{G1} + Q_P = P_{15} * H_{15} + G_2 * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde las variables:

$G_1 = G_2 = G =$ Caudal másico del aire (kg de aire seco/h)

$P_{13} = P_{15} =$ Caudal másico del producto (kg de sólido seco/h)

$H_{13} = H_{15} =$ Entalpia del producto (kJ/kg de sólido seco)

$Q_P =$ Calor aportado al sistema (kJ)

- Reemplazando las variables en la ecuación 4.36 se obtiene:

$$P * H_{13} + G * H_{G1} + Q_P = P * H_{15} + G * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.37}$$

- Despejando Q_p de la ecuación 4.37 se obtiene:

$$Q_p = P * H_{15} + G * H_{G2} - P * H_{13} - G * H_{G1} \quad \text{Ecuación 4.38}$$

- Ordenando las variables de la ecuación 4.38 se obtiene:

$$Q_p = G * (H_{G2} - H_{G1}) + P * (H_{15} - H_{13}) \quad \text{Ecuación 4.39}$$

- Para calcular la entalpia del aire se utiliza la ecuación 4.40 descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$H_a = C_s (T_a - T_o) + Y * H_L \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Donde:

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

T_a = Temperatura del aire (°C)

T_o = Temperatura de referencia = (0 °C)

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

H_L = Calor latente de vaporización del agua (kJ/kg de agua)

- El calor húmedo del aire se calculó mediante la ecuación 4.41 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_s = 1,005 + 1,88 Y \quad \text{Ecuación 4.41}$$

- Reemplazando la ecuación 4.41 en la ecuación 4.40 se obtiene:

$$H_a = (1,005 + 1,88 Y) (T_a - T_o) + Y * H_L \quad \text{Ecuación 4.42}$$

- El valor de calor latente de vaporización a la salida del secador se extrajo del (Anexo G).

Donde:

H_L = 2456,5 kJ/kg a 18,90 °C

Y = 0,00713 kg agua/ kg de aire seco

T_a = 18,90 °C

$$T_0 = 0$$

- Reemplazando los valores en la ecuación 4.42 para la entalpia al ingreso del secador se obtiene:

$$H_{G1} = (1,005 \text{ kJ/kg aire seco } ^\circ\text{C} + 1,88 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C} * 0,00713 \text{ kg agua/kg de aire seco}) (18,90 - 0) ^\circ\text{C} + (0,00713 \text{ kg de agua/kg de aire seco} * 2456,5 \text{ kJ/kg})$$

$$H_{G1} = 36,763 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

- El valor de calor latente de vaporización a la salida del secador se extrajo del (Anexo G).

Donde:

$$H_L = 2406,7 \text{ kJ/kg a } 39,10 ^\circ\text{C}$$

$$Y = 0,0165 \text{ kg de agua/kg de aire seco}$$

$$T_a = 39,10 ^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0$$

- Reemplazando los valores en la ecuación 4.42 para la entalpia a la salida del secador se obtiene:

$$H_{G2} = (1,005 \text{ kJ/kg aire seco } ^\circ\text{C} + 1,88 \text{ kJ/kg de agua } ^\circ\text{C} * 0,0165 \text{ kg de agua/kg de aire seco}) * (39,10 - 0) ^\circ\text{C} + (0,0165 \text{ kg de agua/kg de aire seco} * 2406,7 \text{ kJ/kg})$$

$$H_{G2} = 80,219 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

- Para el cálculo de la entalpia del producto se tomó en cuenta la ecuación descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$H_P = C_P (T_P - T_0) + X_P * C_{PA} (T_P - T_0) \quad \text{Ecuación 4.43}$$

Donde:

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

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

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

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

- Para calcular el calor específico (kJ/kg °C) de las rodajas de piña se utilizó la ecuación 4.44 descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_p = L_P * C_{pP} + L_C * C_{pC} + L_H * C_{pH} + L_G * C_{pG} + L_A * C_{pA} \quad \text{Ecuación 4.44}$$

- Donde el valor de los calores específicos de cada componente alimentario. Según (Lewis, 1993) se detallan a continuación:

- $C_{pP} = 1,549$ (kJ/kg °C) calor específico de las proteínas

- $C_{pC} = 1,424$ (kJ/kg °C) calor específico de las cenizas

- $C_{pH} = 1,399$ kJ/kg °C calor específico de los carbohidratos

- $C_{pG} = 1,699$ kJ/kg °C calor específico de las grasas

- $C_{pA} = 4,179$ (kJ/kg °C) calor específico del agua

- L_P, L_C, L_H, L_G, L_A = Fracción masa de los componentes de los alimentos

- Para calcular el valor de las fracciones de masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados de la tabla 4.3, donde:

- $L_P = 0,0026$ (Fracción masa del componente proteína)

- $L_C = 0,0039$ (Fracción masa del componente de ceniza)

- $L_H = 0,1048$ (Fracción masa del componente carbohidratos)

- $L_G = 0,0008$ (Fracción masa del componente de la grasa)

- $L_A = 0,8856$ (Fracción masa del componente agua)

- Reemplazando los valores en la ecuación 4.44 se obtiene:

$$C_{p13} = 0,0026 * 1,549 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0039 * 1,424 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,1048 * 1,399 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0008 * 1,699 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,8856 * 4,179 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p13} = 3,858 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

- Reemplazando los datos en la ecuación 4.43, se obtiene la entalpia de las muestras de rodajas de piña a la entrada del secador. el valor de Cp del agua se extrajo del (Anexo G) a 18,90 °C.

$$H_{13} = 3,85 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * (18,90 - 0) ^\circ\text{C} + 7,74 \text{ kg de agua/kg de s\u00f3lido seco} * 4,182 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (18,90 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$H_{13} = 684,533 \text{ kJ/kg de s\u00f3lido seco}$$

- Para calcular el valor de las fracciones de masa de las rodajas de pi\u00f1a deshidratada de cada componente, se tom\u00f3 en cuenta los resultados de la tabla 4.21, donde:

- $L_P = 0,026$ (Fracci\u00f3n masa del componente prote\u00edna)
- $L_C = 0,012$ (Fracci\u00f3n masa del componente de ceniza)
- $L_H = 0,829$ (Fracci\u00f3n masa del componente carbohidratos)
- $L_G = 0,004$ (Fracci\u00f3n masa del componente de la grasa)
- $L_A = 0,1085$ (Fracci\u00f3n masa del componente agua)

- Reemplazando valores en la ecuaci\u00f3n 4.44 se obtiene el Cp. de las rodajas de pi\u00f1a a la salida del secador.

$$Cp_{15} = 0,026 * 1,549 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,012 * 1,424 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,829 * 1,399 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,004 * 1,699 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,1085 * 4,179 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Cp_{15} = 1,677 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

- Reemplazando los datos en la ecuaci\u00f3n 4.43, se obtiene la entalpia de las muestras de rodajas de pi\u00f1a deshidratada a la salida del secador, el valor de Cp del agua se extrajo del (Anexo G) a 39,10 °C.

$$H_{15} = 1,677 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (39,10 - 0) ^\circ\text{C} + 0,122 \text{ kg de agua/kg de s\u00f3lido seco} * 4,179 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} (39,10 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$H_{15} = 85,505 \text{ kJ/kg s\u00f3lido seco}$$

Ordenando los datos calculados se tiene:

$$H_{G1} = 36,76 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$H_{G2} = 80,22 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$H_{13} = 684,53 \text{ kJ/ kg de sólido seco}$$

$$H_{15} = 85,51 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$G = 111,37 \text{ kg de aire seco}$$

$$P = 136,97 \text{ sólido seco} = 0,13697 \text{ kg de sólido seco}$$

• **Reemplazando los datos en la ecuación 4.39 se obtiene:**

$$\bullet Q_p = 111,37 \text{ kg de aire seco} * (80,22 \text{ kJ/kg de aire seco} - 36,76 \text{ kJ/kg de aire seco}) + \\ 0,13697 \text{ kg de sólido seco} * (85,51 \text{ kJ/kg sólido seco} - 684,53 \text{ kJ/kg de sólido seco})$$

$$Q_p = 4758,09 \text{ kJ}$$

$$Q_p = 1137,21 \text{ kcal}$$

El calor requerido para deshidratar 1067,45 g de rodajas de piña es 1137,21 kcal.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Realizados los análisis físicos e índice de madurez de la piña se concluye que contiene: altura 17,41 cm; diámetro 12,01 cm; peso total 1926,41 g; porción comestible 51,82 %; porción no comestible 48,18 %; rodajas útiles 86,90 %; rodajas no útiles 14,63 %; sólidos soluble 10,2 °Brix; acidez 0,55 %; pH 3,77; e índice de madurez 19,07.
- En base a los resultados fisicoquímicos y microbiológicos realizado a la piña esta contiene: acidez 0,75 %; ceniza 0,39 %; fibra 0,23 %; grasa 0,08 %; hidratos de carbono 10,48 %; humedad 88,56 %; proteína total 0,26 %; pH 3,85 y valor energético 43,68 Kcal/100 g; Coliformes fecales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); Coliformes totales $4,0 \times 10^1$ UFC/g; Mohos y Levaduras $1,9 \times 10^3$ UFC/g.
(*) = No se observa desarrollo de colonias.
- Realizado la evaluación sensorial a los ensayos para determinar el tipo de pretratamiento aplicado en las muestras de rodajas de piña, se observó que las muestras P3, P5 y P7 tuvieron mayor preferencia por los jueces para los atributos color, sabor y textura para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- Realizado el contenido de humedad en base seca de las muestras de rodajas de piña deshidratada se procedió a elegir la muestra P5 (con pretratamiento de jarabe de sacarosa y glucosa) que obtuvo un contenido de humedad en base seca de 0,297 g de agua/g de sólido seco en un tiempo de 220 min. y con contenido de humedad residual de 10,86 %, la cual presentó mejores características en cuanto a color y verse favorecido en el tiempo y contenido de humedad final durante el secado.
- Aplicado el diseño factorial 2^3 en la etapa de secado para las muestras de rodajas de piña con pretratamiento y sin pretratamiento, se pudo establecer que las variables temperatura (A), velocidad del aire (B), forma de corte (C) e interacciones temperatura - velocidad del aire (AB), temperatura-forma de corte

(AC) y velocidad el aire - forma de corte (BC) no influyen significativamente en la variable respuesta contenido de humedad en base seca.

- Realizado la evaluación sensorial para las muestras del diseño experimental con pretratamiento se procedió a elegir la muestra D08 que presentó mayor aceptación por parte de los jueces y realizando el análisis estadístico de varianza existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ en el atributo aroma y sabor también presentó mayor aceptación por la forma de corte (rodajas enteras).
- En base a los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra final (rodajas de piña deshidratada) contiene: acidez 0,90 %; azúcares reductores 36,47 %; azúcares totales 60,00 %; calcio 39,1 mg/100 g; ceniza 1,20 %; fibra 2,07 %; grasa 0,40 %; hidratos de carbono 82,88 %; humedad 10,85 %; potasio 370 mg/100 g; proteína total 2,60 %; pH 4,44; valor energético 345,52 Kcal/100 g; Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*); Mohos y Levaduras $2,3 \times 10^4$ UFC/g y Staphylococcus aureus $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g (*).
(*) = No se observa desarrollo de colonias.
- En base al balance de materia y energía se concluyó que para 1067,45 g de rodajas de piña con 88,56 % de humedad inicial con pretratamiento y condiciones de secado (temperatura 60 °C y velocidad de aire 5 m/s) se obtiene 136,98 g de rodajas de piña deshidratada con contenido de humedad final de 10,85 %, la cantidad de calor requerido para secar la muestra es de 1137,21 Kcal.

5.2 Recomendaciones:

- Se recomienda la implementación de una planta piloto para la obtención de rodajas de piña deshidratada ya que se cuenta con una importante cantidad de piña en el mercado en época de cosecha y de esta forma coadyuvar a mejorar la transformación de productos alimenticios.
- Se recomienda incentivar al cultivo de piña especialmente a las familias de la provincia Gran Chaco, ya que presenta las condiciones climáticas adecuadas para la producción de la misma y de esta manera proveernos de productos locales y generar recursos al departamento de Tarija.
- Se recomienda que la carrera Ingeniería de Alimentos haga la adquisición de un nuevo equipo de secado por aire caliente ya que el existente, carece de algunos sistemas de control.