

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El plátano es uno de los cultivos más comunes en todos los países de clima tropical, el plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del trigo, el arroz y el maíz; de todo el fruto la pulpa es lo único que es consumido por el ser humano. La pulpa de plátano contiene diversas propiedades; es una excelente fuente de potasio proporcionando hasta un 23% de potasio necesario al día, también es rico en vitaminas A, B₆, C y D. (Blasco & Gómez, 2014)

El plátano presenta gran importancia socio-económica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo. En el proceso de mercadeo, predomina la comercialización en fresco, aunque los cambios en los hábitos socio-culturales de la población han incrementado el consumo de procesados y semi-procesados como ser snacks deshidratados, fritos, congelados, harina. (Quinceno et al, 2014)

El plátano es el cultivo más extendido en el trópico de Cochabamba, la variedad tradicional es el hartón, sin embargo, actualmente se está haciendo gran énfasis en introducir nuevas variedades. Entre las empresas que trabajan con plátano están: la Kochalita, Eco Chapare, Banabol, que junto a los pequeños productores abastecen al mercado nacional y de exportación. También están incursionando la elaboración de productos derivados como plátano deshidratado que tiene gran aceptación en mercados europeos. (Lanza y Col., 1999)

“La producción de plátano en Bolivia se da en casi todos los departamentos del país, excepto en Oruro y Potosí”. La producción de plátanos y la distribución en hectáreas por departamentos (INE, 2015, Pág. 32) se muestra en la tabla 1.1

Tabla 1.1

Producción de plátano y distribución por departamentos

Departamentos	Distribución en hectáreas
Cochabamba	10,825
Chuquisaca	4,0
La Paz	5,188
Beni	762,3
Santa Cruz	604,9
Pando	121,3
Tarija	25,0

Fuente: INE, 2015

En el departamento de Tarija la producción de plátano se encuentra en Caraparí, Palmar, Agüairenda y Bermejo. En pequeña escala, solo para el consumo humano y en algunas ocasiones lo comercializan a Yacuiba. Sin embargo, en el mercado local de la Provincia Cercado se encuentra plátano de la variedad ***Musa paradisiaca*** que proviene de Cochabamba debido a que es la zona de mayor producción en todo el país.

1.1 Justificación

- El plátano al ser una fruta altamente perecedera, se quiere dar una alternativa de conservación alargando su vida útil al transformarla en un producto deshidratado con valor agregado y así mismo incentivar a la producción de plátano en el departamento de Tarija.
- Mediante el presente trabajo se pretende elaborar un producto que pueda contribuir a mejorar la dieta alimentaria de las personas, ya que las frutas deshidratadas tienen mayor poder nutricional debido a la concentración de sus azúcares, minerales y vitaminas.
- En el mercado local de Tarija el plátano no es un producto de consumo masivo debido al hábito alimentario de las personas, con el presente trabajo se pretende incorporar un producto que pueda ser implementado en los desayunos escolares, con el fin de incentivar el consumo de plátano.

- Con el presente trabajo se pretende incorporar rodajas de plátano deshidratado que puedan ser consumidas de manera saludable, ya que los chips de plátano frito que existen en el mercado local son productos que no ayudan en la salud de las personas debido a la presencia de aceite residual en su superficie.

1.2 Objetivos

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

1.2.1 Objetivo general

Elaborar plátano deshidratado mediante el proceso de secado con aire caliente a nivel experimental, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional en la provincia Cercado de Tarija.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas del plátano con el fin de conocer su composición.
- Determinar el pre-tratamiento térmico más adecuado a realizar en la materia prima.
- Determinar las características organolépticas de las rodajas de plátano deshidratado mediante evaluación sensorial.
- Aplicar un diseño factorial en el proceso de elaboración, con la finalidad de controlar variables específicas que puedan afectar.
- Determinar el tiempo de secado mediante la fase experimental del plátano deshidratado para una mejor conservación del mismo y darle una nueva presentación.
- Realizar un análisis fisicoquímico, microbiológico y organoléptico del producto terminado, con la finalidad de establecer su calidad nutricional.

- Realizar un balance de materia y energía en el proceso de elaboración de plátano deshidratado a nivel experimental.
- Determinar el tipo de envase más adecuado para lograr una mejor conservación del producto.

1.3 Variables dependientes e independientes

- Variable dependiente: Elaborar plátano deshidratado
- Variable independiente: Proceso de secado con aire caliente

1.4 Planteamiento del problema

Dado a que en el mercado local de la provincia Cercado existe una importante oferta de plátano variedad *Musa paradisiaca*, pero el cual no es consumido rápidamente por la población; debido a factores culturales y por el poco conocimiento de las bondades nutricionales que tiene esta fruta.

Así mismo los procesos de secado mediante aire caliente se constituyen en un método sencillo para conservar este tipo de materia prima con el fin de mejorar su valor agregado ya que se pretende incorporar un subproducto deshidratado, que permita coadyuvar de alguna manera en la salud de las personas al no contener componentes residuales que sean tan nocivos para la población tarijeña.

Este nuevo producto a ser implementado podrá competir con los chips de plátano (frito) existentes debido a que no favorecen en la salud de la población consumidora de este tipo de producto.

1.5 Formulación del problema

¿Cómo elaborar plátano deshidratado mediante el proceso de secado con aire caliente a nivel experimental, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional en la provincia Cercado de Tarija?

1.6 Hipótesis

El proceso de secado con aire caliente a ser aplicado para la elaboración de plátano deshidratado, permitirá obtener un producto de calidad nutricional en la provincia Cercado de Tarija.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del plátano

La mayoría de cultivares de plátano tienen origen en dos especies silvestres: ***Musa acuminata*** (variedad comestible) y ***M. balbisiana*** (variedad no comestible) que por poliploidía e hibridación generan otras variedades. La composición ploídica y genómica representan a ***M. acuminata*** y ***M. balbisiana***, respectivamente, como A y B. (Parra y Col., 2008)

El plátano fue utilizado por el hombre en su alimentación desde los comienzos de su existencia, se dice que se originó en el sudeste de Asia meridional constituyendo un extenso e importante cultivo alimenticio, se introdujo en África Oriental el año 500 DC, llegando al Mediterráneo hacia el año 650 DC, de ahí fue llevado al Pacífico por el año 1000 y en 1516 se introdujo en Santo Domingo de donde se propagó al continente americano. (Sánchez, 2016)

2.2 Taxonomía del plátano

Los plátanos comestibles (crudos) pertenecen al grupo específico de las monocotiledóneas, poseen genoma exclusivamente de ***M. acuminata***, los cruces inter-específicos entre ***M. acuminata*** y ***M. balbisiana*** hacen referencia al plátano de cocina denominado ***Musa paradisiaca***. (Acosta, et al., 2004).

El MDPEP (2017) dice que también se lo conoce como “plátano de guisar o hartón” más grande y menos dulce que el resto de variedades de su misma familia (Pág. 2). En la figura 2.1 se muestra al plátano (***Musa paradisiaca***)



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.1 Plátano ***Musa paradisiaca***

Según (Acosta, et al., 2004) el plátano (*Musa paradisiaca*) se ubica en el reino vegetal dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

Nombre científico	<i>Musa paradisiaca</i>
Reino	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa
Epíteto Específico	Paradisiaca

2.3 El plátano

Los plátanos son frutos de 15 a 30 cm de longitud y de 70 a 100 g. de peso, se encuentran agrupados en racimos de hasta 200 frutos; durante el desarrollo del fruto estos se doblan geo-trópicamente según el peso del mismo; siendo de color verde, verde amarillento, amarillo verdoso y amarillo. (Herrera & Colonia, 2011)

“El plátano es una fruta nutritiva, posee nutrientes energéticos como hidratos de carbono y los nutrimentos reguladores que se encuentran presentes en vitaminas, minerales, como el potasio, magnesio y fósforo, siendo un alimento recomendable para toda la población” (Farinango, 2014. Pág. 6).

2.3.1 Generalidades del plátano

En el caso del plátano la calidad del producto final depende de numerosos factores, algunos ambientales poco controlables y otros relacionados directamente con el proceso de producción. Por este motivo es importante conocer todos los cambios en la respiración, sabor, aroma, textura y color que ocurre durante la maduración. (Paladines, 2017)

- **La maduración del plátano**

El proceso de maduración se caracteriza por una secuencia de cambios físicos, químicos, bioquímicos y metabólicos que permiten al fruto alcanzar sus

atributos sensoriales (forma, color, sabor, aroma, textura). La maduración del plátano está marcada por el aumento de la tasa de producción de etileno, CO₂ y por la conversión de grandes cantidades de carbono en forma de almidón, en sustancias que alteran la percepción del sabor. (Ordoñez, 2005)

- **Cambios en color del plátano**

La maduración del plátano va ligada con la variación del color verde a amarillo, producido por la degradación de las clorofilas, las causas primordiales son cambios en pH, desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas. En el caso del plátano el color de la piel constituye una guía muy importante con respecto a su estado de madurez comercial. (FAO, 2000)

2.4 Composición fisicoquímica del plátano

El plátano es una fruta ampliamente cultivada y consumida debido a su aroma y agradable sabor, es una fruta con alto valor nutricional, resalta su elevado contenido de carbohidratos, junto con micronutrientes potasio, vitamina A y C, con alto contenido energético. (Martínez y Col., 2016). En la Tabla 2.1 se indican los valores de la composición físicoquímica del plátano en 100 g.

Tabla 2.1

Composición fisicoquímica del plátano

Nutrientes	Total	Otros componentes	Total
Agua (g)	75.7	Ácido málico (mg)	10
Proteínas (g)	1.1	Ácido cítrico (mg)	150
Lípidos (g)	0.2	Ácido oxálico (mg)	6.4
Carbohidratos totales (g)	22.2	Sodio (mg)	1
Fibras (g)	0.6	Potasio (mg)	420
Vitamina A (UI)	0.6	Calcio (mg)	8
Vitamina B1 (mg)	0.05	Magnesio (mg)	31
Vitamina B2 (mg)	0.06	Manganeso (mg)	0.64
Vitamina B6 (mg)	0.32	Hierro (mg)	0.7
Ácido nicotínico (mg)	0.6	Cobre (mg)	0.2
Ácido pantoténico (mg)	0.2	Fósforo (mg)	28
Vitamina C (mg)	10	Calorías (Kcal)	85

Fuente: Hernández, & Vit, 2009

2.5 Usos y aplicaciones del plátano

“El plátano es de fácil digestión y de alto valor nutricional, es un alimento energético de bajo costo que es consumido por personas de todos los estratos sociales. Los efectos benéficos de comer plátano son múltiples” (Canto & Castillo, 2011. Pág. 1).

2.5.1 Anemia o fatiga

El plátano resulta de mucha ayuda para recuperar fuerzas. Si se consume después de realizar ejercicio, aumenta la capacidad de resistencia ya que aporta una excelente combinación de hidratos de carbono y potasio, ambos necesarios para la actividad muscular. Un plátano proporciona el 20% de la vitamina B6 y el 12% del ácido fólico. (Rodrigo, 2016)

2.5.2 Reduce la tensión arterial

“Gracias al potasio, se muestra efectivo para disminuir la hipertensión arterial. Un plátano proporciona alrededor del 15% de las necesidades diarias de potasio de un adulto” (Rodrigo, 2016, Pág. 1).

2.5.3 Combate el estreñimiento

Los plátanos verdes mejoran el tránsito intestinal gracias a su contenido de almidón e hidratos de carbono no asimilables, aunque son más indigestos y también pueden provocar flatulencias. Por el contrario, los maduros se aconsejan en caso de diarrea porque suavizan la mucosa digestiva inflamada. (Rodrigo, 2016)

2.5.4 Reduce la acidez

La notable alcalinidad del plátano permite combatir la acidosis (excesiva acidez de la sangre) y en general aumentar las reservas alcalinas del organismo. Bien maduro y consumido antes de las comidas, neutraliza el exceso de acidez gástrica y calma los ardores de estómago. (Rodrigo, 2016)

2.5.5 Disuelve los ácidos

Es recomendable en casos de artritis, gota o úlceras, ayuda a neutralizar y disolver los ácidos retenidos en el cuerpo, principalmente el úrico, fosfórico y sulfúrico. Además, el plátano contiene otros minerales necesarios para nuestro metabolismo, como: calcio, fósforo y magnesio. (Canto & Castillo, 2011)

2.6 El deshidratado como medio de conservación de los alimentos

Mediante este proceso se puede eliminar el agua de los alimentos líquidos, con la finalidad de prolongar su tiempo de vida útil. La conservación se consigue debido a que se reduce la actividad del agua a niveles muy bajos donde se puede bloquear el crecimiento de microorganismos, inhibiendo de igual forma la presencia de reacciones químicas y bioquímicas, aumentando así la estabilidad del alimento. La deshidratación del alimento se puede realizar de forma parcial o total, depende de su finalidad. (Morales, 2012)

2.6.1 Actividad del agua (A_w)

El parámetro actividad de agua (A_w) se define como la relación de la presión de vapor de agua de un material a la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura. La actividad de agua está entre 0 y 1, siendo más baja mientras más fuertemente ligada se encuentre el agua al material; tiende a la unidad cuando está tan débilmente adherida al material que su comportamiento se acerca al de su estado libre o puro. En el secado las moléculas de agua menos ligadas son las primeras en retirarse y las últimas son las que están unidas fuertemente a las macromoléculas orgánicas del extracto seco por fuerzas de tipo electrostáticas. (Orrego, 2003)

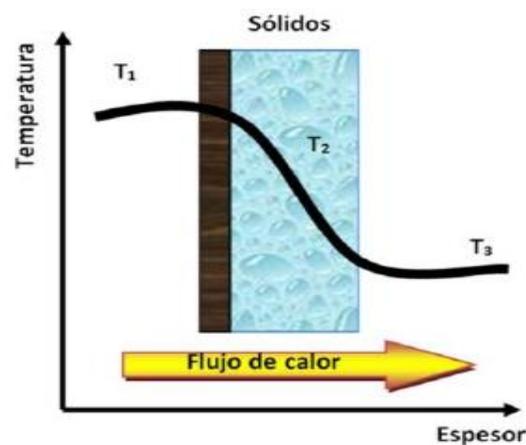
2.7 Deshidratado con aire caliente

El alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente. El calor se aporta al producto principalmente por convección. Al secar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de

vaporización del agua y actúa también como gas portador, para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación. (Brennan y Col., 1998)

El mismo autor dice que durante el proceso de secado de un alimento, existe una transferencia de calor externa desde el ambiente o una fuente de calor hasta la superficie del alimento, la que ocurre por convección, conducción y/o radiación; luego el calor se transfiere desde la superficie hasta la zona de evaporación, por conducción y/o radiación. (Alvarado, 2013)

Como consecuencia, existe una transferencia de masa interna desde la zona de evaporación hasta la superficie del alimento por diferentes mecanismos, como difusión de vapor, difusión de líquido, capilaridad, expresión; y finalmente una transferencia de masa externa desde la superficie hacia el ambiente, o un disipador de humedad, lo que ocurre en especial por convección másica y por difusión. (Alvarado, 2013). En la figura 2.2 se muestra el mecanismo del secado de alimentos mediante la aplicación de aire caliente:



Fuente: Mora & Martínez, 2013

Figura 2.2 Mecanismo del secado de alimentos

2.8 Contenido de humedad de los sólidos

El contenido de humedad de un sólido, se expresa en porcentaje y se refiere a la cantidad de humedad, por unidad de peso de material. Como conveniente

referencia se van a resumir a continuación ciertos términos que se utilizan para describir el contenido de humedad de las sustancias. (Orrego, 2003)

2.8.1 Humedad en base húmeda

El contenido de humedad de un sólido generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda como se muestra en la ecuación 2.1

$$HBH = \left(\frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ agua} + kg \text{ solido seco}} \right) * 100 \quad \text{Ec. 2.1}$$

2.8.2 Humedad en base seca

El contenido de humedad en base seca se expresa como kg humedad/kg sólido seco, se muestra en la ecuación 2.2.

$$HBS = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ solido seco}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

2.8.3 Humedad en equilibrio

Es el contenido de humedad de una sustancia que está en el equilibrio con una presión parcial dada del vapor.

2.8.4 Humedad ligada

Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura.

2.8.5 Humedad no ligada

Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

2.8.6 Humedad libre

La humedad libre es la humedad contenida por una sustancia en exceso de la humedad en el equilibrio. Sólo puede evaporarse la humedad libre; el

contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración del vapor en el gas.

2.8.7 Humedad relativa

Relación entre la presión parcial que ejerce el vapor de agua en la mezcla aire-vapor de agua y la presión de vapor del agua como líquido puro a la misma temperatura. La humedad relativa como la relación entre la fracción molar del vapor de agua existente en una determinada muestra de aire húmedo y la existente en una muestra saturada a la misma temperatura y presión

2.8.8 Humedad absoluta

Es el contenido de humedad de una mezcla aire - vapor de agua, expresado como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco. Es el contenido de humedad de una mezcla aire - vapor de agua que a una determinada temperatura ejerce una presión parcial igual a la presión de vapor del agua como líquido puro, encontrándose el aire saturado, y expresado como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco.

2.9 Variables que influyen en la velocidad de secado

Las variables que influyen en la velocidad de secado (Bermúdez & Maiz, 2004. Pág. 19) se las detalla a continuación:

2.9.1 Naturaleza del alimento

La naturaleza del alimento es muy importante porque de eso depende que la humedad emigre más o menos rápido desde el centro del alimento hacia la superficie del mismo. (Bermúdez & Maiz, 2004. Pág. 19)

2.9.2 Temperatura del aire

Cuanto mayor sea la temperatura del aire de secado (manteniendo constante el resto de las variables), mayor será la velocidad de secado, y las curvas presentarán mayor pendiente (Orrego, 2003. Pág. 176).

- a) Temperatura de bulbo seco:** es 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. Pág. 176)
- b) Temperatura de bulbo húmedo:** Cuando se hace circular aire de temperatura (de bulbo seco) T y humedad H sobre una superficie de agua, ésta 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 circula. (Orrego, 2003)

2.9.3 Velocidad másica del aire

Con este parámetro se pueden presentar dos tipos de comportamiento. En el primero la velocidad de secado es directamente proporcional a la velocidad del aire. En el segundo caso, la velocidad de secado es prácticamente independiente de la velocidad del aire, lo que indica que en este caso la etapa controlante es la transferencia de materia a través del sólido, que lógicamente no se ve afectada por la velocidad del aire. (Bermúdez & Maiz, 2004)

2.9.4 Humedad absoluta del aire

“Al aumentar la humedad absoluta del aire disminuye lógicamente, la velocidad de secado, al hacerlo la fuerza impulsora en la fase gas” (Bermúdez & Maiz, 2004. Pág. 19).

2.9.5 Tamaño de partícula del sólido

Si las características del sólido permiten obtener partículas uniformes, al variar el tamaño se puede observar que la velocidad de secado aumenta al disminuir el tamaño de la partícula. Si se trata de un sólido que no permite obtener tamaños uniformes, la influencia de la profundidad del lecho es similar a la

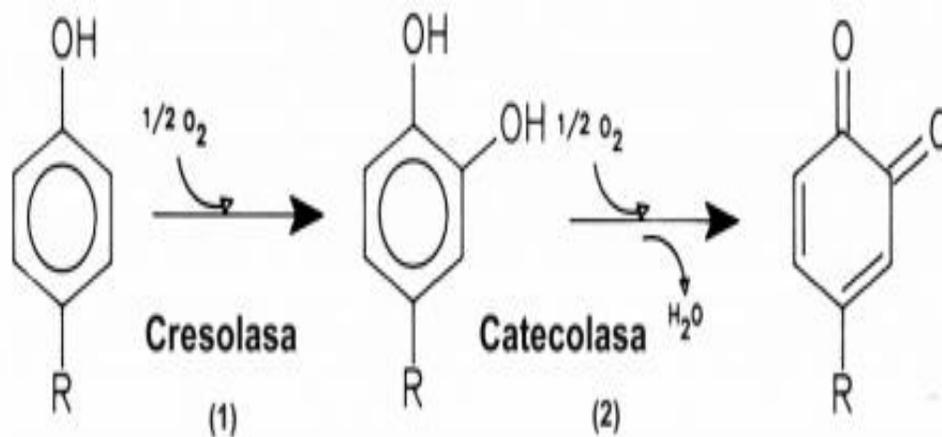
anteriormente comentada. Al aumentar la altura del lecho disminuye la velocidad de secado. (Bermúdez & Maiz, 2004. Pág. 19)

2.10 Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático es una reacción de oxidación en la que interviene como substrato el oxígeno molecular, catalizada por un tipo de enzimas que se puede encontrar en prácticamente todos los seres vivos. La enzima responsable del pardeamiento enzimático recibe el nombre de polifenoloxidasas. (Calvo, 2015)

2.10.1 Mecanismo de la polifenol oxidasa (PPO)

El pardeamiento enzimático puede contemplarse como una transformación que conlleva dos etapas, una catalizada por enzimas y otra posterior no enzimática. La primera fase enzimática se traduce en una conversión de monofenoles en quinonas. Esta transformación tiene lugar en dos pasos: hidroxilación de monofenoles en o-difenoles, y oxidación de estos o-difenoles a o-quinonas, que corresponden a las dos actividades consecutivas realizadas por la polifenol oxidasa (Figura 2,3). Se necesita aquí oxígeno molecular, indispensable para que actúe la enzima. (Pérez, 2003)



Fuente: Pérez, 2003

Figura 2.3 Reacciones catalizadas por la polifenol oxidasa

2.10.2 Control de la reacción de pardeamiento en los alimentos

Para (Calvo, 2015) el control natural de la actividad de la polifenoloxidasas se produce mediante compartimentalización de los sustratos. La enzima se encuentra en los plástidos, cloroplastos y en el citoplasma celular, mientras que los compuestos fenólicos que pueden servir de sustratos se acumulan en vesículas. Cuando se rompe la compartimentalización por un daño mecánico como triturado, corte o congelar/descongelar, la reacción de pardeamiento se puede producir. Mantener la compartimentalización, la reacción de pardeamiento enzimático se puede frenar actuando sobre diferentes factores:

- ✓ Evitando el contacto del oxígeno con la superficie de corte
- ✓ Bajando la temperatura
- ✓ Reduciendo el pH
- ✓ Desnaturalización de la enzima

Generalmente estos factores actúan de forma combinada. Así, el descenso de pH puede actuar inicialmente reduciendo la actividad de la enzima, (su pH óptimo está entre 5 y 7), pero si es suficientemente bajo desnaturalizándola de forma irreversible.

“Actualmente se ensayan combinaciones de tecnologías o barreras capaces de controlar el pardeamiento enzimático sin modificar otras propiedades sensoriales y nutricionales” (Arteaga y Col., 2018. Pág. 13). Algunas de las tecnologías ensayadas son:

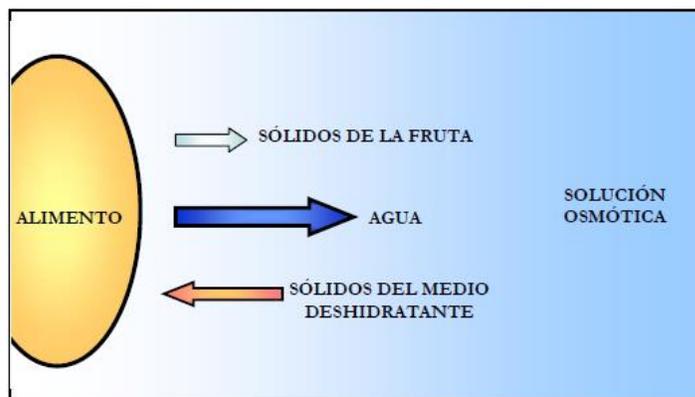
- **Métodos físicos de control de pardeamiento enzimático:**

Tratamientos térmicos suaves, Refrigeración, Eliminación de Oxígeno, Recubrimientos Comestibles, Envasado en Atmósferas Modificadas, Tratamientos con Tecnologías Emergentes No- térmicas (Alta Presión, Pulsos Eléctricos, etc.).

- **Métodos químicos de control del pardeamiento enzimático:** Agentes Reductores (ácido ascórbico), Agentes quelantes (EDTA), Agentes Complejantes (ciclodextrinas), Inhibidores enzimáticos (4-hexilresorcinol), Disminución del pH (adición de ácidos orgánicos).

2.11 Deshidratación osmótica en alimentos

En la figura 2.4 se puede observar el mecanismo de la deshidratación osmótica en alimentos.



Fuente: Wais, 2011

Figura 2.4 Mecanismo de la deshidratación osmótica en alimentos

La deshidratación osmótica en disoluciones hipertónicas de determinados agentes en alta concentración puede constituir un método alternativo para la conservación de los alimentos. El contenido de humedad del alimento es parcialmente eliminado, consiguiéndose mantener la calidad del producto por la reducción de la actividad de agua. (Chenlo y col., 2008)

Al sumergir un alimento en medios hipertónicos se produce un transporte de agua del alimento hacia el medio osmótico y en contracorriente, el soluto hacia el seno del alimento, lo que puede resultar interesante y atribuirle un valor añadido. Así, se logra una mejor conservación manteniendo por más tiempo las propiedades físicas y organolépticas. Además, en la deshidratación por ósmosis, al no consumir prácticamente energía, se disminuyen los costos y la degradación del producto al evitar altas temperaturas. (Chenlo y col., 2008)

2.11.1 Factores que afectan la deshidratación osmótica

“El transporte de masa en la deshidratación osmótica depende de varios factores” (Della, 2010. Pág. 14), los cuales se mencionen a continuación:

2.11.1.1 Tipo de agente osmótico

El tipo de agente osmótico afecta los parámetros de pérdida de agua y ganancia de sólidos. La selección de soluto o solutos para la solución osmótica está basada en 3 factores importantes:

- 1.- Características sensoriales del producto
- 2.- El costo de los solutos
3. Peso molecular de los solutos

De acuerdo al tipo de soluto se afecta directamente a la velocidad de deshidratación. Si se usan solutos de alto peso molecular se incrementa la pérdida de agua y se reduce la ganancia de sólidos. Es así cuando se usan solutos de bajo peso molecular sucede lo contrario porque las moléculas pueden migrar más fácilmente al interior del tejido. (Della, 2010)

2.11.1.2 Concentración de la solución osmótica

El uso de soluciones concentradas aumenta la lixiviación de componentes de fruta solubles en agua que no se desean remover, como es el caso del ácido ascórbico. El incremento en el tiempo de contacto en la solución con el alimento da como resultado una deshidratación más efectiva. (Della, 2010)

2.11.1.3 Temperatura de la solución osmótica

La temperatura es un factor importante ya que la transferencia de masa en el proceso se ve afectado por éste. Sin embargo, las velocidades de deshidratación se incrementan con el aumento en la temperatura. (Yupanqui, 2010. Pág, 23)

2.11.1.4 pH de la solución

“La acidez de la solución aumenta la pérdida de agua debido a que se producen cambios en las propiedades tisulares y consecuentemente cambios en la textura de las frutas que facilitan la eliminación de agua” (Yupanqui, 2010. Pág. 23).

2.11.1.5 Propiedades del soluto empleado

El proceso osmótico también depende de las propiedades físicoquímicas de los solutos: peso molecular, estado iónico y solubilidad en agua. Esta última es importante pues define la máxima concentración del soluto que puede emplearse. Cuando se utilizan soluciones con solutos de mayor peso molecular, la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable respecto a un soluto de menor peso molecular. (Della, 2010)

2.11.1.6 Agitación de la solución osmótica

La deshidratación osmótica puede mejorarse mediante la agitación. La misma disminuye la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, uniforma la temperatura y la concentración de solutos. Sin embargo, puede dañar el producto y debe evitarse. (Yupanqui, 2010. Pág. 24)

2.11.1.7 Geometría y tamaño del producto

La geometría del producto es muy importante ya que variará la superficie por unidad de volumen expuesta a la difusión. Asimismo, el tamaño influye en la velocidad de deshidratación y en la absorción de solutos puesto que la superficie por unidad de volumen se modifica para los diferentes tamaños. (Della, 2010)

2.11.1.8 Relación masa de solución a masa de producto

La pérdida de agua y la ganancia de solutos aumentan con un incremento de la relación masa de solución a masa de producto empleada. Uddin e Islam

(1985) estudiaron el efecto de esta variable en la deshidratación osmótica de rodajas de ananás a 21°C. Observaron que la pérdida de peso aumentaba hasta alcanzar una relación de 4:1, más allá de este valor no se apreciaba un aumento significativo. (Yupanqui, 2010)

2.11.1.9 Propiedades físicoquímicas del alimento

La composición química (proteínas, carbohidratos, grasas, contenido de sal, etc.), la estructura física (porosidad, arreglo de células, orientación de fibras y tipo de piel) y los pre-tratamientos como congelación y escaldado pueden afectar la cinética de deshidratación osmótica. (Della, 2010)

2.11.1.10 Presión de operación en la deshidratación osmótica

La transferencia de agua total en la depende de una combinación de dos mecanismos: la difusión y el flujo por capilaridad. Los tratamientos al vacío aumentan el flujo capilar, incrementando la transferencia de agua, pero no influyen en la ganancia de solutos. El flujo capilar de agua depende de la porosidad y de la fracción de espacios huecos del producto. (Yupanqui, 2010)

2.11.2 Ventajas de la deshidratación osmótica

A continuación, se cita algunas ventajas y beneficios de la deshidratación osmótica en alimentos (Mora & Martínez, 2013. Pág. 25):

- ❖ Evita las pérdidas de aromas propios de la fruta, lo cual se observa cuando el agua que sale de la fruta al jarabe de temperatura ambiente.
- ❖ Evita las reacciones de oxidación (pardeamiento enzimático) que afectan directamente la apariencia del producto final; esto se debe a la ausencia de oxígeno en el interior de la masa de jarabe donde se halla la fruta.
- ❖ Es notoria la alta conservación de las características nutricionales propias de la fruta. También conserva en alto grado sus características de color, sabor y aroma.

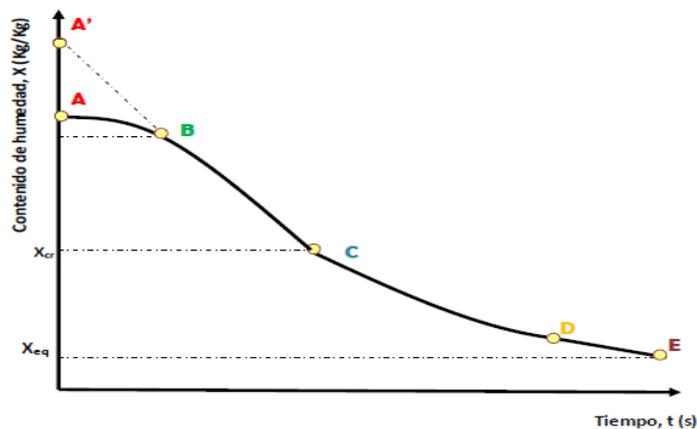
- ❖ No permite el fácil desarrollo de microorganismos que rápidamente atacan y dañan las frutas en condiciones ambientales; debido a la relativa baja actividad de agua del jarabe concentrado.
- ❖ Presenta interesantes ventajas económicas, teniendo en cuenta la baja inversión inicial en equipos, cuando se trata de volúmenes pequeños, además los jarabes que se producen, pueden ser utilizados en la elaboración de yogurts, néctares, etc., a fin de aprovechar su poder edulcorante y contenido de aromas y sabores de la fruta.

2.12 Curvas de secado

“Para evaluar el proceso de Secado de un material se emplean gráficos conocidos como: curva de contenido de humedad a través del tiempo y curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad” (Brennan y Col. 1998. Pág. 382-386) las cuales se describen a continuación:

2.12.1 Curva de contenido de humedad a través del tiempo

La figura 2.5 muestra cómo se comporta la humedad respecto al tiempo durante el proceso de secado.



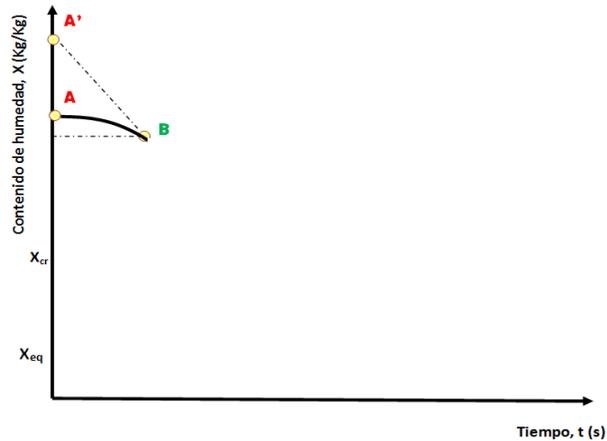
Fuente: Mora & Martinez, 2013

Figura 2.5 Contenido de humedad vs tiempo

En la figura 2.5 se puede observar cada etapa o periodo de secado desde A hasta E, donde ocurren cambios en la humedad. Comúnmente se coloca el

sólido húmedo a secar en contacto con aire caliente a cierta velocidad, esto hace que al pasar el tiempo ocurra lo siguiente (Brennan y Col 1998. Pág. 382):

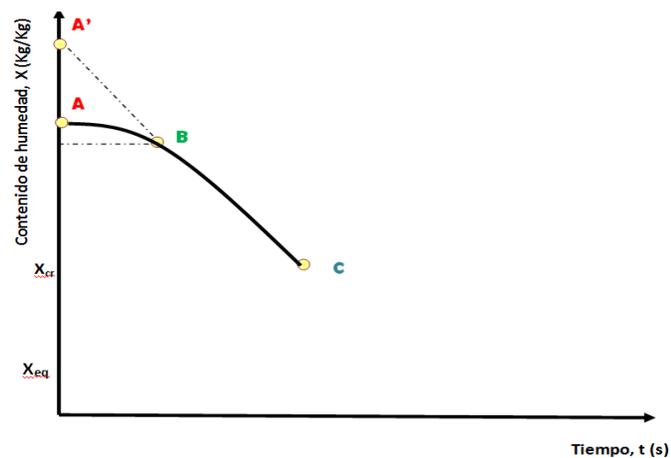
- i. El agua contenida en el sólido se calienta y el producto puede o no experimentar un pequeño aumento de temperatura, esto se muestra en la figura 2.6 en donde la temperatura varía del periodo A - B.



Fuente: Mora & Martinez, 2013

Figura 2.6 Periodo de velocidad de secado de A-B

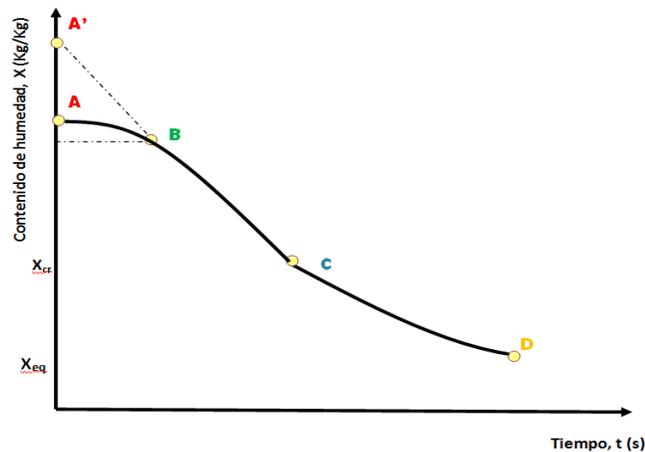
- ii. Luego la evaporación del líquido a eliminar se presenta a una velocidad constante periodo de B a C figura 2.7, el vapor producido es retirado por medio de arrastre con el aire caliente.



Fuente: Mora & Martinez, 2013

Figura 2.7 Periodo velocidad de secado constante de B-C

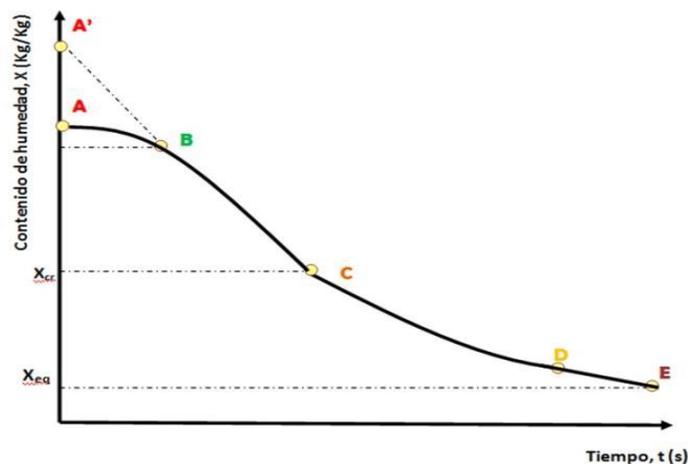
- iii. Al no existir agua en exceso, la velocidad de migración del líquido hacia la superficie ha disminuido, el agua restante se encuentra en el interior del sólido hasta que llega a un punto crítico (punto C) donde es precisamente el momento que la velocidad de Secado ya no es constante, por lo tanto, el contenido de humedad empieza a disminuir periodo de C a D figura 2.8



Fuente: Mora & Martinez, 2013

Figura 2.8 Periodo velocidad de secado decreciente de C-D

- iv. Hasta llegar el momento en que exista muy poca o casi nula cantidad de agua en el sólido, es entonces que se podrá decir que se ha logrado el secado total, periodo de D a E figura 2.9

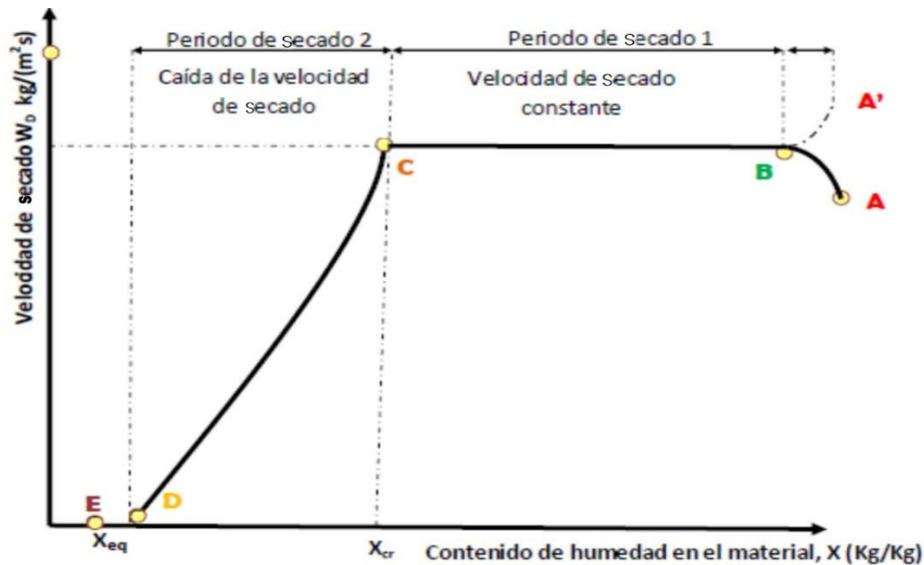


Fuente: Mora & Martinez, 2013

Figura 2.9 Periodo de velocidad de secado decreciente de D-E

2.12.2 Curva de velocidad de secado en función al contenido de humedad

El sólido a secar pasa por una corriente de aire caliente, para eliminar el vapor formado, si es suministrado a temperatura y humedad constante el proceso de secado ocurre en dos periodos como se observa en la figura 2.10.



Fuente: Mora & Martínez, 2013

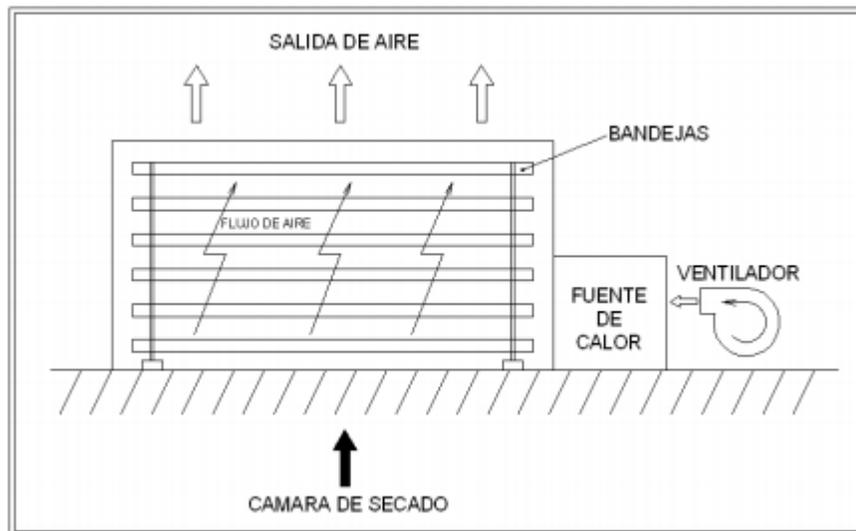
Figura 2.10 Velocidad de secado vs contenido de humedad

En la figura 2.10 observamos que al inicio de A-B el producto experimenta un pequeño aumento de temperatura. Luego la velocidad de secado es constante B-C en esta etapa, la velocidad de secado está limitada por la tasa de transferencia de calor, desde el aire a la superficie líquida. (Brennan y Col 1998)

Cuando se alcanza el contenido de humedad crítico (punto C) llega al período llamado caída de velocidad de secado C-D donde finaliza en el punto D, aquí, el agua de superficie del sólido está totalmente evaporada, el proceso termina en el punto E donde la velocidad de secado es cero y comienza la humedad de equilibrio poniéndose el sólido en equilibrio con su ambiente externo. (Brennan y Col 1998)

2.13 Secador de bandejas

Esencialmente consiste en una cabina aislada provista interiormente de un ventilador para circular el aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido, ya sea horizontalmente entre bandejas cargadas de alimento o verticalmente a través de las bandejas perforadas y el alimento. (Calle & Aparicio, 2011). En la figura 2.11 se muestra el esquema de un secador de bandejas.



Fuente: Calle & Aparicio, 2011

Figura 2.11 Esquema del secador de bandejas

Los calentadores de aire pueden ser quemadores directos de gas, serpentines calentados por vapor, o en los modelos más pequeños calentadores de resistencia eléctrica. Se utilizan bandejas con perforaciones para lograr que la circulación del aire sea a través del alimento de forma que el tiempo de secado disminuye al tener una exposición mayor y directa al sólido. Los secaderos de bandeja son secaderos de pequeña escala usados en laboratorios y plantas piloto para experimentar sobre secado de diversos materiales. (Merino & Cornejo, 2018)

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

La parte experimental del presente trabajo de investigación “Elaboración de plátano deshidratado mediante secado con aire caliente”, se realizó en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

En la elaboración de plátano deshidratado se utilizaron diferentes equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina que se detallan a continuación:

3.2.1 Equipos

Los equipos utilizados en la elaboración de plátano deshidratado se detallan a continuación:

3.2.1.1. Secador de bandejas

En la figura 3.1 se muestra las características generales del secador de bandejas utilizado para facilitar el proceso de deshidratado de las rodajas de plátano.

	Marca	Esztergom
	Industria	Hungary
	Tipo	1231 SZ-1
	Capacidad de bandejas	5 (66x66)cm
	Tención	220 V
	Potencia total	2200 W

Fuente: LTA, 2018

Figura 3.1 Secador de bandejas

3.2.1.2. Generador de aire

En la figura 3.2 se muestra las características generales para el generador de aire utilizado para introducir aire al secador.

	Marca	Intermed
	Industria	Boliviana
	Tipo	220 V
	Potencia	250 W
	Frecuencia	50–60 Hz
	Velocidad de aire	12 m/smáx.

Fuente: LTA, 2018

Figura 3.2 Generador de aire

3.2.1.3. Baño María

En la figura 3.3 se muestra las características generales del baño María utilizado para realizar el pre-tratamiento de las rodajas de plátano.

	Marca	Schwabach
	Industria	Menmmert
	Tipo	220 V.
	Potencia	270 W.

Fuente: LTA, 2018

Figura 3.3 Baño María

3.2.1.4. Envasadora al vacío

En la figura 3.4 se muestra las características generales de la envasadora al vacío utilizada para facilitar el envasado.



Fuente: LTA, 2018

Figura 3.4 Envasadora al vacío

3.2.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados en la elaboración de plátano deshidratado se detallan a continuación:

3.2.3.1. Balanza de precisión

En la figura 3.5 se muestra las características generales de la balanza de precisión utilizada para determinar los pesos de la materia prima e insumos.



Fuente: LTA, 2018

Figura 3.5 Balanza de precisión

3.2.3.2. Mandolina regulable

En la figura 3.6 se muestra las características generales de la mandolina regulable utilizada para reducir el corte de las rodajas de plátanos.

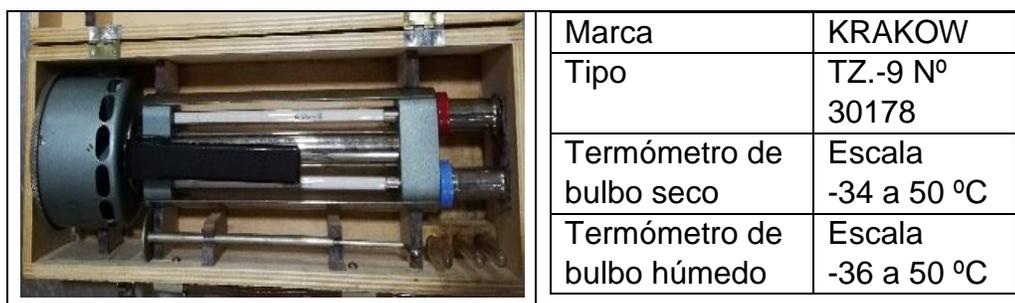


Fuente: LTA, 2018

Figura 3.6 Mandolina regulable

3.2.3.3. Psicrómetro

En la figura 3.7 se muestra las características generales del psicrómetro utilizado para registrar los datos de temperatura de bulbo seco y húmedo.



Fuente: LTA, 2018

Figura 3.7 Psicrómetro

3.2.3.4. Anemómetro digital

En la figura 3.8 se muestra las características generales del anemómetro digital utilizado para registrar la velocidad del aire.



Fuente: LTA, 2018

Figura 3.8 Anemómetro digital

3.2.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio utilizados en la elaboración de plátano deshidratado, se detallan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

Material de laboratorio

Material	Capacidad	Tipo	Unidad
Wernier manual	(0 - 25)cm e=0,05 mm	Acero inoxidable	1
Termómetro	(0 - 200) °C	Bulbo de mercurio	1
Vaso de precipitado	(250 – 600) ml	Vidrio	1 - 2
Vidrio reloj	Pequeño	Vidrio	1
Pinza	Mediana	Acero inoxidable	1
Desecador	Mediano	Vidrio	1
Envases	Pequeño	Polipropileno	50

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina utilizados en la elaboración de plátano deshidratado se detallan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2

Utensilios de cocina

Material	Capacidad	Tipo	Unidad
Cuchillo	Mediano	Acero inoxidable	1
Cucharilla	Pequeña	Plástico	2
Colador	Pequeño	Plástico	2
Fuente	Mediana	Plástico	2
Jarra	2000 ml	Plástico	1

Fuente: Elaboración propia

3.3 Materia prima e insumos alimentarios

La materia prima e insumos alimentarios que se utilizaron para la elaboración de plátano deshidratado se detallan a continuación:

3.3.1 Materia prima e insumos alimentarios

La materia prima utilizada fue plátano de la variedad *Musa paradisiaca* procedente de Cochabamba que fue adquirida del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija. En la figura 3.9 se muestra el plátano de la variedad *Musa paradisiaca*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9 Plátano (*Musa paradisiaca*)

Los insumos alimentarios que se utilizaron durante la elaboración de plátano deshidratado se detallan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

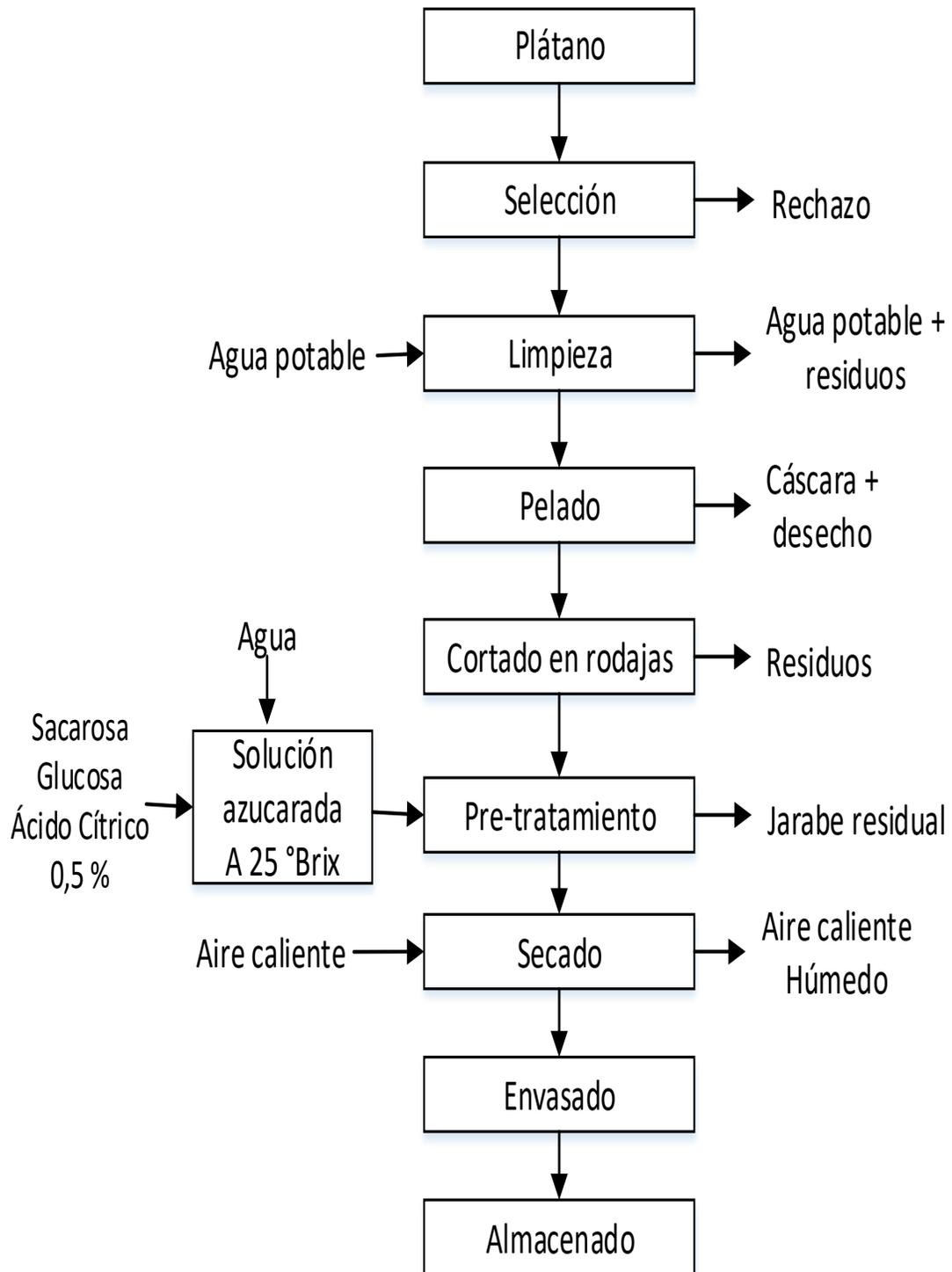
Insumos alimentarios

Ingredientes	Estado	Procedencia	Marca
Sacarosa	Sólido	Boliviana	I.A.B.S.A
Glucosa	Sólido	Boliviana	Maprial
Ácido cítrico	Sólido	Boliviana	Maprial

Fuente: Elaboración propia

3.4 Descripción del proceso experimental para obtener plátano deshidratado

En la figura 3.10 se muestra el diagrama de bloques para la obtención de plátano deshidratado de la variedad *Musa paradisiaca*.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Proceso de obtención de plátano deshidratado de la variedad *Musa paradisiaca*

3.4.1 Plátano

El plátano que se utilizó para realizar la parte experimental fue de la variedad *Musa paradisiaca* adquirido del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija.

3.4.2 Selección

La selección consiste en clasificar los plátanos de forma manual y se realizó de manera objetiva en forma directa, separando aquellos que se encuentran dañados, cortados y muy maduros, que fueron rechazados.

3.4.3 Limpieza

El proceso de limpieza consiste en colocar las muestras de plátanos en una fuente de plástico de forma manual, para lo cual se utilizó agua potable a temperatura ambiente 25 ± 2 °C con el propósito de eliminar tierra e impurezas que se encuentran adheridas en la cáscara.

3.4.4 Pelado

El pelado del plátano se realizó de forma manual, que consistió en utilizar un cuchillo de acero inoxidable; con la finalidad de separar la cáscara (epicarpio) de la parte comestible como ser el mesocarpio.

3.4.5 Cortado

Para el cortado de las rodajas de plátano, se tomó en cuenta lo citado por (CPMLN, 2012).

Después del pelado del plátano se precedió al cortado de la parte comestible (mesocarpio) en una fuente de plástico mediana, para tal efecto se utilizó una mandolina de paso regulable con cuchillas de acero inoxidable, la cual se graduó entre 2 y 3 mm de espesor. Para realizar el cortado en rodajas primero se procedió a eliminar las puntas con la finalidad de obtener rodajas con un tamaño uniforme.

3.4.6 Pre-tratamiento

El pre-tratamiento de las rodajas de plátano, consistió en introducirlas en una solución azucarada (jarabe) compuesta por 60% de sacarosa, 39,5% glucosa y 0,5 % ácido cítrico, con ayuda de un baño María con sistema controlado de temperatura (50 °C) por un tiempo de 120 minutos. Pasado el tiempo del pre-tratamiento, se procedió a sacar las rodajas de plátano en un colador de plástico para escurrir el exceso de jarabe.

3.4.7 Secado

Para el proceso de secado de las rodajas de plátano, primero se realiza el ajuste del secador, que consiste en encender el equipo y dejarlo calentar por un tiempo entre (20 a 30) minutos a temperatura de trabajo (45-55) °C. Posteriormente, se procede a ajustar en el generador de aire la velocidad de aire requerida 4,5 m/s de manera constante, la cual se midió con la ayuda de un instrumento (anemómetro digital).

Después de ajustar las condiciones del secador, se procede a colocar las bandejas (constituidas de malla milimétrica con dimensiones de 17x34 cm) que contienen las muestras de rodajas de plátano. Así mismo, durante el proceso de deshidratado, se realizó controles periódicos de variación de peso cada 15 minutos con la ayuda de una pinza y un desecador, con la finalidad de determinar el contenido de humedad en base seca (ecuación 2.2) hasta tener peso constante.

3.4.8 Envasado

El proceso de envasado consiste en colocar las rodajas de plátano en bolsas de polipropileno, previamente acondicionadas (12x12) cm de lado, posteriormente se realiza el sellado de las bolsas con la ayuda de una envasadora al vacío con el fin de evitar el contacto de las rodajas de plátano con la humedad del medio ambiente.

3.4.9 Almacenado

El producto terminado fue almacenado en cajas de cartón con el fin de protegerlo de la luz, calor y agentes contaminantes (insectos) para conservar la vida útil del producto.

3.5 Metodología para la obtención de los resultados

La metodología utilizada para la obtención de los resultados experimentales en el presente trabajo de investigación se detalla a continuación:

3.5.1 Propiedades físicas del plátano

En el presente trabajo de investigación se tomó en cuenta las propiedades físicas del plátano (*Musa paradisiaca*), que se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4

Propiedades físicas del plátano

Características	Unidades
Peso	(g)
Diámetro	(cm)
Altura	(cm)
Porción comestible	(%)
Porción no comestible	(%)
Rodajas útiles y no útiles	(%)
Grados Brix	°Brix

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Propiedades físicoquímicas del plátano

Las determinaciones físicoquímicas tanto de la materia prima como del producto deshidratado, se realizaron en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Para lo cual se consideró los siguientes parámetros y técnicas que se detallan en la tabla 3.5.

Tabla 3.5

Propiedades fisicoquímicas del plátano

Parámetros	Técnica	Unidad
Azúcares totales	NB 38033:06	%
Ceniza	Gravimetría	%
Fibra	Gravimetría	%
Grasa	Gravimetría	%
Hidratos de carbono	Calculo	%
Humedad	Gravimetría	%
Proteína	Volumetría	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2018

3.5.3 Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos se realizaron en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Para lo cual se consideró los parámetros y técnicas que se detallan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6

Propiedades microbiológicas del plátano

Parámetros	Técnicas	Unidades
Coliforme totales	Recuento en placas	UFC/g
Coliformes fecales	Recuento en placas	UFC/g

Fuente: Elaboración propia

3.6 Evaluación sensorial de los alimentos

Según (Anzaldúa 2005) la evaluación sensorial de los alimentos es la disciplina que caracteriza y análisis la aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o panel de degustadores, de acuerdo a las sensaciones experimentadas (Pág. 13 - 15).

Estas sensaciones son percibidas mediante los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído; es necesario tener en cuenta, que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo (Ureña, 1999. Pág.13).

Hoy en día, el análisis sensorial se perfila con carácter de ciencia y es utilizado como herramienta para medir de forma objetiva con un aceptable grado de precisión, lógicamente se tiene que conocer qué es lo que se quiere medir. El análisis sensorial es una herramienta muy útil en el campo de la alimentación. (Cordero, 2013)

En la tabla 3.6 se detallan las evaluaciones sensoriales que fueron realizadas durante el presente trabajo de investigación, con la finalidad de evaluar las propiedades organolépticas de las muestras de plátano deshidratado.

Tabla 3.7
Evaluaciones sensoriales realizadas en la elaboración de plátano deshidratado

Determinación de muestra preliminar				
Muestras	Atributos	Jueces	Escala	Test
PD 1 a PD 16	Color	20 jueces no entrenados	Hedónica 5 puntos	Test 1 a 4 Anexo B
	Sabor			
	Olor			
	Forma			
Determinación en la selección de muestra preliminar				
Muestras	Atributos	Jueces	Escala	Test
PD 4 PD 7 PD 10 PD 16	Color Sabor Olor Forma	20 jueces no entrenados	Hedónica 5 puntos	Test 5 Anexo B
Determinación de la muestra referencia				
Muestras	Atributos	Jueces	Escala	Test
PDC PDB	Color Sabor Olor Textura	20 jueces no entrenados	Hedónica 5 puntos	Test 6 Anexo B
Prueba dúo trio para el producto final				
Muestra	Atributos	Jueces	Escala	Test
RDC 1 P 04 P 08	Sabor Textura	20 jueces no entrenados	Hedónica 5 puntos	Test 7 Anexo B

Fuente: Elaboración propia

3.7 Caracterización del producto final

Para la caracterización del producto terminado se consideran dos aspectos fundamentales en la calidad del producto terminado, como son:

3.7.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos del producto terminado

Con la finalidad de conocer las características fisicoquímicas del producto terminado se realizaron los análisis descritos en la tabla 3.8, en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.8

Propiedades fisicoquímicas del plátano deshidratado

Parámetros	Técnica	Unidad
Azúcares totales	NB 38033:06	%
Ceniza	Gravimetría	%
Fibra	Gravimetría	%
Grasa	Gravimetría	%
Hidratos de carbono	Calculo	%
Humedad	Gravimetría	%
Proteína	Volumetría	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2018

3.7.2 Análisis de parámetros microbiológicos del producto terminado

Con la finalidad de conocer la calidad microbiológica del producto terminado se realizaron los análisis microbiológicos descritos en la tabla 3.9, en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.9

Propiedades microbiológicas del plátano deshidratado

Parámetros	Técnicas	Unidades
Coliforme totales	Recuento en placas	UFC/g
Coliformes fecales	Recuento en placas	UFC/g
Mohos y levaduras	Recuento en placas	UFC/g

Fuente: Elaboración propia

3.8 Diseño experimental

“El diseño de experimentos es una prueba o serie de pruebas donde se hace cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso para identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la variable respuesta de salida” (Montgomery, 2004. Pág. 1).

3.8.1 Diseño factorial de tres variables

Cuando se quiere investigar la influencia de tres factores (A, B y C) sobre una o más variables de respuesta, y el número de niveles de prueba en cada uno de los factores es a, b y c respectivamente, se puede construir el arreglo factorial $a \times b \times c$, que consiste de $a \times b \times c$ tratamientos o puntos experimentales. (Gutiérrez & De La Vara, 2008)

Las variables propuestas para la elaboración de plátano deshidratado son: tiempo de pre-tratamiento, tipo de espesor y temperatura de secado, se aplicó un diseño factorial aleatorizado de tres factores, según ecuación 3.1:

$$A \times B \times C \dots \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Compuesto de los siguientes niveles de variación para cada factor, como se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10

Niveles de variación de los factores

Factores	Nivel de Variación
(A) Tiempo de pre-tratamiento	(1,5 – 2 – 2,5) min
(B) Tipo de espesor	(2 – 3) mm
(C) Temperatura de secado	(45 – 55) °C

Fuente: Elaboración propia

Correspondiendo a un modelo experimental, según ecuación 3.2:

$$3 \times 2^2 = 12 \text{ corridas por repetición} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

En la tabla 3.11 se muestra el arreglo matricial para el plátano deshidratado.

Tabla 3.11
Matriz de variables para la elaboración de plátano deshidratado

Θ	E			
	E1		E2	
	T			
	T1	T2	T1	T2
$\Theta 1$	$\Theta 1$ E1 T1	$\Theta 1$ E1 T2	$\Theta 1$ E2 T1	$\Theta 1$ E2 T2
	$\Theta 1$ E1 T1	$\Theta 1$ E1 T2	$\Theta 1$ E2 T1	$\Theta 1$ E2 T2
$\Theta 2$	$\Theta 2$ E1 T1	$\Theta 2$ E1 T2	$\Theta 2$ E2 T1	$\Theta 2$ E2 T2
	$\Theta 2$ E1 T1	$\Theta 2$ E1 T2	$\Theta 2$ E2 T1	$\Theta 2$ E2 T2
$\Theta 3$	$\Theta 3$ E1 T1	$\Theta 3$ E1 T2	$\Theta 3$ E2 T1	$\Theta 3$ E2 T2
	$\Theta 3$ E1 T1	$\Theta 3$ E1 T2	$\Theta 3$ E2 T1	$\Theta 3$ E2 T2

Fuente: Elaboración propia

Donde:

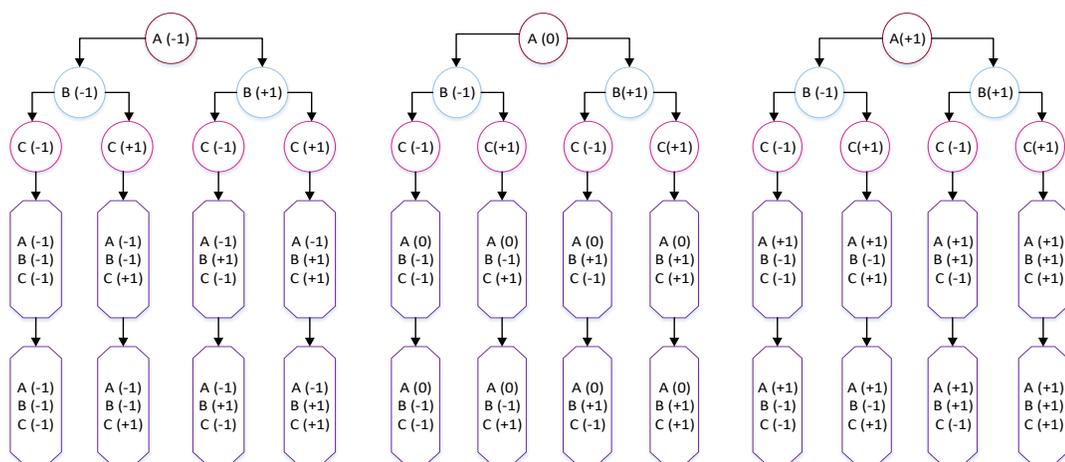
Θ = tiempo de pre-tratamiento (min.)

E = tipo de espesor (mm)

T = temperatura de secado ($^{\circ}$ C)

Tomando en cuenta como variable respuesta el contenido de humedad en base seca de las muestras de plátano deshidratado.

En la figura 3.11 se muestra el algoritmo de variables para la elaboración de rodajas de plátano deshidratado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Algoritmo de variables para la elaboración de plátano deshidratado

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y

DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la materia prima

Para la caracterización de la materia prima se tomaron en cuenta los análisis físicos, físicoquímicos y microbiológicos del plátano (*Musa paradisiaca*). En la figura 4.1, se muestran las rodajas de plátano.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.1 Rodajas de plátano

4.1.1 Propiedades físicas del plátano

La determinación de las propiedades físicas del plátano (tabla 4.1 y tabla 4.2), se realizó con 18 unidades de plátano semi-maduro con y sin cáscara y plátano maduro con y sin cáscara, tomadas al azar y de manera aleatoria.

Donde:

CC = con cáscara (g)

SC = sin cáscara (g)

PC = porción comestible (%)

PNC = porción no comestible (%)

Tabla 4.1

Propiedades físicas del plátano semi-maduro con cáscara y sin cáscara

Muestras	Altura CC (cm)	Altura SC (cm)	Diámetro CC (cm)	Diámetro SC (cm)	Peso CC (g)	Peso SC (g)	°Brix	PC (%)	PNC (%)	Rodajas útiles (%)	Rodajas no útiles(%)
1	15,85	15,25	3,75	3,45	212,60	125,35	16,00	58,96	41,04	86,67	13,33
2	15,65	18,25	3,95	3,35	245,16	144,57	14,00	58,97	41,03	85,48	14,52
3	15,55	14,35	3,75	3,15	196,81	116,16	16,50	59,02	40,98	88,89	11,11
4	14,95	14,45	3,75	3,15	189,39	109,96	15,00	58,06	41,94	88,24	11,76
5	14,05	13,65	3,75	3,05	131,54	75,95	18,00	57,74	42,26	86,36	13,64
6	14,15	14,05	4,05	2,95	192,84	113,43	14,50	58,82	41,18	87,50	12,50
7	16,15	15,65	3,75	3,25	241,57	144,18	17,00	59,68	40,32	90,63	9,38
8	16,45	16,05	3,95	3,15	214,13	128,86	13,50	60,18	39,82	88,33	11,67
9	14,55	14,25	3,85	3,05	195,75	116,81	15,00	59,67	40,33	89,29	10,71
10	14,65	14,25	3,65	2,95	166,56	101,07	17,00	60,68	39,32	90,57	9,43
11	14,35	14,05	3,95	3,05	163,52	97,11	14,50	59,39	40,61	83,33	16,67
12	15,35	14,75	3,95	3,15	205,85	122,62	16,00	59,57	40,43	85,96	14,04
13	14,65	14,35	3,85	2,85	157,06	92,54	17,00	58,92	41,08	86,54	13,46
14	13,95	13,55	4,04	2,75	158,18	93,36	16,50	59,02	40,98	86,36	13,64
15	14,15	14,05	3,95	3,15	182,57	105,26	18,00	57,65	42,35	86,54	13,46
16	14,65	14,55	3,55	3,05	197,23	120,48	17,00	61,09	38,91	89,29	10,71
17	14,75	13,85	4,15	3,05	183,53	111,26	16,00	60,62	39,38	88,37	11,63
18	15,25	14,85	3,55	3,15	200,78	119,92	14,00	59,73	40,27	89,29	10,71
Promedio	14,95 ±0,05	14,67±0,05	3,84 ±0,05	3,09±0,05	190,84 ±0,01	113,27±0,01	15,86	59,32	40,68	87,65	12,35

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se muestran los resultados promedios de las propiedades físicas del plátano semi-maduro con cáscara y sin cáscara: altura CC 14,95±0,05 cm.; altura SC 14,67±0,05 cm.; diámetro CC 3,84±0,05 cm.; diámetro SC 3,09±0,05 cm.; peso CC 190,84±0,05 cm.; peso SC 113,27±0,01 cm.; 15,86 ° Brix; PC 59,32%; PNC 40,68%; rodajas útiles 87,65% y rodajas no útiles 12,35%.

Tabla 4.2

Propiedades físicas del plátano maduro con cáscara y sin cáscara

Muestras	Altura CC (cm)	Altura SC (cm)	Diámetro CC (cm)	Diámetro SC (cm)	Peso CC (g)	Peso SC (g)	°Brix	PC (%)	PNC (%)	Rodajas útiles (%)	Rodajas no útiles (%)
1	12,75	12,55	3,15	2,75	104,51	63,75	26,00	61,00	40,76	85,37	14,63
2	11,85	11,65	3,05	2,55	90,47	54,84	22,50	60,62	35,63	85,71	14,29
3	11,95	11,85	2,95	2,55	88,44	53,11	25,00	60,05	35,33	82,05	17,95
4	11,35	11,25	3,15	2,55	75,88	44,77	23,00	59,00	31,11	85,71	14,29
5	11,85	11,35	3,05	2,65	83,73	49,98	24,00	59,69	33,75	84,21	15,79
6	11,35	11,25	3,45	2,55	85,96	56,22	26,00	65,40	29,74	85,71	14,29
7	11,05	10,55	2,95	2,55	88,92	54,50	23,50	61,29	34,42	80,56	19,44
8	11,95	10,85	3,45	3,25	113,31	74,35	22,50	65,62	38,96	84,21	15,79
9	11,05	10,75	3,05	2,35	64,43	36,17	26,00	56,14	28,26	80,00	20,00
10	10,95	10,75	3,05	3,25	104,36	67,29	25,00	64,48	37,07	85,29	14,71
11	11,95	11,55	3,35	2,75	91,69	56,65	23,00	61,78	35,04	87,18	12,82
12	10,35	10,15	3,15	2,45	69,98	39,02	24,00	55,75	35,04	78,57	21,43
13	10,25	10,15	2,95	2,55	76,17	43,64	25,00	57,29	32,53	71,43	28,57
14	10,65	10,25	3,15	2,45	76,60	45,13	22,50	58,92	31,47	77,14	22,86
15	11,65	11,35	3,05	2,45	82,94	49,24	23,00	59,37	33,70	85,00	15,00
16	11,05	10,75	2,85	2,35	79,66	43,61	26,00	54,75	36,05	80,56	19,44
17	10,15	9,65	2,85	2,25	64,79	38,90	24,50	60,04	25,89	69,23	30,77
18	12,25	11,95	3,25	2,65	90,61	55,64	27,00	61,41	34,97	83,33	16,67
Promedio	11,35±0,05	11,03±0,05	3,11±0,05	2,61±0,05	86,03±0,01	51,49±0,01	24,36	60,14	33,87	81,74	18,26

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.2, se muestran los resultados promedios de las propiedades físicas del plátano maduro con cáscara y sin cáscara: altura CC 11,35±0,05 cm., altura SC 10,27±0,05 cm., diámetro CC 3,11±0,05 cm., diámetro SC 2,61±0,05 cm., peso CC 86,03±0,01 g., peso SC 51,49±0,01 g., 24,36 °Brix; PC 60,14%, PNC 33,87%, rodajas útiles 81,74% y rodajas no útiles 18,26%.

4.1.2 Análisis físicoquímico del plátano

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis físicoquímico (Anexo A) del plátano como materia prima.

Tabla 4.3

Análisis físicoquímico del plátano

Parámetros	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	9,26
Ceniza	%	0,85
Fibra	%	2,30
Grasa	%	0,04
Hidratos de carbono	%	34,63
Humedad	%	60,80
Proteína	%	1,38
Valor energético	Kcal/100 g	144,40

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados obtenidos del análisis físicoquímico del plátano: azúcares totales 9,26 %; ceniza 0,85 %; fibra 2,30 %; grasas 0,04 %; hidratos de carbono 34,63 %; humedad 60,80 %; proteína 1,38 % y valor energético 144,4 Kcal/100 g.

4.1.3 Análisis microbiológico del plátano

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico (Anexo A) del plátano como materia prima.

Tabla 4.4

Análisis microbiológico del plátano

Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UFC/g	$< 1,0 * 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 * 10^1$

Fuente: CEANID, 2019

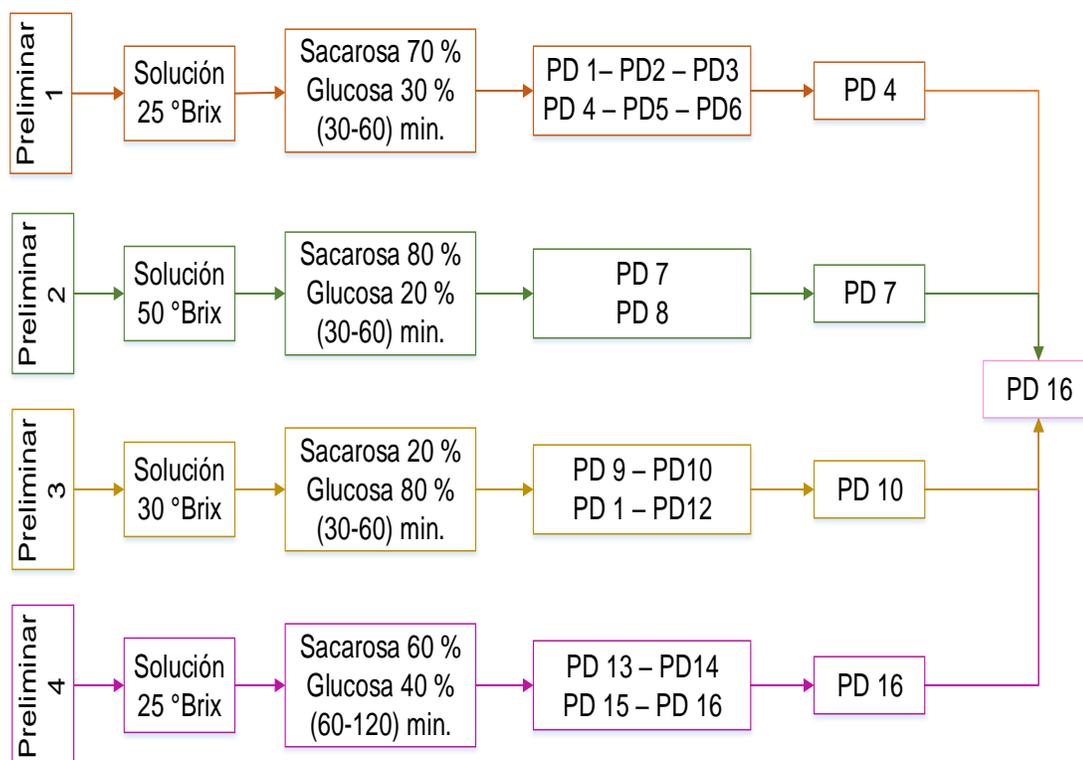
En la tabla 4.4, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico del plátano, donde presenta $<1,0*10^1$ ufc/g de Coliformes fecales y $<1,0*10^1$ ufc/g de Coliformes totales.

4.2 Caracterización de las variables del proceso para la elaboración de plátano deshidratado

Para realizar la caracterización de las variables del proceso para la elaboración de plátano deshidratado, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1 Elaboración de muestras preliminares de plátano deshidratado

Para la elaboración preliminar de muestras de plátano deshidratado, se procedió a elaborar dieciséis muestras a nivel experimental variando el tiempo de pre-tratamiento entre (30, 60 y 120) minutos; con la finalidad de establecer la combinación adecuada en la variación de (°Brix), concentración de sacarosa y glucosa, como se detalla en la figura 4.2.



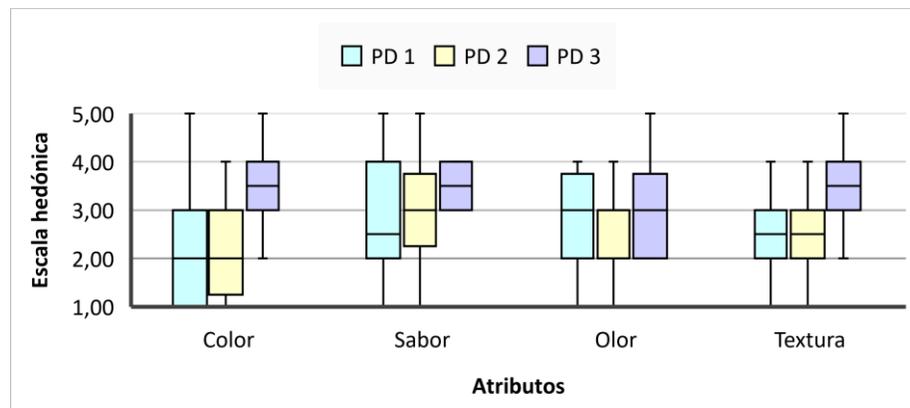
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Elaboración de muestras preliminares de plátano deshidratado

Posteriormente, las muestras fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados con la finalidad de elegir la mejor muestra preliminar de plátano deshidratado.

4.2.2 Evaluación sensorial en la concentración de solución preliminar 1 para tiempo de 30 minutos

En la figura 4.3, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos color, sabor, olor y textura; datos extraídos de la tabla C-1 (Anexo C), para un pretratamiento de 30 minutos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 1

En la figura 4.3, se puede observar que para el atributo color la muestra PD 3 tiene una mediana de 3,50, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 1 y PD 2 que tienen una mediana de 2,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo sabor la muestra PD 3 tiene una mediana de 3,50 situada sobre el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 1 y PD 2 que tienen una mediana de 2,50 y 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo olor las muestra PD 2 tiene una mediana de 3,00, situada sobre el tercer cuartil representando el 75 % de los datos concentrados en 2,00 y 3,00, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 1 y PD 3 que tienen una mediana de 3,00, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, por lo que cualquier muestra puede ser tomada en cuenta.

Para el atributo textura la muestra PD 3 tiene una mediana de 3,50, situada sobre el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 1 y PD 2 que tienen una mediana de 2,50, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

4.2.2.1 Estadístico de Tukey para el atributo color preliminar 1

En la tabla 4.5, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo color, datos extraídos de la tabla D-1.1.1 (Anexo D).

Tabla 4.5

Prueba Tukey para el atributo color

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M3-M2	1,10 > 0,60	Si hay diferencia
M3-M1	1,10 > 0,60	Si hay diferencia
M2-M1	0,00 < 0,60	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.5, se puede observar que para los tratamientos (M3-M2), (M3-M1) existe evidencia estadística; sin embargo, para el tratamiento (M2-M1) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 3.

4.2.2.2 Análisis de varianza para el atributo sabor preliminar 1

En la tabla 4.6, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo sabor, datos extraídos de la tabla D-1.1.1 (Anexo D).

Tabla 4.6

Análisis de varianza para el atributo sabor

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	2	2,23	1,12	1,61	3,25
Jueces	19	31,27	1,65	2,37	1,87
Residual	38	26,43	0,70		
Total	59	59,93			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.6, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,61 < 3,25$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 3.

4.2.2.3 Análisis de varianza para el atributo olor preliminar 1

En la tabla 4.7, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo olor, datos extraídos de la tabla D-1.1.1 (Anexo D).

Tabla 4.7

Análisis de varianza para el atributo olor

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	2	1,20	0,60	1,99	3,25
Jueces	19	40,93	2,15	7,14	1,87
Residual	38	11,47	0,30		
Total	59	53,60			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,99 < 3,25$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 3.

4.2.2.4 Estadístico de Tukey para el atributo textura preliminar 1

En la tabla 4.8, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo textura, datos extraídos de la tabla D-1.1.1 (Anexo D).

Tabla 4.8

Prueba Tukey para el atributo textura

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M3-M2	0,55 < 0,61	No hay diferencia
M3-M1	0,61 ≥ 0,61	Si hay diferencia
M2-M1	0,05 < 0,61	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

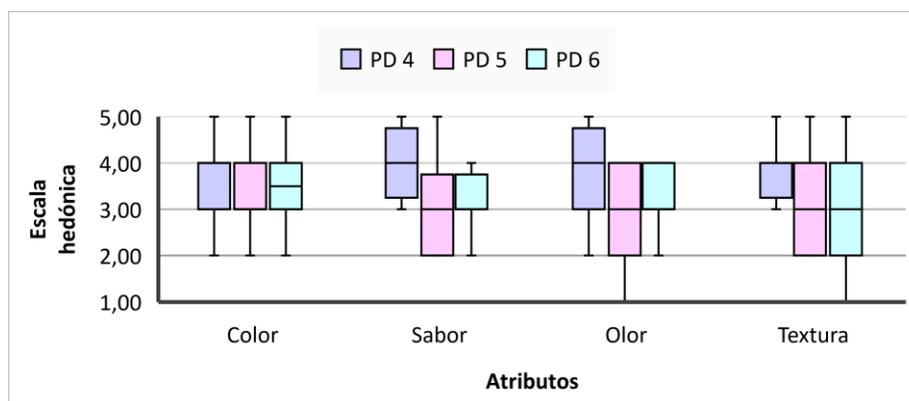
En la tabla 4.8, se observa que para los tratamientos: (M3-M1), existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M3-M2), (M2-M1) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 3.

Realizada la evaluación sensorial para la muestra preliminar 1, los jueces demostraron preferencia por la muestra PD 3 con tiempo de pre-tratamiento de 30 minutos, con una media de 3,50, puntos en escala hedónica para los atributos color, sabor, olor y textura. Así mismo en el estadístico de la prueba de Tukey se observó que existe diferencia significativa en los atributos color y textura: sin embargo para los atributos sabor y olor no hay diferencia significativa $p < 0,05$.

También se pudo observar por parte de los jueces que las muestras con pre-tratamiento de 30 minutos eran menos agradables en comparación con el tiempo de 60 minutos, donde detectaron mejora en los atributos sabor y color, debido al mayor tiempo de inmersión de las rodajas en la solución.

4.2.3 Evaluación sensorial en la concentración de solución preliminar 1 para tiempo de 60 minutos

En la figura 4.4, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos color, sabor, olor y textura; datos extraídos de la tabla C-1 (Anexo C), para un pre-tratamiento de 60 minutos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4 Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 1

En la figura 4.4, se puede observar que para el atributo color la muestra PD 4 tiene una mediana de 4,00, situada en el tercer cuartil representando el 75 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 5 y PD 6 que tienen una mediana de 3,00 y 3,50, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo sabor la muestra PD 4 tiene una mediana de 4,00, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 5 y PD 6 que tienen una mediana de 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo olor la muestra PD 4 tiene una mediana de 4,00, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 5 y PD 6 que tienen una mediana de 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo textura la muestra PD 4 tiene una mediana de 4,00, puntos situada sobre el tercer cuartil representando el 75 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 5 y PD 6 que tienen una mediana de 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

4.2.3.1 Análisis de varianza para el atributo color preliminar 1

En la tabla 4.9, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo color, datos extraídos de la tablas D-1.1.2 (Anexo D).

Tabla 4.9

Análisis de varianza para el atributo color

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	2	1,90	0,95	1,23	3,25
Jueces	19	17,07	0,90	1,16	1,87
Residual	38	29,43	0,77		
Total	59	48,40			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.9, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,23 < 3,25$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 4.

4.2.3.2 Estadístico de Tukey para el atributo sabor preliminar 1

En la tabla 4.10, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo sabor, datos extraídos de la tabla D-1.1.2 (Anexo D).

Tabla 4.10

Prueba Tukey para el atributo sabor

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M4-M6	0,65 > 0,59	Si hay diferencia
M4-M5	0,80 > 0,59	Si hay diferencia
M6-M5	0,15 < 0,59	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se observa que para los tratamientos: (M4-M5), (M4-M6) existe evidencia estadística: sin embargo, para el tratamiento (M6-M5) no hay evidencia estadística para $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 4.

4.2.3.3 Análisis de varianza para el atributo olor preliminar 1

En la tabla 4.11, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo olor, datos extraídos de la tablas D-1.1.2 (Anexo D).

Tabla 4.11

Análisis de varianza para el atributo olor

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	2	1.63	0.82	1.07	3.25
Jueces	19	14.32	0.75	0.99	1.87
Residual	38	29.03	0.76		
Total	59	44.98			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,07 < 3,25$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 4.

4.2.3.4 Análisis de varianza para el atributo textura preliminar 1

En la tabla 4.12, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo textura, datos extraídos de la tablas D-1.1.2 (Anexo D).

Tabla 4.12

Análisis de varianza para el atributo textura

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	2	4,63	2,32	2,44	3,25
Jueces	19	27,67	1,46	1,54	1,87
Residual	38	36,03	0,95		
Total	59	68,33			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12, se observa que $F_{ca} < F_{tab}$ ($2,44 < 3,25$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 4.

Realizada la evaluación sensorial para la muestra preliminar 1, los jueces demostraron preferencia por la muestra PD 4 con tiempo de pre-tratamiento de 60 minutos, con una media de 4,00, puntos en escala hedónica para los atributos color, sabor, olor y textura. Así mismo en el estadístico de la prueba de Tukey se observó que existe diferencia significativa $p < 0,05$.

También se pudo observar por parte de los jueces que las muestras con pretratamiento de 30 minutos eran menos agradables en comparación con el

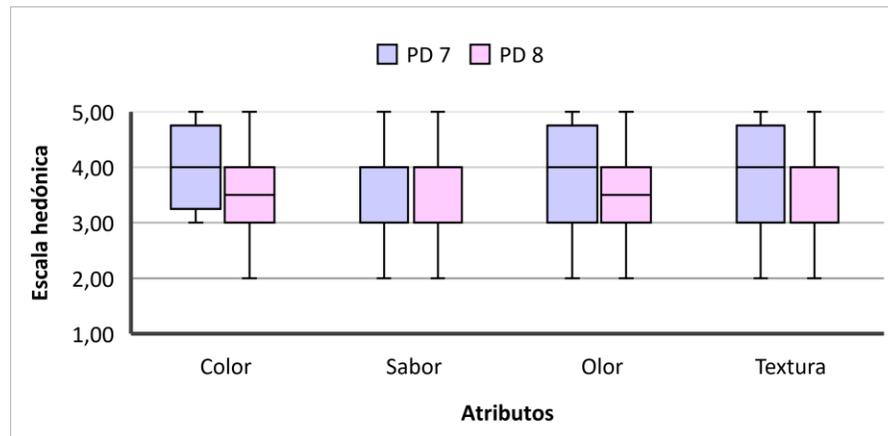
tiempo de 60 minutos, donde detectaron mejora en los atributos sabor y color, debido al mayor tiempo de inmersión de las rodajas en la solución.

4.2.4 Variación de la concentración en la solución muestra preliminar 2

Experimentalmente, se procedió a elaborar dos muestras preliminares de rodajas de plátano, variando la concentración de la solución de 25 °Brix a 50 °Brix manteniendo los tiempos de pre-tratamiento entre (30 y 60) minutos.

4.2.4.1 Evaluación sensorial en la concentración solución preliminar 2

En la figura 4.5, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos color, sabor, olor y textura; datos extraídos de la tabla C-2 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 2

En la figura 4.5, se puede observar que para el atributo color la muestra PD 7 tiene una mediana de 4,00, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de la muestra PD 8 que tiene una mediana de 3,50, siendo menos aceptadas en cuanto a escala hedónica, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo sabor las muestras PD 7 y PD 8 tienen una mediana de 4,00, situada en el tercer cuartil representando el 75 % de los datos, es decir que los jueces no detectaron diferencia entre las muestras, por lo que cualquier muestra puede ser tomada en cuenta.

Para el atributo olor las muestra PD 7 tiene una mediana de 4,00, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de la muestra PD 8 que tienen una mediana de 3,50, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo textura la muestra PD 7 tiene una mediana de 4,00, situada sobre el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de la muestra PD 8 que tienen una mediana de 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

4.2.4.1.1 Análisis de varianza para el atributo color preliminar 2

En la tabla 4.13, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo color, datos extraídos de la tabla D-1.1.3 (Anexo D-3).

Tabla 4.13

Análisis de varianza para el atributo color

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	1	0,40	0,40	0,66	4,38
Jueces	19	11,10	0,58	0,95	2,19
Residual	19	11,60	0,61		
Total	39	23,10			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.13, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($0,66 < 4,38$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 7.

4.2.4.1.2 Análisis de varianza para el atributo sabor preliminar 2

En la tabla 4.14, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo sabor, datos extraídos de la tabla D-1.1.3 (Anexo D-3).

Tabla 4.14

Análisis de varianza para el atributo sabor

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	1	0,23	0,23	0,35	4,38
Jueces	19	9,46	0,50	0,77	2,19
Residual	19	12,28	0,65		
Total	39	21,98			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($0,35 < 4,38$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 7.

4.2.4.1.3 Análisis de varianza para el atributo olor preliminar 2

En la tabla 4.15, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo olor, datos extraídos de la tabla D-1.1.3 (Anexo D-3).

Tabla 4.15

Análisis de varianza para el atributo olor

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	1	0,03	0,03	0,03	4,38
Jueces	19	19,48	1,03	1,35	2,19
Residual	19	14,48	0,76		
Total	39	33,98			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.15, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($0,03 < 4,38$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 7.

4.2.4.1.4 Análisis de varianza para el atributo textura preliminar 2

En la tabla 4.16, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo textura, datos extraídos de la tabla D-1.1.3 (Anexo D-3).

Tabla 4.16

Análisis de varianza para el atributo textura

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	1	0,03	0,03	0,05	4,38
Jueces	19	24,48	1,29	2,58	2,19
Residual	19	9,47	0,50		
Total	39	33,98			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.16, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($0,05 < 4,38$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 7.

Realizada la evaluación sensorial para la muestra preliminar 2, los jueces demostraron preferencia por la muestra PD 7 con un tiempo de pre-tratamiento de 30 minutos, con una media de 4,00, puntos en escala hedónica para los atributos color, sabor, olor y textura. Así mismo, en el estadístico de la prueba de Tukey se observó que no existe diferencia significativa $p < 0,05$.

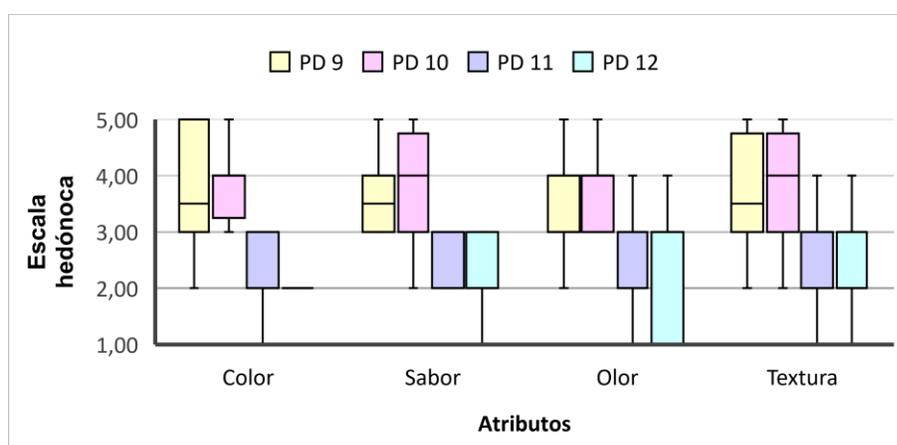
También se pudo observar por parte de los jueces, que la muestra con pre-tratamiento de 30 minutos (PD 7) era agradable en cuanto al atributo sabor, pero no así en comparación con el tiempo de 60 minutos (PD 8) que era un poco más intenso; debido a la elevada concentración de la solución de inmersión. Así mismo el atributo color era más agradable para el tiempo de 60 minutos en comparación con el tiempo de 30 minutos, por ser mayor el tiempo de inmersión de las rodajas de plátano en la solución.

4.2.5 Variación de concentración en la solución muestra preliminar 3

Experimentalmente, se procedió a elaborar 4 muestras preliminares, variando la concentración de la solución entre 50 °Brix a 30 °Brix manteniendo los tiempos de pre-tratamiento entre (30 y 60) minutos.

4.2.5.1 Evaluación sensorial en la concentración solución preliminar 3

En la figura 4.6, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos color, sabor, olor y textura; datos extraídos de la tabla C-3 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 3

En la figura 4.6, se puede observar que para el atributo color la muestra PD 10 tiene una mediana de 4,00, situada en el tercer cuartil representando el 75 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 9, PD 11 y PD 12 que tienen una de 3,50 y 2,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo sabor la muestra PD 10 tiene una mediana de 4,00, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 9, PD 11 y PD 12 que tienen una mediana de 3,50 y 2,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo olor la muestra PD 10 tiene una mediana de 4,00, situada sobre el tercer cuartil representando el 75 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 9, PD 11 y PD 12 que tienen una mediana de 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo textura la muestra PD 10 tiene una mediana de 4,00, situada en el segundo cuartil representando el 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 9, PD11 y PD 12 que tienen una mediana de 3,50, 3,00 y 2,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

4.2.5.1.1 Estadístico de Tukey para el atributo color preliminar 3

En la tabla 4.17, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo color, datos extraídos de la tabla D-1.1.4 (Anexo D).

Tabla 4.17

Prueba Tukey para el atributo color

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M10-M12	2,10 > 0,71	Si hay diferencia
M10-M11	1,90 > 0,71	Si hay diferencia
M10-M9	0,20 < 0,71	No hay diferencia
M9-M12	1,90 > 0,71	Si hay diferencia
M9-M11	1,70 > 0,71	Si hay diferencia
M11-M12	0,20 < 0,71	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.17, se observa que para los tratamientos: (M10-M12), (M10-M11), (M9-M12), (M9-M11) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M10-M9), (M11-M12) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 10.

4.2.5.1.2 Estadístico de Tukey para el atributo sabor preliminar 3

En la tabla 4.18, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo sabor, datos extraídos de la tabla D-1.1.4 (Anexo D).

Tabla 4.18

Prueba Tukey para el atributo sabor

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M10-M12	1,65 > 0,50	Si hay diferencia
M10-M11	1,20 > 0,50	Si hay diferencia
M10-M9	0,05 < 0,50	No hay diferencia
M9-M12	1,60 > 0,50	Si hay diferencia
M9-M11	1,15 > 0,50	Si hay diferencia
M11-M12	0,45 < 0,50	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se observa que para los tratamientos: (M10-M12), (M10-M11), (M9-M12), (M9-M11) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M10-M9), (M11-M12) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 10.

4.2.5.1.3 Estadístico de Tukey para el atributo olor preliminar 3

En la tabla 4.19, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo olor, datos extraídos de la tabla D-1.1.4 (Anexo D).

Tabla 4.19

Prueba Tukey para el atributo olor

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M10-M12	1,15 > 0,55	Si hay diferencia
M10-M11	1,00 > 0,55	Si hay diferencia
M10-M9	0,40 < 0,55	No hay diferencia
M9-M12	0,75 > 0,55	Si hay diferencia
M9-M11	0,60 > 0,55	Si hay diferencia
M11-M12	0,15 < 0,55	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19, se observa que para los tratamientos: (M10-M12), (M10-M11), (M9-M12), (M9-M11) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M10-M9), (M11-M12) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 10.

4.2.5.1.4 Estadístico de Tukey para el atributo textura preliminar 3

En la tabla 4.20, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo textura, datos extraídos de la tabla D-1.1.4 (Anexo D).

Tabla 4.20

Prueba Tukey para el atributo textura

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M10-M12	1,40 > 0,69	Si hay diferencia
M10-M11	1,00 > 0,69	Si hay diferencia
M10-M9	0,10 < 0,69	No hay diferencia
M9-M12	1,30 > 0,69	Si hay diferencia
M9-M11	0,90 > 0,69	Si hay diferencia
M11-M12	0,40 < 0,69	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se observa que para los tratamientos: (M10-M12), (M10-M11), (M9-M12), (M9-M11) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M10-M9), (M11-M12) no hay evidencia estadística para $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 10.

Realizada la evaluación sensorial para la muestra preliminar 3, los jueces demostraron preferencia por la muestra PD 10 con un tiempo de pre-tratamiento de 30 minutos, con una media de 4,00, puntos en escala hedónica para los atributos color, sabor, olor y textura. Así mismo, el estadístico de la prueba de Tukey se observó que existe diferencia significativa $p < 0,05$.

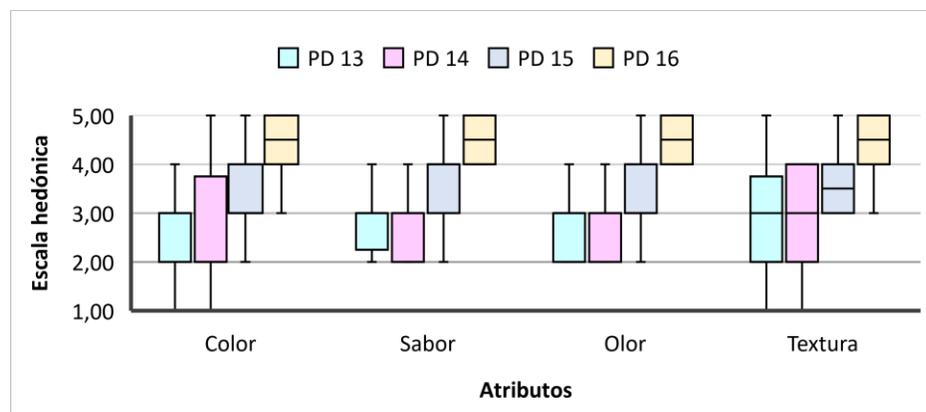
También se pudo observar por parte de los jueces que las muestras con pre-tratamiento de 30 minutos (PD 9 y PD 10), en cuanto al atributo sabor seguía siendo un poco intenso, más en comparación con el tiempo de 60 minutos debido al mayor tiempo de inmersión en la solución, para el atributo color era más agradable para el tiempo de 60 minutos; en comparación con el tiempo de 30 minutos.

4.2.6 Variación de concentración en la solución muestra preliminar 4

Experimentalmente, se procedió a elaborar 4 muestras preliminares de rodajas de plátano, variando la concentración de la solución de 30 a 25 °Brix variando también así los tiempos de pre-tratamiento entre (60 y 120) minutos.

4.2.6.1. Evaluación sensorial en concentración de solución preliminar 4

En la figura 4.7, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos color, sabor, olor y textura; datos extraídos de la tabla C-4 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Caja y bigote en la concentración de la solución preliminar 4

En la figura 4.7, se puede observar que para el atributo color la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,50, situada en el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 13, PD 14 y PD 15 que tienen una mediana de 3,00, 2,00 y 3,00, siendo menos aceptadas en cuanto a escala hedónica, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo sabor la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,50, situada en el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 13, PD 14 y PD 15 que tienen una mediana de 3,00, 2,00 y 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo olor la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,50, situada en el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 13, PD 14 y PD 15 que tienen una mediana de 3,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo textura la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,50, situada sobre el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 13, PD 14 y PD 15 que tienen una mediana de 3,00, 3,00 y 3,50, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

4.2.6.1.1 Estadístico de Tukey para el atributo color preliminar 4

En la tabla 4.21, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo color, datos extraídos de la tabla D-1.1.5 (Anexo D).

Tabla 4.21

Prueba Tukey para el atributo color

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M16-M14	1,40 > 0,58	Si hay diferencia
M16-M13	1,25 > 0,58	Si hay diferencia
M16-M15	0,05 < 0,58	No hay diferencia
M15-M14	1,35 > 0,58	Si hay diferencia
M15-M13	1,20 > 0,58	Si hay diferencia
M13-M14	0,15 < 0,58	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.21, se observa que para los tratamientos: (M16-M14), (M16-M13), (M15-M14), (M15-M13) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M16-M15), (M13-M14) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

4.2.6.1.2 Estadístico de Tukey para el atributo sabor preliminar 4

En la tabla 4.22, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo sabor, datos extraídos de la tabla D-1.1.5 (Anexo D).

Tabla 4.22

Prueba Tukey para el atributo sabor

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M16-M14	1,30 > 0,56	Si hay diferencia
M16-M13	1,15 > 0,56	Si hay diferencia
M16-M15	0,35 < 0,56	No hay diferencia
M15-M14	0,95 > 0,56	Si hay diferencia
M15-M13	0,80 > 0,56	Si hay diferencia
M13-M14	0,15 < 0,56	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se observa que para los tratamientos: (M16-M14), (M16-M13), (M15-M14), (M15-M13) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M16-M15), (M13-M14) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

4.2.6.1.3 Estadístico de Tukey para el atributo olor preliminar 4

En la tabla 4.23, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo olor, datos extraídos de la tabla D-1.1.5 (Anexo D).

Tabla 4.23

Prueba Tukey para el atributo olor

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M16-M13	1,20 > 0,60	Si hay diferencia
M16-M14	1,05 > 0,60	Si hay diferencia
M16-M15	0,45 < 0,60	No hay diferencia
M15-M13	0,75 > 0,60	Si hay diferencia
M15-M14	0,60 ≤ 0,60	Si hay diferencia
M14-M13	0,15 < 0,60	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se observa que para los tratamientos: (M16-M13), (M16-M14), (M15-M14), (M15-M13) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M16-M15), (M14-M13) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

4.2.6.1.4 Estadístico de Tukey para el atributo textura preliminar 4

En la tabla 4.24, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo textura, datos extraídos de la tabla D-1.1.5 (Anexo D).

Tabla 4.24

Prueba Tukey para el atributo textura

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M16-M14	0,75 > 0,65	Si hay diferencia
M16-M13	0,60 < 0,65	Si hay diferencia
M16-M15	0,05 < 0,65	No hay diferencia
M15-M14	0,70 > 0,65	Si hay diferencia
M15-M13	0,55 < 0,65	Si hay diferencia
M13-M14	0,15 < 0,65	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.24, se observa que para los tratamientos: (M16-M14), (M16-M13), (M15-M14), (M15-M13) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M16-M15), (M13-M14) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

Realizada la evaluación sensorial para la muestra preliminar 4 los jueces demostraron preferencia por la muestra PD16 con tiempo de pre-tratamiento de 120 minutos, con una media de 4,50, puntos en escala hedónica para los atributos color, sabor, olor y textura. Así mismo el estadístico de la prueba de Tukey se observó que existe diferencia significativa $p < 0,05$.

También se pudo observar por parte de los jueces que las muestras con tiempo de 60 minutos eran menos agradables en comparación con el tiempo de 120 minutos, donde se mejoró bastante los atributos color y sabor debido al tiempo de inmersión que era mayor para las rodajas en la solución.

4.2.7 Selección de muestra preliminar de plátano deshidratado

Realizada la evaluación sensorial para las cuatro muestras preliminares, se concluye que los jueces tienen preferencia por las muestras PD 4, PD 7, PD 10 y PD 16. Así mismo realizado el estadístico de la prueba de Tukey se

observó que para las muestras PD 4, PD 10 y PD 16 existe diferencia significativa: sin embargo para la muestra PD 7 no hay evidencia estadística $p < 0,05$.

Durante la selección de la muestra preliminar de plátano deshidratado se procedió a realizar variaciones (°Brix), concentración de sacarosa y glucosa, manteniendo el tiempo de pre-tratamiento (30, 60 y 120) minutos con la finalidad de establecer la mejor muestra para el desarrollo del presente trabajo de investigación; las variaciones se detallan en la figura 4.8.



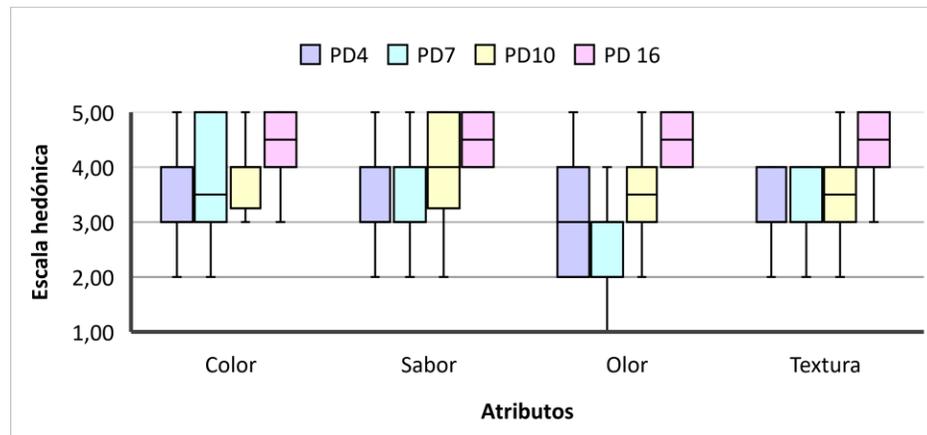
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Variación en la concentración de la solución para selección de muestra preliminar

Posteriormente, las muestras fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados con la finalidad de elegir la mejor muestra preliminar de plátano deshidratado.

4.2.8 Evaluación sensorial para selección de muestra preliminar

En la figura 4.9, se muestran los resultados obtenidos de caja y bigotes para los atributos color, sabor, olor y textura; datos extraídos de la tabla C-5 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Caja y bigotes para selección de muestra preliminar

En la figura 4.9, se puede observar que para el atributo color la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,50, situada en el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 4, PD 7 y PD 10 que tienen una mediana de 3,00, 3,50 y 4,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo sabor la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,50, situada en el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 4, PD 7 y PD 10 que tienen una mediana de 3,00 y 4,00, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo olor la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,00, situada en el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 4, PD 7 y PD 10 que tienen una mediana de 3,00 y 3,50, siendo menos aceptada, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo textura la muestra PD 16 tiene una mediana de 4,50, situada en el segundo cuartil lo que representa más del 50 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PD 4,

PD 7 y PD 10 que tienen una mediana de 3,00 y 3,50, siendo menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

4.2.8.1 Estadístico de Tukey para el atributo color selección de muestra preliminar

En la tabla 4.25, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo color, datos extraídos de la tabla D-1.1.6 (Anexo D).

Tabla 4.25

Prueba Tukey para el atributo color

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M16-M4	0,72 > 0,71	Si hay diferencia
M16-M7	0,40 < 0,71	No hay diferencia
M16-M10	0,15 < 0,71	No hay diferencia
M10-M4	0,57 < 0,71	No hay diferencia
M10-M7	0,25 < 0,71	No hay diferencia
M7-M4	0,32 < 0,71	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.25, se observa que para los tratamientos: (M16-M4) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M16-M7), (M16-M10), (M10-M4), (M10-M7), (M7-M4) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

4.2.8.2 Estadístico de Tukey para el atributo sabor selección de muestra preliminar

En la tabla 4.26, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo sabor, datos extraídos de la tabla D-1.1.6 (Anexo D).

Tabla 4.26

Prueba Tukey para el atributo sabor

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M16-M7	0,95 > 0,70	Si hay diferencia
M16-M4	0,85 > 0,70	Si hay diferencia
M16-M10	0,25 < 0,70	No hay diferencia
M10-M7	0,70 ≤ 0,70	No hay diferencia
M10-M4	0,60 < 0,70	No hay diferencia
M4-M7	0,10 < 0,70	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.26, se observa que para los tratamientos: (M16-M7), (M16-4) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M16-M10), (M10-M4), (M10-M7), (M7-M4) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

4.2.8.3 Estadístico de Tukey para el atributo olor selección de muestra preliminar

En la tabla 4.27, se muestra los resultados de la prueba Tukey para el atributo olor, datos extraídos de la tabla D-1.1.6 (Anexo D).

Tabla 4.27

Prueba Tukey para el atributo olor

Tratamientos	Análisis de valores	Efectos
M16-M7	1,05 > 0,67	Si hay diferencia
M16-M4	0,80 > 0,67	Si hay diferencia
M16-M10	0,50 < 0,67	No hay diferencia
M10-M7	0,55 < 0,67	No hay diferencia
M10-M4	0,30 < 0,67	No hay diferencia
M4-M7	0,25 < 0,67	No hay diferencia

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.27 se observa que para los tratamientos: (M16-M7), (M16-4) existe evidencia estadística: sin embargo, para los tratamientos (M16-M10), (M10-M4), (M10-M7), (M7-M4) no hay evidencia estadística $p < 0,05$. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

4.2.8.4 Análisis de varianza para el atributo textura selección de muestra preliminar

En la tabla 4.28, se muestra los resultados del análisis de varianza para el atributo textura, datos extraídos de la tabla D-1.1.6 (Anexo D).

Tabla 4.28

Análisis de varianza para el atributo textura

Fuente de variación	Grados libertad	Suma de cuadrados	Varianza estimada	Fcal	Ftab
Tratamiento	3	3,94	1,31	2,55	2,77
Jueces	19	17,74	0,93	1,82	1,80
Residual	57	29,31	0,51		
Total	79	50,99			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.28, se observa que $F_{cal} < F_{tab}$ ($2,55 < 2,77$) para los tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis planteada $p < 0,05$, se puede decir que los jueces no lograron detectar evidencia estadística significativa. Por lo que, cualquier muestra puede tomarse en cuenta. Pero se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PD 16.

La muestra PD 16 fue elegida como muestra preliminar para el desarrollo del presente trabajo de investigación por obtener elevada puntuación en escala hedónica con medianas en los atributos color (4,50), sabor (4,50), olor (4,50) y textura (4,50). Así mismo realizado el análisis estadístico para los atributos color ($2,91 > 2,77$), sabor ($5,97 > 2,77$) y olor ($6,12 > 2,77$); $F_{cal} > F_{tab}$ existe evidencia estadística, sin embargo, para el atributo textura ($2,55 < 2,77$) $F_{cal} < F_{tab}$ no presenta evidencia estadística $p < 0,05$.

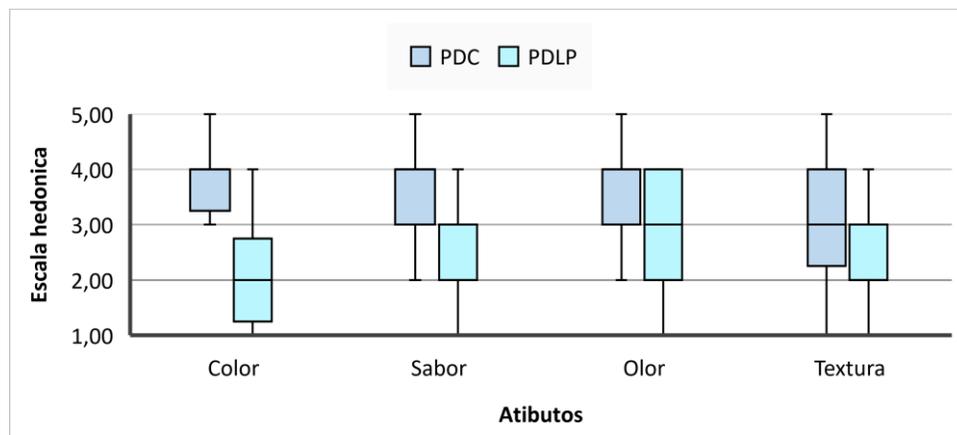
Por parte de los jueces se pudo observar que para las muestras PD 4 (60 minutos), PD 7 (30 minutos) y PD 10 (30 minutos) seguían siendo menos agradables en comparación de la muestra PD 16 (120 minutos), para los atributos color y sabor. Por lo tanto, se concluye que la muestra seleccionada para desarrollar el presente trabajo de investigación es la muestra PD 16 con un tiempo de pre-tratamiento de 120 minutos para solución de 25 °Brix compuesta de 60 % de sacarosa y 40 % glucosa.

4.2.9 Elección de muestra de referencia de plátano deshidratado

Para la elección de muestra referencia de plátano deshidratado en el presente trabajo de investigación, se tomó en cuenta dos muestras de plátano deshidratados existentes en el mercado, para ello se consideró (PDC) plátano deshidratado dulce cajita y (PDB) plátano deshidratado biomundo. Posteriormente las muestras fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados

4.2.9.1 Evaluación sensorial para elección de muestra referencia

En la figura 4.19, se muestra los resultados de caja y bigotes para los atributos color, sabor, olor y textura; datos extraídos de la tabla C-6 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Caja y bigotes para elección de muestra referencia

En la figura 4.10, se puede observar que para el atributo color la muestra PDC tiene una mediana de 4,00, situada en el tercer cuartil lo que representa más del 75 % de los datos, es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de las muestras PDB con una mediana de 2,00, siendo menos aceptada, por lo cual es rechazada.

Para el atributo sabor la muestra PDC tiene una mediana de 4,00, situada en el tercer cuartil lo que representa más del 75 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de la muestra PDB con una mediana de 3,00, siendo menos aceptada, por lo cual es rechazada.

Para el atributo olor la muestra PDC tiene una mediana de 4,00, situada en el tercer cuartil lo que representa más del 75 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de la muestra PDB con una mediana de 3,00, siendo menos aceptada, por lo cual es rechazada.

Para el atributo textura la muestra PDC tiene una mediana de 3,00, situada en el segundo cuartil lo que representa el 50 % de los datos; es decir que tiene mayor aceptación por los jueces, seguida de la muestra PDB con una mediana de 2,00, siendo menos aceptada, por lo cual es rechazada.

4.2.9.1.1 Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo color selección de muestra referencia

En la tabla 4.29, se muestra los resultados de la prueba de múltiples comparaciones para el atributo color, datos extraídos de la tabla D-2.1.1 (Anexo D).

Tabla 4.29

Prueba múltiples comparaciones para el atributo color

Diferencias totales	Valor crítico de Friedman
PDC – PDLP > 39 – 21 = 18	> 0,936 significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.29, se observa que para los tratamientos: (PDC-PDLP) existe evidencia estadística $P < 0,05$. Sin embargo, se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PDC.

4.2.9.1.2 Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo olor selección de muestra referencia

En la tabla 4.30, se muestra los resultados de la prueba de múltiples comparaciones para el atributo olor, datos extraídos de la tabla D-2.1.1 (Anexo D).

Tabla 4.30

Prueba múltiples comparaciones para el atributo olor

Diferencias totales	Valor crítico de Friedman
PDC – PDLP > 34 – 26 = 8	> 1,424 significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.30, se observa que para los tratamientos: (PDC-PDLP) existe evidencia estadística para $P < 0,05$. Sin embargo, se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PDC.

4.2.9.1.3 Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo sabor selección de muestra referencia

En la tabla 4.31, se muestra los resultados de la prueba de múltiples comparaciones para el atributo sabor, datos extraídos del anexo D-2.1.1

Tabla 4.31

Prueba múltiples comparaciones del atributo sabor

Diferencias totales	Valor critico de Friedman
$ PDC - PDLP > 34 - 26 = 8$	$> 1,592$ significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.31, se observa que para los tratamientos: (PDC-PDLP) existe evidencia estadística para $P < 0,05$. Sin embargo, se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PDC.

4.2.9.1.4 Estadístico de múltiples comparaciones para el atributo textura selección de muestra referencia

En la tabla 4.32, se muestra los resultados de la prueba de múltiples comparaciones para el atributo textura, datos extraídos de la tabla D-2.1.1 (Anexo D).

Tabla 4.32

Prueba múltiples comparaciones para el atributo textura

Diferencias totales	Valor critico de Friedman
$ PDC - PDLP > 34 - 26 = 8$	$> 1,588$ significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.32, se observa que para los tratamientos: (PDC-PDB) existe evidencia estadística para $P < 0,05$. Sin embargo, se consideró la preferencia de los jueces por la muestra PDC.

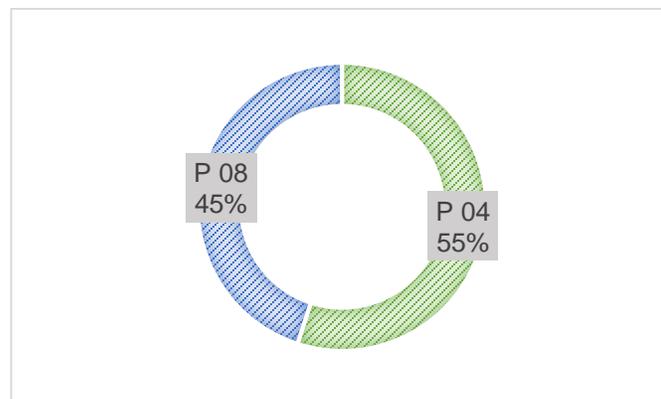
Realizada la evaluación sensorial para la selección de muestra referencia, los jueces mostraron preferencia por la muestra PDC (plátano deshidratado dulce cajita) por adquirir mayor puntaje en escala hedónica con medianas para los atributos color (4,00), sabor (4,00), olor (4,00) y textura (3,00); así mismo realizado el análisis estadístico para los atributos color ($18 > 0,936$), sabor ($8 > 1,592$), olor ($8 > 1,424$) y textura ($8 > 1,588$); $F_{cal} > F_{tab}$ existe evidencia estadística significativa para $p < 0,05$.

4.2.10 Comparación de producto final con muestra referencia

Para realizar la comparación de producto final con la muestra de referencia, se tomaron en cuenta dos muestras P 04 y P 08 de los tratamientos que tuvieron diferencia estadística significativa para el diseño experimental con la finalidad de escoger el producto final, para lo cual se realizó una evaluación sensorial para los atributos sabor y textura con la muestra referencia RDC 1 (plátano deshidratado dulce cajita), utilizando 20 jueces no entrenados.

4.2.10.1 Evaluación sensorial del atributo sabor para el producto final

En la figura 4.11 se muestra el porcentaje de aceptación de las muestras PD 04 y PD 08 en comparación a la muestra de referencia RDC 1. Datos extraídos de la tabla C-7 anexo C.



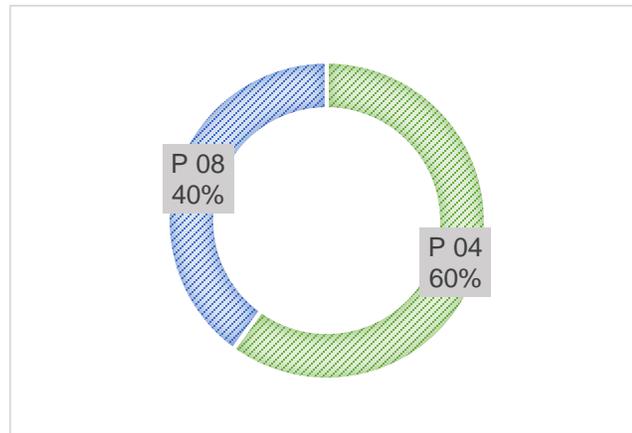
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Porcentaje de aceptación del atributo sabor para producto final

En la figura 4.11 se puede observar que la muestra P 08 tiene una aceptación de 45% y la muestra P 04 tiene 55% en cuanto al atributo sabor. Realizado el análisis estadístico se muestra que $X_{Cal}^2 = 0,0025 < X_{Tab}^2 = 3,84$ por lo tanto no hay diferencia estadística entre las muestras para $p < 0,05$.

4.2.10.2 Evaluación sensorial del atributo textura para el producto final

En la figura 4.12 se muestra el porcentaje de aceptación de las muestras PD 04 y PD 08 en comparación a la muestra de referencia RDC 1. Datos extraídos de la tabla C-7 anexo C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Porcentaje de aceptación del atributo textura para producto final

En la figura 4.12 se puede observar que la muestra P 08 tiene una aceptación de 40% y la muestra P 04 tiene 60% en cuanto al atributo textura. Realizado el análisis estadístico se muestra que $X_{Cal}^2 = 0,0025 < X_{Tab}^2 = 3,84$ por lo tanto no hay diferencia estadística entre las muestras para $p < 0,05$.

En base a la evaluación sensorial realizada para la comparación del producto final con la muestra de referencia, se observa que la muestra con mayor porcentaje de aceptación es la muestra P 04.

4.3 Diseño experimental en el proceso de secado para obtener rodajas de plátano

El diseño experimental se realizó con el propósito de establecer los factores que tienen mayor influencia en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado. Así mismo, se utilizó el algoritmo factorial $A \times B \times C$ (figura 3.16) tomando en cuenta las variables de tiempo de pre-tratamiento (90, 120 y 150 min.), tipo de espesor (2 y 3 mm) y temperatura de secado entre (45 y 55 °C).

En la tabla 4.33, se muestra los resultados del contenido de humedad en base seca (tabla F 2.1) de la variable respuesta del proceso de secado para obtener plátano deshidratado.

Tabla 4.33
Contenido de humedad en base seca del proceso de secado de plátano

Tiempo de pre-tratamiento min. (A)	Tipo de espesor (B)								Yi
	2 mm				3 mm				
	Temperatura de secado (°C)				Temperatura de secado (°C)				
	45 °C		55 °C		45°C		55 °C		
90	10,74	22,47	10,40	23,86	11,60	19,99	11,43	24,09	90,41
	11,73		13,46		8,39		12,66		
120	11,02	21,94	8,65	17,84	17,11	30,14	21,13	40,89	110,81
	10,92		9,19		13,03		19,76		
150	15,91	28,22	9,46	17,28	21,69	34,70	13,43	30,02	110,22
	12,31		7,82		13,01		16,59		
Total BxC Yik	72,63		58,98		84,83		95,00		311,44
Yj	131,61				179,83				

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Análisis de varianza del diseño experimental A*B*C en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado

En la tabla 4.34, se muestra los resultados del análisis de varianza del diseño AxBxC para la variable respuesta (contenido de humedad en base seca), datos extraídos del Anexo F (tabla F 2.2)

Tabla 4.34
Análisis de varianza del diseño experimental A*B*C en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F _{Cal}	F _{Tab}
A	33,706	2	16,853	2,849	3,88
B	96,882	1	96,882	16,379	4,75
C	0,505	1	0,505	0,085	4,75
AB	71,997	2	35,999	6,086	3,88
AC	39,289	2	19,644	3,321	3,88
BC	23,641	1	23,641	3,997	4,75
ABC	9,740	2	4,870	0,823	3,88
Error	70,982	12	5,915	-	-
Total	346,742	23	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.34, se observa que el factor (B) tipo de espesor; la interacción (AB) son significativos para el proceso de secado. Pero no así los factores (A) tiempo de pre-tratamiento, (C) temperatura de secado e interacciones (AC), (BC), (ABC); ya que $F_{Cal} < F_{Tab}$ por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un límite de confianza del 95 %.

4.3.2 Significancia de factor (B) e interacción (AB) en el diseño experimental

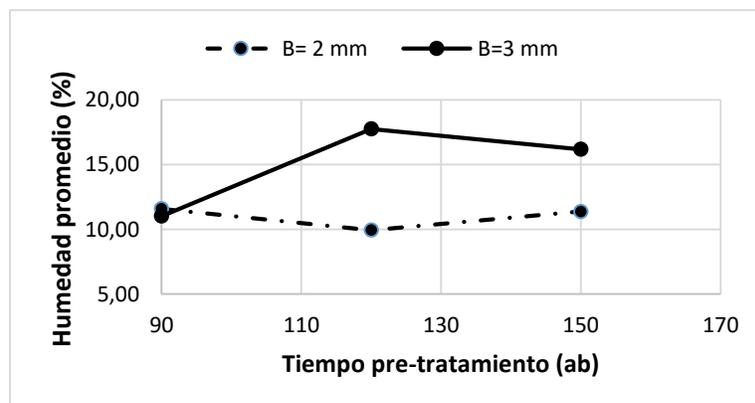
En la figura 4.13, y figura 4.14, se muestran los resultados del diseño experimental, donde el factor (B) tipo de espesor e interacción (AB) tiempo de pre-tratamiento-espesor son significativos para el proceso de secado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Factor (B) tipo de espesor vs. Humedad promedio

En la figura 4.13, se puede observar que según el espesor de las rodajas el contenido de humedad varia, es decir que el incremento de la variable se mueve hacia arriba la desviación promedio del contenido de humedad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Interacción (AB) tiempo-espesor vs. Humedad promedio

En la figura 4.14, se puede observar que según el pre-tratamiento el contenido de humedad varía, es decir que el incremento de la variable mueve hacia arriba la desviación promedio del contenido de humedad.

4.4 Cinética de secado para las rodajas de plátano deshidratado

La tabla 4.35, muestra los resultados ajustados para la cinética de secado de las rodajas de plátano, tiempo de pre-tratamiento de 120 minutos, espesor de 2 mm y temperatura de secado de 50 °C. Los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2016). Y las condiciones de secado fueron las siguientes:

Área de la bandeja de secado: 0,029 m²

Cantidad de materia prima: 33,50 g

Contenido de humedad: 53,12 %

Contenido de materia seca: 10,78 g

Tiempo de secado: 4,30 horas

Tabla 4.35

Resultado del contenido de humedad en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado

Tiempo (min)	Peso (g)	X (Kg/Kg)	Δx (Kg/Kg)	$\Delta x/\Delta \theta$ (Kg/Kg h)	W (Kg/m ² h)	X media (Kg/Kg)
0	35,50	2,293	0,555	0,028	2,016	8,510
20	29,52	1,738	0,441	0,022	1,518	8,190
40	24,77	1,298	0,444	0,022	1,076	8,259
60	19,98	0,853	0,057	0,003	0,825	6,052
80	19,37	0,797	0,054	0,003	0,770	6,000
100	18,79	0,743	0,212	0,011	0,637	4,948
120	16,50	0,531	0,148	0,007	0,456	2,759
140	14,90	0,382	0,100	0,005	0,332	1,862
160	13,82	0,282	0,065	0,003	0,250	1,207
180	13,12	0,217	0,024	0,001	0,205	0,448
200	12,86	0,193	0,016	0,001	0,185	0,293
220	12,69	0,177	0,018	0,001	0,168	0,328
240	12,50	0,160	0,039	0,002	0,140	0,724
260	12,08	0,121	0,003	0,000	0,119	0,052
280	12,05	0,118	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Donde:

P = Peso de las rodajas de plátano deshidratado

X = Humedad en base seca de las muestras de plátano

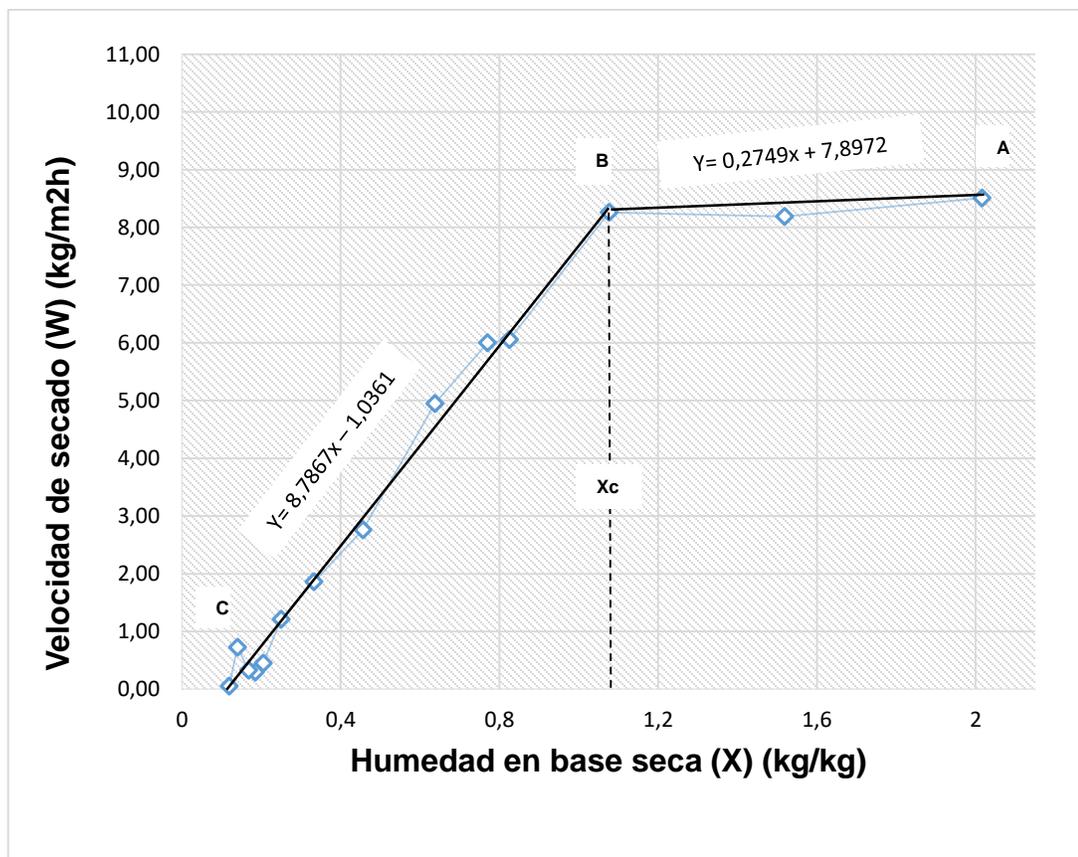
Δx = Gradiente de humedad en base seca

$\Delta x / \Delta \theta$ = Gradiente de humedad en base seca/el gradiente de tiempo

W = Velocidad de secado

X media = Humedad media

La figura 4.15, se muestra la curva de velocidad de secado para las muestras de plátano en función del contenido de humedad media de los datos obtenidos de la tabla 4.35.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Cinética en el proceso de secado para obtener plátano deshidratado

En la figura 4.15, se muestra el comportamiento del contenido de humedad media en relación con la velocidad de secado donde se puede decir que:

El periodo ante crítico (tramo A-B) cuya velocidad es constante hasta que el contenido de humedad del producto alcanza un valor crítico, cuya expresión matemática (Ec. 4.1) ajustada se demuestra en la presente ecuación:

$$Y = 0,2749x + 7,8972 \quad (\text{Ec. 4.1})$$

El periodo pos crítico representa el (tramo B-C) donde la velocidad de secado decrece linealmente hasta que el contenido de humedad del producto alcanza el valor de equilibrio cuya expresión matemática (Ec. 4.2) ajustada se demuestra en la presente ecuación:

$$Y = 8,7867x + 1,0361 \quad (\text{Ec. 4.2})$$

4.5 Variación en los factores de deshidratado de plátano

La caracterización de las variables del proceso de deshidratado de plátano, se realizó en base a los resultados de pérdida de peso, determinándose el contenido de humedad en base seca en función del tiempo. Donde se analizó la influencia del contenido de humedad, tiempo de pre-tratamiento, tipo de espesor de las rodajas de plátano y temperatura de secado.

Para determinar la variación del contenido de humedad en base seca, se ordenó la ecuación (2.2).

$$X = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde:

X = contenido de humedad en base seca (g agua/ g sólido seco)

m_i = masa inicial de las rodajas de plátano

m_{ss} = masa de sólido seco de las rodajas de plátano

Para realizar los cálculos del contenido de humedad en base seca se consideró la ecuación 4.4 para determinar la masa de sólido seco de las rodajas de plátano.

$$m_{ss} = m_i - m_i (X_{m_i}^{H_2O}) \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Donde:

$X_{m_i}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad de la materia prima

Para observar la influencia que tiene el tiempo de pre-tratamiento, tipo de espesor y la temperatura en el proceso de secado de las rodajas de plátano, se tomó en cuenta las variables en función del contenido de humedad como se detalla en la tabla 4.36.

Tabla 4.36

Control de la variación del contenido de humedad en el proceso de secado

Características	
En función de tiempo de pre-tratamiento:	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Corte 2 mm (E₁) tiempo de inmersión 90 min (Θ₁), 120 min (Θ₂) y 150 min (Θ₃) ◆ Corte 3 mm (E₂) tiempo de inmersión 90 min (Θ₁), 120 min (Θ₂) y 150 min (Θ₃)
En función al tipo de espesor:	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Corte de 2 mm (E₁) ◆ Corte de 3 mm (E₂)
En función de la temperatura:	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Corte de 2 mm (E₁) a temperatura entre 45 °C (T₁) y 55°C (T₂) ◆ Corte de 3 mm (E₂) a temperatura entre 45 °C (T₁) y 55°C (T₂)

Fuente: Elaboración propia

4.5.1. Influencia del tipo de corte a 45 °C en la variación del contenido de humedad de las rodajas de plátano

En la tabla 4.37, se muestran los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca de las rodajas de plátano, 2 mm (E₁)

(tabla E 1.1), 3 mm (E₂) (tabla E 1.2) a una temperatura de 45 °C (T₁) y un tiempo de pre-tratamiento de 90 minutos (Θ_1).

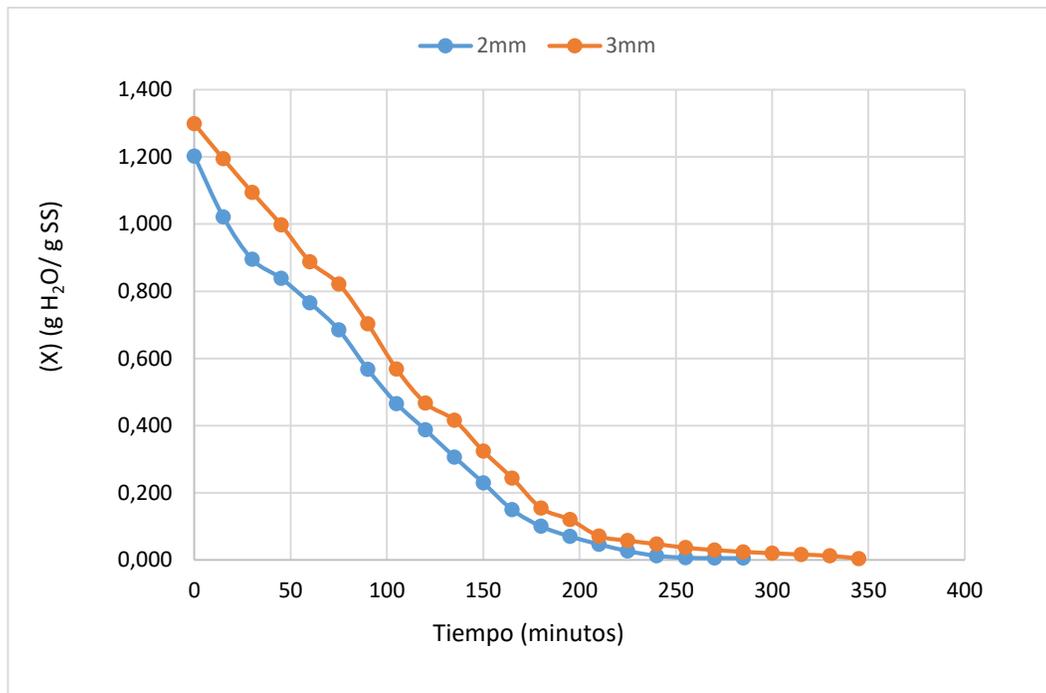
Tabla 4.37

Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 45 °C pre-tratamiento 90 minutos

Tiempo (min)	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₁	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₂
0	1,203	1,298
15	1,022	1,195
30	0,895	1,095
45	0,839	0,998
60	0,766	0,888
75	0,685	0,822
90	0,568	0,703
105	0,466	0,568
120	0,387	0,467
135	0,306	0,416
150	0,230	0,324
165	0,149	0,244
180	0,100	0,154
195	0,070	0,120
210	0,047	0,071
225	0,026	0,058
240	0,012	0,047
255	0,006	0,037
270	0,005	0,030
285	0,005	0,024
300		0,020
315		0,016
330		0,012

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.16, se muestran los resultados de variación de contenido de humedad en base seca en función al tipo de corte de las rodajas de plátano, datos extraídos de la tabla 4.37.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 45 °C y pre-tratamiento de 90 minutos

En la figura 4.16, se observa que a 45 °C (T_1) existe diferencia en el contenido de humedad en base seca en diferentes tipos de corte de las rodajas de plátano. Es decir para un tiempo de 195 minutos (tabla 4.37) el contenido de humedad en base seca en las rodajas de plátano de 2 mm (E_1) la temperatura de 45 °C (T_1) y pre-tratamiento de 90 min. (Θ_1), tiene una pérdida de agua de (0,070 g agua/g sólido seco) y 3 mm (E_2) a temperatura de 45 °C (T_1) tiene una pérdida de agua de (0,120 g agua /g sólido seco).

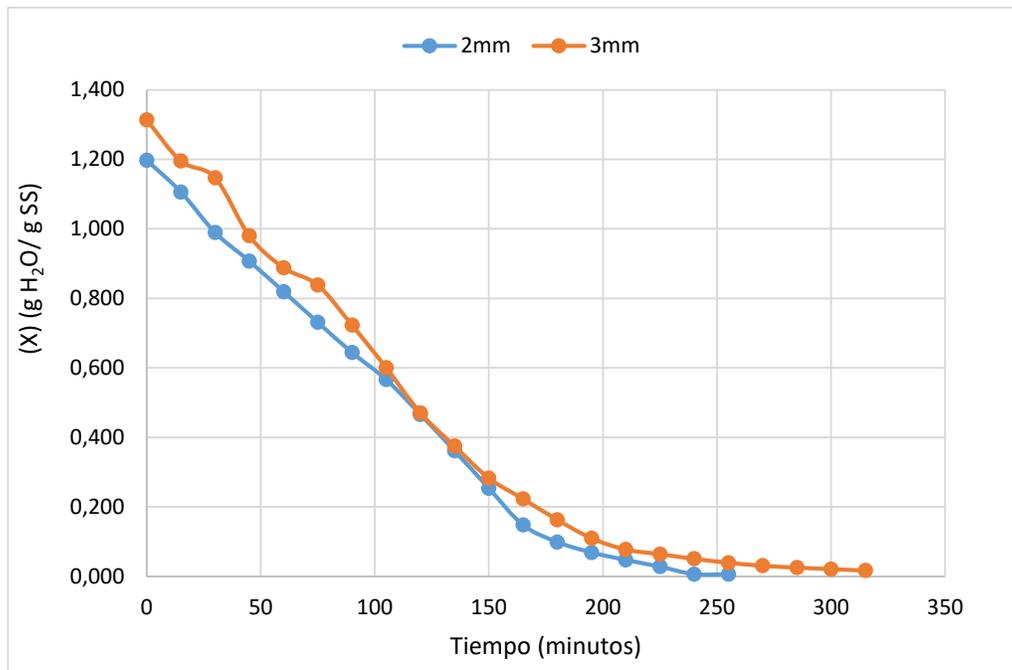
En la tabla 4.38, se muestran los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca de las rodajas de plátano, 2 mm (E_1) (tabla E 1.3), 3 mm (E_2) (tabla E 1.4) a una temperatura de 45 °C (T_1) y un tiempo de pre-tratamiento de 120 minutos (Θ_2).

Tabla 4.38
Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 45 °C pre-tratamiento 120 minutos

Tiempo (min)	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₁	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₂
0	1,197	1,314
15	1,106	1,195
30	0,989	1,147
45	0,907	0,980
60	0,819	0,888
75	0,731	0,838
90	0,644	0,723
105	0,566	0,601
120	0,466	0,470
135	0,361	0,375
150	0,254	0,283
165	0,148	0,223
180	0,099	0,163
195	0,069	0,110
210	0,047	0,077
225	0,028	0,064
240	0,028	0,051
255		0,039
270		0,031
285		0,025

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.17, se muestran los resultados de variación de contenido de humedad en base seca en función al tipo de corte de las rodajas de plátano, datos extraídos de la tabla 4.38.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 45 °C y pre-tratamiento de 120 minutos

En la figura 4.17, se observa que a 45 °C (T_1) existe diferencia en el contenido de humedad en base seca en diferentes tipos de corte de las rodajas de plátano. Es decir para un tiempo de 195 minutos (tabla 4.38) el contenido de humedad en base seca en las rodajas de plátano de 2 mm (E_1) la temperatura de 45 °C (T_1) y pre-tratamiento de 120 min. (Θ_2), tiene una pérdida de agua de (0,069 g agua/g sólido seco) y 3 mm (E_2) la temperatura de 45 °C (T_1) tiene una pérdida de agua de (0,110 g agua /g sólido seco).

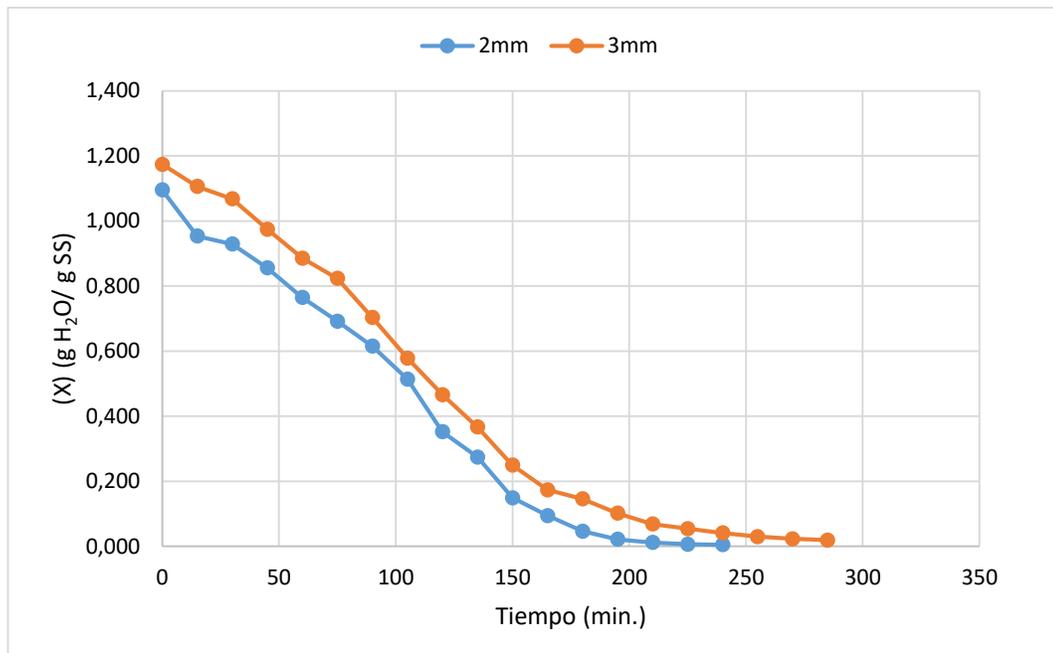
En la tabla 4.39, se muestran los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca de las rodajas de plátano, 2 mm (E_1) (tabla E 1.5), 3 mm (E_2) (tabla E 1.6) a una temperatura de 45 °C (T_1) y un tiempo de pre-tratamiento de 150 minutos (Θ_3).

Tabla 4.39
Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 45 °C pre-tratamiento 150 minutos

Tiempo (min)	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₁	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₂
0	1,095	1,174
15	0,954	1,106
30	0,929	1,068
45	0,856	0,975
60	0,765	0,885
75	0,692	0,824
90	0,615	0,703
105	0,514	0,578
120	0,352	0,466
135	0,274	0,367
150	0,149	0,249
165	0,094	0,174
180	0,046	0,146
195	0,022	0,102
210	0,012	0,068
225	0,006	0,054
240		0,041
255		0,030

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.18 se muestran los resultados de variación de contenido de humedad en base seca en función al tipo de corte de las rodajas de plátano, datos extraídos de la tabla 4.39.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 45 °C y pre-tratamiento de 150 minutos

En la figura 4.18, se observa que a 45 °C (T_1) existe diferencia en el contenido de humedad en base seca en diferentes tipos de corte de las rodajas de plátano. Es decir para un tiempo de 195 minutos (tabla 4.39) el contenido de humedad en base seca en las rodajas de plátano de 2 mm (E_1) la temperatura de 45 °C (T_1) y pre-tratamiento de 150 min. (Θ_1), tiene una pérdida de agua de (0,022 g agua/g sólido seco) y 3 mm (E_2) la temperatura de 45 °C (T_1) tiene una pérdida de agua de (0,102 g agua /g sólido seco).

Observando las figuras y las tablas se puede establecer que la influencia de las variables en la variación del contenido de humedad de las rodajas de plátano son más significativas para: espesor de 2 mm, pre-tratamiento de 150 minutos y temperatura de secado de 45 °C, donde la pérdida de agua es de 0,022 g agua/g sólido seco en comparación a 3mm de espesor, pre-tratamiento de 150 minutos y temperatura de secado de 45 °C, donde la pérdida de agua es de 0,102 g agua /g sólido seco.

4.5.2. Influencia del tipo de corte a 55 °C en la variación del contenido de humedad de las rodajas de plátano

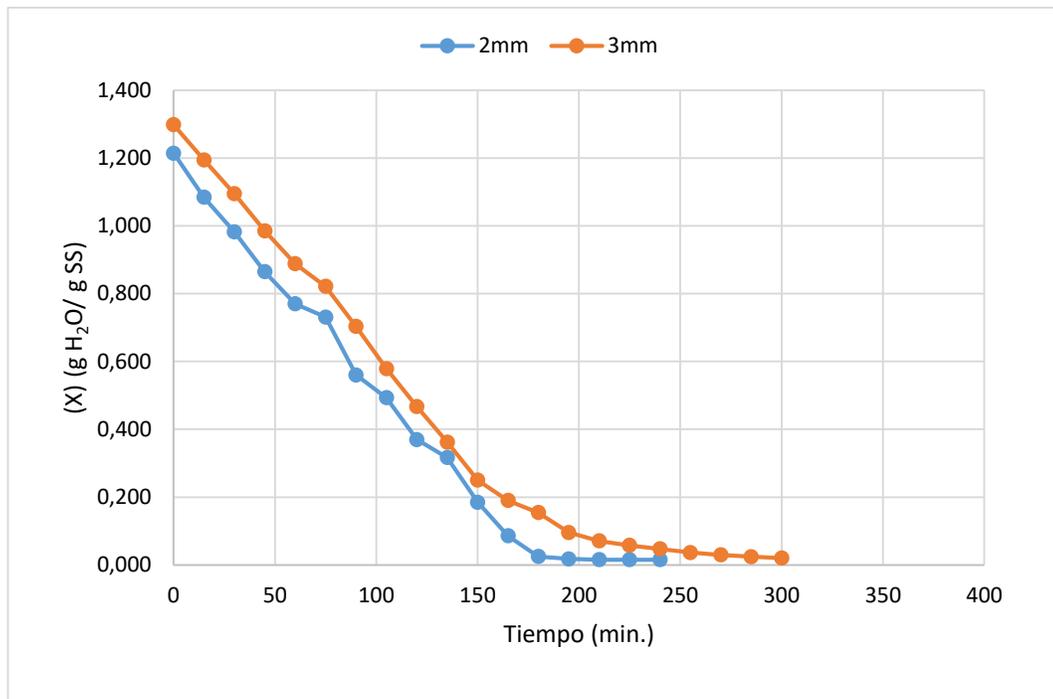
En la tabla 4.40, se muestran los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca de las rodajas de plátano, 2 mm (E₁) (tabla E 1.7), 3 mm (E₂) (tabla E 1.8) a una temperatura de 55 °C (T₂) y un tiempo de pre-tratamiento de 90 minutos (Θ_1).

Tabla 4.40
Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 55 °C pre-tratamiento 90 minutos

Tiempo (min)	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₁	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₂
0	1,215	1,298
15	1,084	1,195
30	0,982	1,095
45	0,865	0,985
60	0,770	0,888
75	0,731	0,822
90	0,560	0,703
105	0,493	0,579
120	0,370	0,467
135	0,317	0,362
150	0,185	0,250
165	0,086	0,190
180	0,025	0,154
195	0,017	0,094
210	0,016	0,071
225	0,016	0,058
240		0,047
255		0,037

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.19 se muestran los resultados de variación de contenido de humedad en base seca en función al tipo de corte de las rodajas de plátano, datos extraídos de la tabla 4.40.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19 Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 55 °C y pre-tratamiento de 90 minutos

En la figura 4.19, se observa que a 55 °C (T_1) existe diferencia en el contenido de humedad en base seca en diferentes tipos de corte de las rodajas de plátano. Es decir para un tiempo de 195 minutos (tabla 4.40) el contenido de humedad en base seca en las rodajas de plátano de 2 mm (E_1) la temperatura de 55 °C (T_1) y pre-tratamiento de 90 min. (Θ_1), tiene una pérdida de agua de (0,018 g agua/g sólido seco) y 3 mm (E_2) la temperatura de 45 °C (T_1) tiene una pérdida de agua de (0,096 g agua /g sólido seco).

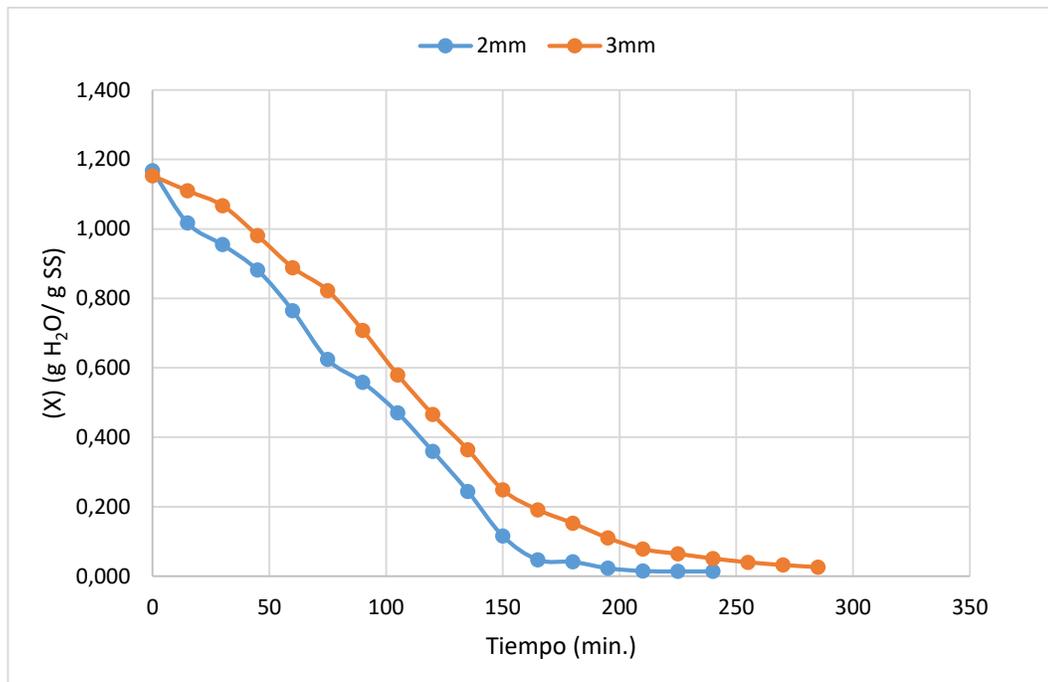
En la tabla 4.41, se muestran los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca de las rodajas de plátano, 2 mm (E_1) (tabla E 1.9), 3 mm (E_2) (tabla E 1.10) a una temperatura de 55 °C (T_1) y un tiempo de pre-tratamiento de 120 minutos (Θ_1).

Tabla 4.41
Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 55 °C pre-tratamiento 120 minutos

Tiempo (min)	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₁	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₂
0	1,167	1,153
15	1,017	1,109
30	0,954	1,067
45	0,881	0,980
60	0,765	0,888
75	0,624	0,822
90	0,558	0,707
105	0,470	0,579
120	0,359	0,465
135	0,244	0,364
150	0,115	0,248
165	0,047	0,191
180	0,041	0,152
195	0,023	0,110
210	0,015	0,077
225	0,013	0,064
240	0,013	0,051
255		0,040
270		0,032

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.20, se muestran los resultados de variación de contenido de humedad en base seca en función al tipo de corte de las rodajas de plátano, datos extraídos de la tabla 4.41.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20 Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 55 °C y pre-tratamiento de 120 minutos

En la figura 4.20, se observa que a 55 °C (T_1) existe diferencia en el contenido de humedad en base seca en diferentes tipos de corte de las rodajas de plátano. Es decir para un tiempo de 195 minutos (tabla 4.41) el contenido de humedad en base seca en las rodajas de plátano de 2 mm (E_1) a la temperatura de 55 °C (T_1) y pre-tratamiento de 120 min. (Θ_1), tiene una pérdida de agua de (0,023 g agua/g sólido seco) y 3 mm (E_2) a la temperatura de 55 °C (T_1) tiene una pérdida de agua de (0,110 g agua /g sólido seco).

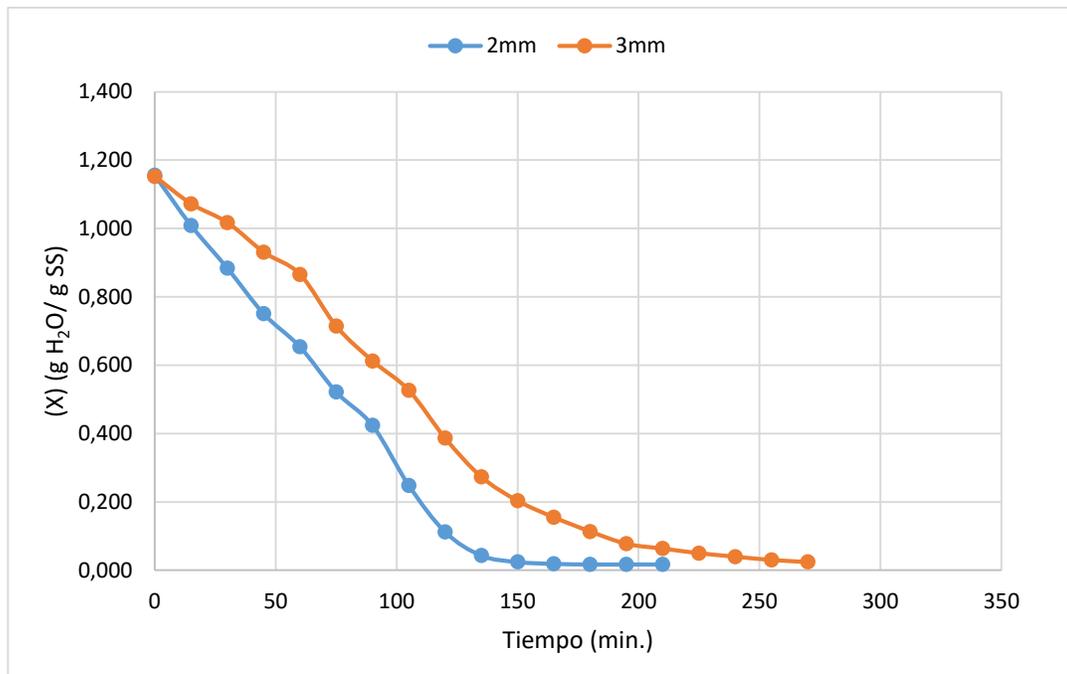
En la tabla 4.42, se muestran los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca de las rodajas de plátano, 2 mm (E_1) (tabla E 1.11), 3 mm (E_2) (tabla E 1.12) a una temperatura de 55 °C (T_1) y un tiempo de pre-tratamiento de 150 minutos (Θ_1).

Tabla 4.42
Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte para las rodajas de plátano a 55 °C pre-tratamiento 150 minutos

Tiempo (min)	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₁	Promedio de contenido de humedad en base seca de E ₂
0	1,155	1,152
15	1,009	1,072
30	0,884	1,017
45	0,751	0,931
60	0,654	0,866
75	0,522	0,714
90	0,424	0,612
105	0,248	0,526
120	0,112	0,387
135	0,043	0,273
150	0,024	0,203
165	0,019	0,155
180	0,018	0,113
195	0,017	0,077
210	0,017	0,063
225	0,017	0,050
240		0,040
255		0,030

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.21, se muestran los resultados de variación de contenido de humedad en base seca en función al tipo de corte de las rodajas de plátano, datos extraídos de la tabla 4.42.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21 Variación del contenido de humedad en función a los 2 tipos de corte a 55 °C y pre-tratamiento de 150 minutos

En la figura 4.21, se observa que a 55 °C (T_1) existe diferencia en el contenido de humedad en base seca en diferentes tipos de corte de las rodajas de plátano. Es decir para un tiempo de 195 minutos (tabla 4.42) el contenido de humedad en base seca en las rodajas de plátano de 2 mm (E_1) la temperatura de 55 °C (T_1) y pre-tratamiento de 150 min. (Θ_1), tiene una pérdida de agua de (0,017 g agua/g sólido seco) y 3 mm (E_2) la temperatura de 55 °C (T_1) tiene una pérdida de agua de (0,077 g agua /g sólido seco).

Observando las figuras y las tablas se puede establecer que la influencia de las variables en la variación del contenido de humedad de las rodajas de plátano son más significativas para: espesor de 2 mm, pre-tratamiento de 150 minutos y temperatura de secado de 55 °C, donde la pérdida de agua es de 0,017 g agua/g sólido seco en comparación a 3mm de espesor, pre-tratamiento de 150 minutos y temperatura de secado de 45 °C, donde la pérdida de agua es de 0,077 g agua /g sólido seco. Así mismo, se puede decir

que a mayor temperatura, tiempo de pre-tratamiento y cuanto menos sea el espesor la variación del contenido de humedad es más significativo.

4.6 Caracterización del producto final

Para caracterizar el plátano deshidratado se tomó en cuenta los siguientes parámetros

4.6.1 Análisis físicoquímico del plátano deshidratado obtenido

En la tabla 4.43, se muestran los resultados obtenidos del análisis físicoquímico realizado al plátano deshidratado (Anexo A).

Tabla 4.43

Análisis físicoquímico del plátano deshidratado

Parámetros	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	34,30
Ceniza	%	1,25
Fibra	%	0,05
Grasa	%	0,46
Hidratos de carbono	%	90,30
Humedad	%	15,30
Proteína	%	2,30
Valor energético	Kcal/100 g	375,9

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.43, se puede observar los resultados obtenidos del análisis físicoquímico del plátano deshidratado: azúcares totales 34,30 %; ceniza 1,25 %; fibra 0,05 %; grasas 0,46 %; hidratos de carbono 90,30 %; humedad 15,30 %; proteína 2,30 % y valor energético 375,9 Kcal/100 g.

4.6.2 Análisis microbiológico del plátano deshidratado

En la tabla 4.44, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del plátano deshidratado (Anexo A).

Tabla 4.44

Análisis microbiológico del plátano deshidratado

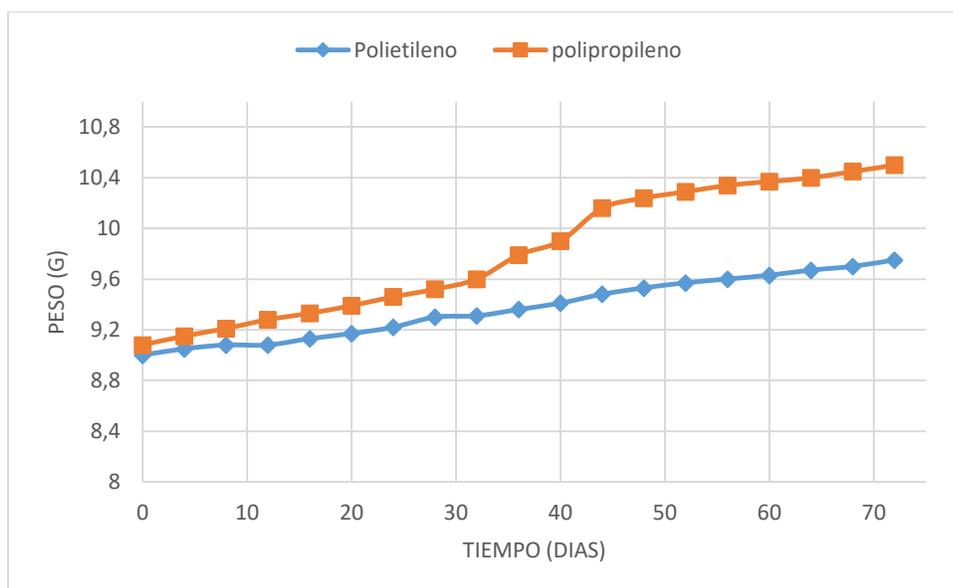
Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UFC/g	$< 1,0 * 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 * 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$1,7 * 10^2$

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.44, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico del plátano, donde presenta $<1,0*10^1$ ufc/g de coliformes fecales, $<1,0*10^1$ ufc/g de coliformes totales y $1,7 * 10^2$ ufc/g de mohos y levaduras.

4.6.3 Variación de peso del producto almacenado

En la figura 4.22, se muestra el control de la variación de peso del plátano deshidratado, envasado al vacío en bolsas de polipropileno y polietileno de 80 micras, almacenadas en una caja de carton durante 72 días en condiciones normales de temperatura, humedad y presión.



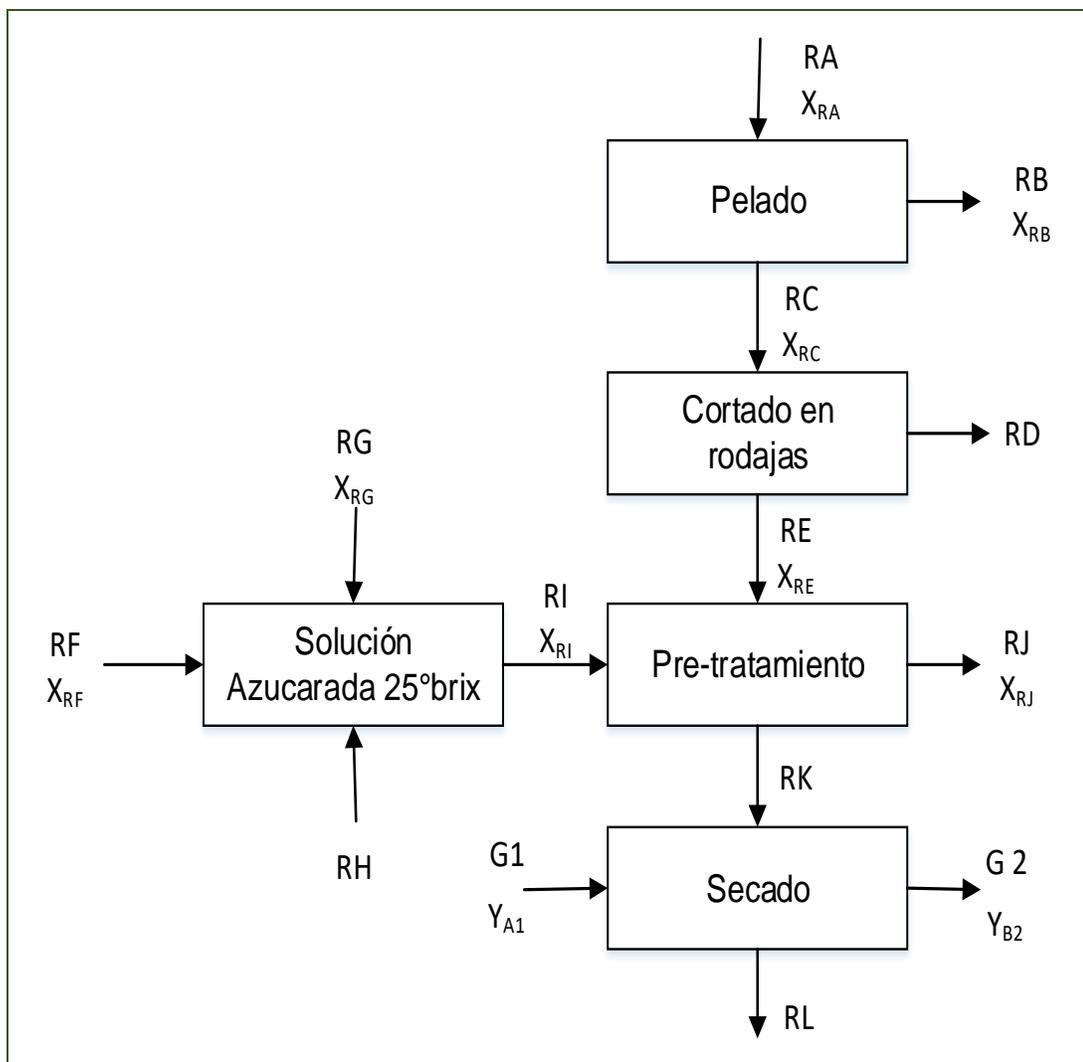
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22 Variación del peso según el tipo de envase

En la figura 4.22, se puede observar que el plátano deshidratado envasado al vacío en bolsas de polietileno adquiere menos humedad en comparación con el envase de polipropileno para en tiempo de 72 días.

4.8 Balance de materia para el proceso de obtención de plátano deshidratado

El balance de materia para el proceso de obtención de plátano deshidratado, se realizó tomando en cuenta el diagrama de bloques representado en la figura 4.23



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23 Balance de materia para el proceso de obtención de plátano deshidratado

Donde:

RA = Cantidad de materia prima (g)

RB = Cantidad de porción no comestible (%)

RC = Cantidad de porción comestible (%)

RD = Cantidad de residuos (g)

RE = Cantidad de rodajas útiles (%)

RF = Cantidad de sacarosa (g)

RG = Cantidad de glucosa (g)

RH = Cantidad de agua (g)

RI = Cantidad de solución azucarada (g)

RJ = Cantidad de solución residual (g)

RK = Cantidad de plátano despues del pre-tratamiento (g)

G1 = Cantidad de aire caliente (g)

Y_{A1} = Humedad absoluta (kg de agua/kg de aire)

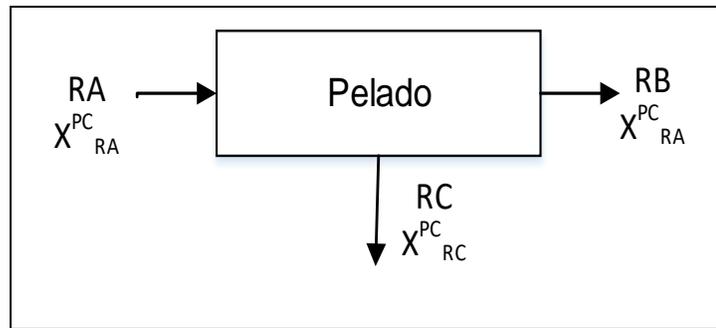
G2 = Cantidad de aire húmedo (g)

Y_{A2} = Humedad absoluta;(kg de agua/kg de aire)

RL = Cantidad de rodajas de plátano deshidratado (g)

4.8.1 Balance de materia en el proceso de pelado del plátano

En la figura 4.24, se muestra el balance de materia en el proceso de pelado de la materia prima, el balance de materia se realizó con 1971,00 g de plátano. La porción comestible del plátano presenta un promedio de 59.32 % dato extraído del la tabla 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24 Balance de materia en el proceso de pelado

Balance global de materia en el proceso de pelado:

$$RA = RC + RB \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Donde:

$$RA = 1971,00 \text{ g} \quad X_{RC}^{PC} = 0,5$$

Balance parcial para la porción comestible de plátano

$$RA \cancel{X_{RA}^{PC}} = RC X_{RC}^{PC} + RB \cancel{X_{RB}^{PC}} \quad (\text{Ec. 4.6})$$

Despejando RC de la ecuación (4.5)

$$RC = \frac{RA}{X_{RC}^{PC}} \quad (\text{Ec. 4.7})$$

$$\text{Por lo tanto: } RC = \frac{1971,00 \text{ g}}{0,5932} = 1351,66 \text{ g}$$

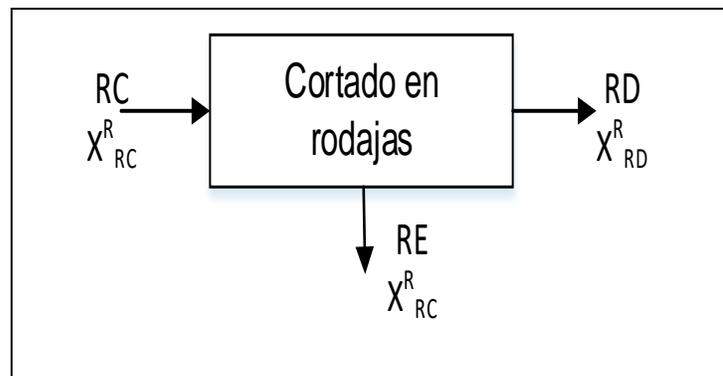
Despejando RB de la ecuación (4.5)

$$RB = RA - RC \quad (\text{Ec. 4.8})$$

$$\text{Por lo tanto: } RB = 1971,00 \text{ g} - 1351,66 \text{ g} = 620,02 \text{ g}$$

4.8.2 Balance de materia en el proceso de cortado del plátano en rodajas

En la figura 4.25, se muestra el balance de materia en el proceso de cortado del plátano en rodajas, para el balance de materia se tomó en cuenta una pérdida de plátano de 14,09 %



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25 Balance de materia en el proceso de cortado en rodajas

Balance global de materia en el cortado de rodajas de plátano

$$RC = RE + RD \quad (\text{Ec. 4.9})$$

Donde:

$$RC = 1351,66 \text{ g} \quad X_{RD}^R = 0,1409$$

Balance parcial para rodajas en al cortado del plátano

$$RC X_{RC}^R = RE X_{RE}^R + RD X_{RD}^R \quad (\text{Ec. 4.10})$$

$$\text{Por lo tanto: } RD = 1351,66 \text{ g} * (0,1409) = 1161,21 \text{ g}$$

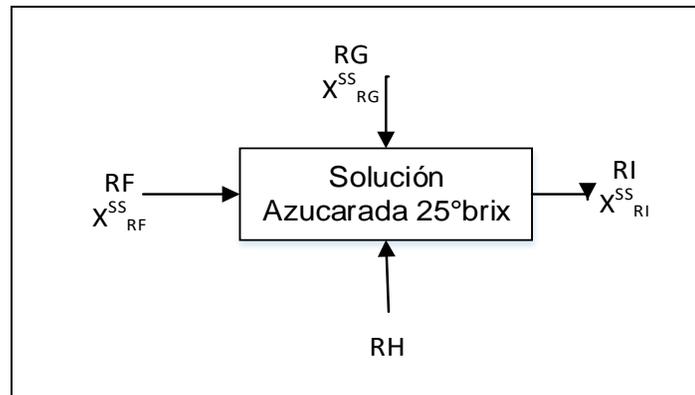
Despejando RD de la ecuación (4.9)

$$RD = RC - RE \quad (\text{Ec. 4.11})$$

$$\text{Por lo tanto: } RD = 1351,66\text{g} - 1161,21\text{g} = 190,45 \text{ g}$$

4.8.3 Balance de materia en la preparación de la solución azucarada

En la figura 4.26, se muestra el balance de materia en la preparación de la solución azucarada, el balance de materia se realizó con 562,22 g de sacarosa y 301,00 g se glucosa con una fracción de 0,73 (Aditivos Alimentarios).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26 Balance de materia en la preparación de la solución azucarada

Balance global de materia en la preparación del jarabe

$$RF + RG + RH = RI \quad (\text{Ec. 4.12})$$

Donde:

$$RF = 562,22 \text{ g} \quad X_{RF}^{SS} = 1$$

$$RG = 301,00 \text{ g} \quad X_{RG}^{SS} = 0,73$$

Balance parcial de sólidos en la preparación de la solución

$$RF X_{RF}^{SS} + RG X_{RG}^{SS} = RI X_{RI}^{SS} \quad (\text{Ec. 4.13})$$

$$\text{Por lo tanto: } RI = \frac{(562,22 \text{ g} * 1) + (301,00 \text{ g} * 0,73)}{0,25} = 3127,88 \text{ g}$$

Despejando RH de la ecuación (4.12)

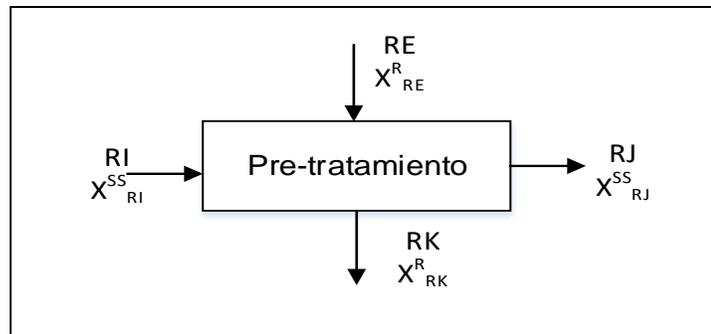
$$RH = RI - RF - RG \quad (\text{Ec. 4.14})$$

$$\text{Por lo tanto: } RH = 3127,88 \text{ g} - 562,22 \text{ g} - 301,00 \text{ g} = 2264,66 \text{ g}$$

4.8.4 Balance de materia en el pre-tratamiento

En la figura 4.27, se muestra el balance de materia en el proceso de pre-tratamiento, el balance de materia se realizó con 1161,21 g de rodajas de

plátano, 3127,88 g de solución azucarada y sale 78 % de rodajas de platano después del pre-tratamiento.



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.27 Balance de materia en el pre-tratamiento

Balance global de materia en el pre-tratamiento de rodajas de plátano

$$RI + RE = RJ + RK \quad (\text{Ec. 4.15})$$

Donde:

$$RI = 3127,88 \text{ g} \quad X_{RK}^R = 0,78$$

$$RE = 1161,21 \text{ g} \quad X_{RE}^{SS} = 0,25$$

Balance parcial para rodajas de plátano en el pre-tratamiento

$$RE X_{RE}^R = RK X_{RK}^R \quad (\text{Ec. 4.16})$$

$$\text{Por lo tanto: } RK = 1161,21\text{g} * 0,78 = 905,74 \text{ g}$$

Despejando RJ de la ecuación (4.15)

$$RJ = RI + RE - RK \quad (\text{Ec. 4.17})$$

$$\text{Por lo tanto: } RJ = 3127,88\text{g} + 1161,21\text{g} - 905,7\text{g} = 3383,39 \text{ g}$$

Balance parcial de sólidos en la solución azucarada

$$RI X_{RI}^{SS} = RJ X_{RJ}^{SS} \quad (\text{Ec. 4.18})$$

$$\text{Por lo tanto: } RJ = \frac{3127,88\text{g} * 0,25}{3383,39\text{g}} = 0,23$$

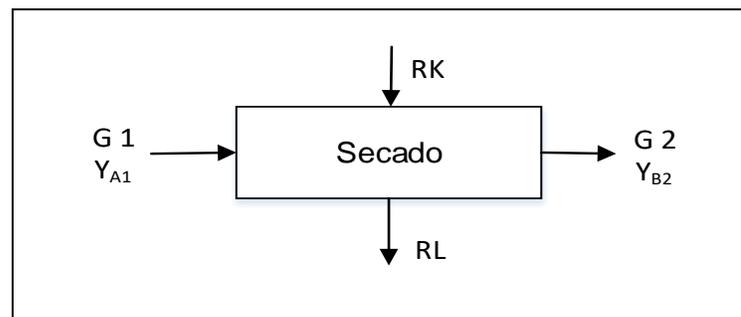
Balance parcial de sólidos en las rodajas de plátano

$$RE X_{RE}^{SS} = RK X_{RK}^{SS} \quad (\text{Ec. 4.19})$$

$$\text{Por lo tanto: } RK = \frac{1161,21\text{g} * 0,23}{905,74\text{g}} = 0,298$$

4.8.5 Balance de materia en el proceso de secado

En la figura 4.28, se muestra el balance de materia en el proceso de secado de las rodajas de plátano, para tal efecto se tomó en cuenta el contenido de humedad en base húmeda, contenido de humedad en base seca y condiciones del aire.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Balance de materia en el proceso de secado

Balance global en el proceso de secado se tomó en cuenta la ecuación 4.20 citado por (Valiente, 1994).

$$RK + G_1 = RL + G_2 \quad (\text{Ec. 4.20})$$

Dónde:

$$RK = 905,74 \text{ g}$$

$$RL = 355,05 \text{ g}$$

Balance parcial de materia para humedad en base seca en el proceso de secado se tomó en cuenta la ecuación 4.21 citado por (Valiente, 1994).

$$L_1 X^S_1 + L_2 X^S_2 = L_3 X^S_3 + L_4 X^S_4 \quad (\text{Ec. 4.21})$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.21 tenemos:

$$RK X_{RK}^S + G_1 Y_{A1} = RL X_{RL}^S + G_2 Y_{A2} \quad (\text{Ec. 4.22})$$

Considerando un sistema abierto según (Valiente, 1994) tenemos:

$$m_{SS} = RK = RL \quad \text{Cantidad de materia seca (g)}$$

$$G = G_1 = G_2 \quad \text{Cantidad de aire seco (g)}$$

La cantidad de materia seca (m_{SS}) es de 355,05 g (para una cantidad de 905,74 g de rodajas de plátano).

Reemplazando variables en la ecuación 4.22 tenemos:

$$m_{SS} X_{RK}^S + G Y_{A1} = m_{SS} X_{RL}^S + G Y_{A2} \quad (\text{Ec. 4.23})$$

Ordenando las variables de la ecuación 4.23 tenemos:

$$m_{SS} X_{RK}^S - m_{SS} X_{RL}^S = G Y_{A2} - G Y_{A1} \quad (\text{Ec. 4.24})$$

Factorizando m_{SS} y G tenemos:

$$m_{SS} (X_{RK}^S - X_{RL}^S) = G (Y_{A2} - Y_{A1}) \quad (\text{Ec. 4.25})$$

Despejando G tenemos:

$$G = \frac{m_{SS} * (X^{RK} - X^{RL})}{Y_1 - Y_2} \quad (\text{Ec. 4.26})$$

Según (Zrazhevskiy, 2013), la altura de la ciudad de Tarija es de 1866 msnm; y los datos fueron introducidos en el software Akton de psicrometría el cual se detalla en la tabla 4.45, los resultados de las propiedades psicrométricas en base temperatura de bulbo seco (Tbs) y bulbo húmedo (Tbh) en la entrada y salida del secador.

Tabla 4.45

Propiedades psicométricas del aire

Propiedades	Aire frío	Aire caliente	Aire saturado
Tbs (°C)	19 °C	60 °C	27 °C
Tbh (°C)	11 °C	24 °C	16 °C
HR (%)	41,1	6,00	35,6
Y (kg agua/kg de aire)	0,00701	0,00922	0,00986
H (kj/kg)	36,84	84,36	52,21
Ve (m ³ /kg)	1,049	1,2	1,082

Fuente: Elaboracion propia

Donde:

Tbs = Temperatura de bulbo seco (°C)

Y = Humedad absoluta (kg agua/kg aire)

H = Entalpia (kj/kg)

Ve = Volumen específico (m³/kg)

Para calcular la cantidad de agua en el secado, se utilizó la ecuación 4.28, citado por (Valiente, 1994).

$$AE = S (W_1 - W_2) \quad (\text{Ec. 4.27})$$

Dónde:

AE= Cantidad de agua evaporada (g)

W₁ =Contenido de humedad en base seca del alimento (g agua/g sólido seco).

W₂= Contenido de humedad en base seca del producto (g agua/g sólido seco).

Reordenando la ecuación 4.27 en función del contenido de humedad tenemos:

$$AE = m_{SS} (X_{RK} - X_{RL}) \quad (\text{Ec. 4.28})$$

Dónde:

X_{MI} = 1,197 g agua/g sólido seco, tomado de la tabla E.1.3 (Anexo E)

X_{ML} = 0,069 g agua/g sólido seco, tomado de la tabla E.1.3 (Anexo E).

Por lo tanto:

$$AE = 355,05 \text{ g } (1,197 - 0,069) \text{ g agua/g sólido seco.}$$

AE = 400,50 g de agua evaporada en el proceso de secado.

Reemplazando A de la ecuación 4.26 tenemos:

$$A = \frac{400,50 \text{ g agua}}{(0,00986 - 0,00701) \frac{\text{g agua}}{\text{g aire seco}}} = 140526,32 \text{ g aire seco} = 140,53 \text{ kg aire seco}$$

$$A = \frac{140,53 \text{ g aire seco}}{3,25 \text{ h}} = 43,24 \text{ g aire seco/h}$$

Para calcular la cantidad de caudal de aire, se tomó en cuenta la ecuación 4.29 citado por (Valiente, 1994). El volumen específico del aire fue extraído de la tabla 4.48; siendo el volumen específico $V_e = 1,049 \text{ m}^3/\text{Kg}$.

$$G_1 = G * V_e \quad (\text{Ec. 4.29})$$

Dónde:

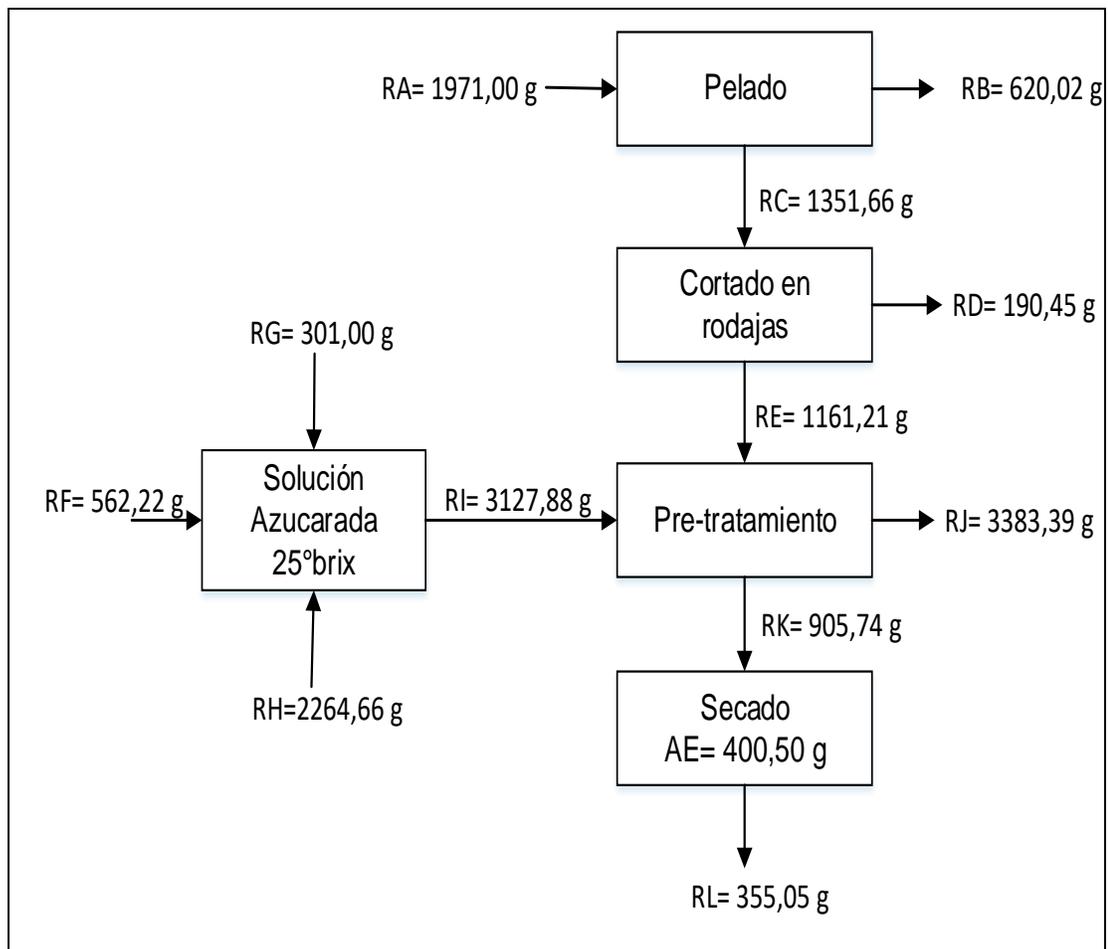
$$G_1 = \text{Volumen del aire seco (m}^3/\text{min)}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.29 tenemos:

$$G_1 = 43,24 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1,049 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \longrightarrow G_2 = 45,36 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,77 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

4.8.6 Resumen general del balance de materia para la obtención de plátano deshidratado

En la figura 4.29 Se muestran el resumen general del balance de materia para la obtención de plátano deshidratado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29 Resumen general del balance de materia para la obtención de plátano deshidratado

4.9 Balance de energía en el proceso de obtención de plátano deshidratado

El balance de energía se realizó en el proceso de pre-tratamiento y secado de las rodajas de plátano

4.9.1 Balance de energía en el proceso de pre-tratamiento

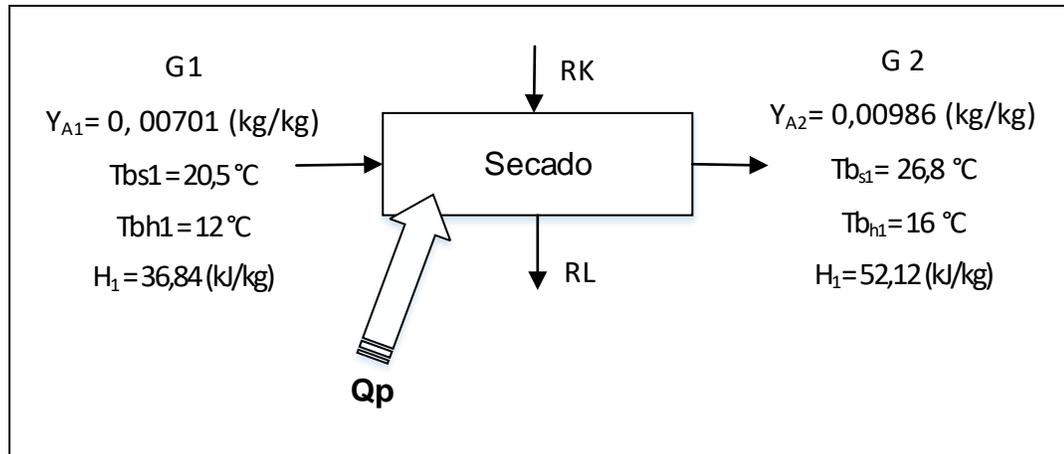
Para el pre-tratamiento se utilizó un termostato con una potencia de 270 W. En base a la ecuación 4.30 citada por (Valiente, 1994) la energía eléctrica necesaria para realizar el pre-tratamiento por 2 horas es:

$$E = 270 \frac{J}{s} * 7200 s \quad (\text{Ec. 4.30})$$

La cantidad de energía necesaria para realizar el pre-tratamiento es de 464,32 Kcal.

4.9.2 Balance de energía en el proceso de secado

En la figura 4.30 se muestra el balance de energía en el proceso de secado de las rodajas de plátano



Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.30 Balance de energía en el proceso de secado de rodajas de plátano

Donde:

RK = Cantidad de plátano después del pre-tratamiento (g)

G_1 = Cantidad de aire caliente a la entrada del secador (g)

Y_{A1} = Humedad absoluta (kg de agua/kg de aire)

T_{bs1} = Temperatura de bulbo seco a la entrada del secador (°C)

T_{bh1} = Temperatura de bulbo húmedo a la entrada del secador (°C)

H_1 = Entalpía del aire frío (Kcal/kg)

G_2 = Cantidad de aire húmedo (g)

Y_{A2} = Humedad absoluta (kg de agua/kg de aire)

T_{bs2} = Temperatura de bulbo seco a la salida del secador ($^{\circ}\text{C}$)

T_{bh2} = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del secador ($^{\circ}\text{C}$)

H_2 = Entalpia del aire caliente (Kcal/kg)

RL = Cantidad de rodajas de plátano deshidratado (g)

Balance de materia se detalla en la ecuación 4.31:

$$RK + A_1 = RL + A_2 \quad (\text{Ec. 4.31})$$

Balance combinado de materia-energía en el proceso de secado según (Valiente, 1994) se lo detalla en la ecuación 4.32:

$$RK H_{RK} + A_1 H_{A1} = RL H_{RL} + A_2 H_{A2} - Q_P \quad (\text{Ec. 4.32})$$

Considerando un sistema abierto tenemos:

$$m_{SS} = RK = RL \quad \text{Cantidad de materia seca (kg)}$$

$$A = A_1 = A_2 \quad \text{Cantidad de aire (kg)}$$

La cantidad de materia seca (m_{SS}) es de 355,05 g (para una cantidad de 905,74 g de rodajas de plátano).

Reemplazando variables en la ecuación 4.32 tenemos:

$$m_{SS} H_{RK} + A_1 H_{A1} = m_{SS} H_{RL} + A_2 H_{A2} - Q_P \quad (\text{Ec. 4.32})$$

Ordenando las variables de la ecuación 4.32 tenemos:

$$m_{SS} H_{RK} - m_{SS} H_{RL} = A H_{A2} - A H_{A1} - Q_P \quad (\text{Ec. 4.34})$$

Factorizando Q_P tenemos:

$$Q_P = A (H_{A2} - H_{A1}) - m_{SS} (H_{RK} - H_{RL}) \quad (\text{Ec. 4.35})$$

Tenemos:

Q_P = Calor necesario para deshidratar las muestras de plátano (Kcal)

A = Cantidad de aire a la entrada del secador (kg)

H_{A2} = Entalpía del aire a la salida del secador (kj/kg)

H_{A1} = Entalpía del aire a la entrada del secador (kj/kg)

m_{SS} = Cantidad de materia seca (kg)

H_{RK} = Entalpía del alimento (kj/kg)

H_{RL} = Entalpía del producto (kj/kg)

Para obtener el H_{RK} y H_{RL} tenemos la ecuación 4.36 y ecuación 4.37 citada por (Ramirez, 2011).

$$H_{RK} = (C_{pp} + X_{RK} * C_{p_{agua}}) T_{HRK} + H_0 \quad (\text{Ec. 4.36})$$

$$H_{RL} = (C_{p_{RL}} + X_{RL} * C_{p_{agua}}) T_{HRL} + H_0 \quad (\text{Ec. 4.37})$$

Dónde:

C_{pp} = Calor específico del alimento (kj/Kcal °K)

X_{RK} = Contenido de humedad en base seca del alimento (kg sólido seco)

$C_{p_{agua}}$ = Calor específico del agua (Kj/Kcal °K)

T_{HRK} = Temperatura del alimento en la entrada del secador (°K)

$C_{p_{RL}}$ = Calor específico del producto (Kj/Kcal °K)

X_{RL} = Contenido de humedad en base seca del producto (kg de sólido seco)

T_{HRL} = Temperatura del producto en la salida del secador (°K)

Para determinar el calor específico del producto ($C_{p_{RL}}$), se tomó en cuenta la ecuación 4.38 citada por (Lewis, 1993).

$$C_{pRL} = x_a * C_{p_a} + x_s * C_{p_s} \quad (\text{Ec. 4.38})$$

Dónde:

x_a = Fracción de masa de agua

C_{p_a} = Calor específico del agua (Kj/Kcal °K)

x_s = Fracción de masa de los sólidos

C_{p_s} = Calor específico de los sólidos (Kj/Kcal °K)

Para determinar el calor específico de las muestras de plátano, se tomó en cuenta la ecuación 4.39 citado por (Quisbert, 2013).

$$C_{p_p} = X_a * C_{p_a} + X_c * C_{p_c} + X_p * C_{p_p} + X_g * C_{p_g} + X_{ce} * C_{p_{ce}} + X_f * C_{p_f} \quad (\text{Ec. 4.39})$$

Donde:

X_a = Fracción de la masa de agua

C_{p_a} = Calor específico del agua (Kj/kg °K)

X_c = Fracción de la masa de los carbohidratos

C_{p_c} = Calor específico de los carbohidratos (Kj/kg °K)

X_p = Fracción de la masa de las proteínas

C_{p_p} = Calor específico de las proteínas (Kj/kg °K)

X_g = Fracción de la masa de las grasas

C_{p_g} = Calor específico de de las grasas (Kj/kg °K)

X_{ce} = Fracción de la masa de las cenizas

$C_{p_{ce}}$ = Calor específico de las cenizas (Kj/kg °K)

X_f = Fracción de la masa de fibra

C_{p_f} = Calor específico de de fibra (Kj/kg °K)

De acuerdo a datos tenemos:

$$X_a = 0,6080 \text{ (tabla 4.3)}$$

$$C_{p_a} = 4,18 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{K} \text{ (Quisbert, 2013)}$$

$$X_c = 0,3463 \text{ (tabla 4.3)}$$

$$C_{p_c} = 1,3 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{K} \text{ (Quisbert, 2013)}$$

$$X_p = 0,0138 \text{ (tabla 4.3)}$$

$$C_{p_p} = 1,2 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{K} \text{ (Quisbert, 2013)}$$

$$X_g = 0,0004 \text{ (tabla 4.3)}$$

$$C_{p_g} = 1,8 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{K} \text{ (Quisbert, 2013)}$$

$$X_{ce} = 0,0085 \text{ (tabla 4.3)}$$

$$C_{p_{ce}} = 0,8 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{K} \text{ (Quisbert, 2013)}$$

$$X_f = 0,0230 \text{ (tabla 4.3)}$$

$$C_{p_f} = 1,5 \text{ Kj/kg } ^\circ\text{K} \text{ (Quisbert, 2013)}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.39 tenemos:

$$C_{p_p} = 0,6068 * 4,18 \frac{\text{Kj}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} + 0,3463 * 1,3 \frac{\text{Kj}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} + 0,0138 * 1,2 \frac{\text{Kj}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} + 0,0004 * 1,8 \frac{\text{Kj}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} +$$

$$0,0084 * 0,8 \frac{\text{Kj}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} + 0,0230 * 0,8 \frac{\text{Kj}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} \quad C_{p_p} = 3,02 \frac{\text{Kj}}{\text{kg } ^\circ\text{K}}$$

Tenemos:

$$x_a = 0,153 \text{ extraído del Anexo A}$$

$$C_{p_a} = 4,18 \text{ Kj/Kcal } ^\circ\text{K} \text{ extraído (Lewis, 1993)}$$

$$x_s = 0,847$$

$$C_{p_s} = 1,46 \text{ Kj/Kcal } ^\circ\text{K} \text{ extraído (Lewis, 1993)}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.38 tenemos:

$$C_{pRL} = 0,153 * 4,18 \frac{Kj}{kg \text{ } ^\circ K} + 0,847 * 1,46 \frac{Kj}{kg \text{ } ^\circ K}$$

$$C_{pRL} = 1,88 \frac{Kj}{kg \text{ } ^\circ K}$$

Tenemos:

$$C_{pp} = 3,02 \text{ Kj/Kcal } ^\circ K$$

$$X_{RK} = 1,197 \text{ kg agua/kg sólido seco extraído de la tabla E.1.3 (Anexo E)}$$

$$C_{p\text{agua}} = 4,18 \text{ Kj/Kcal } ^\circ K$$

$$T_{HRK} = 19 \text{ } ^\circ C = 292 \text{ } ^\circ K$$

$$C_{pRL} = X_{MI} = 1,88 \text{ kg agua/Kg solido seco}$$

$$X_{RL} = 0,069 \text{ kg agua/kg sólido seco extraído de la tabla E.1.3 (Anexo E)}$$

$$T_{HRL} = 60 \text{ } ^\circ C = 333 \text{ } ^\circ K$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.36 tenemos:

$$H_{RK} = \left[3,02 \frac{Kj}{kg \text{ } ^\circ K} + \left(1,197 \frac{Kg \text{ agua}}{kg \text{ solido seco}} * 4,18 \frac{Kj}{kg \text{ } ^\circ K} \right) \right] * 292 \text{ } ^\circ K$$

$$H_{RK} = 1464,03 \frac{Kj}{kg}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.37 tenemos:

$$H_{RL} = \left[1,88 \frac{Kj}{kg \text{ } ^\circ K} + \left(0,069 \frac{Kg \text{ agua}}{kg \text{ solido seco}} * 4,18 \frac{Kj}{kg \text{ } ^\circ K} \right) \right] * 333 \text{ } ^\circ K$$

$$H_{RL} = 97,92 \frac{Kj}{kg}$$

Tenemos:

$$A = 140,53 \text{ kg de aire seco}$$

$$H_{A1} = 36,84 \frac{Kj}{kg} \text{ extraído de la tabla 4.48}$$

$$H_{A2} = 52,21 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}} \text{ extraído de la tabla 4.48}$$

$$m_{SS} = 355,05 \text{ g}$$

$$H_{RK} = 1464,03 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$$

$$H_{RL} = 97,92 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.35 tenemos:

$$Q_P = 140,53 \text{ kg} \left(52,21 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}} - 36,84 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}} \right) - 0,3551 \text{ kg} (1464,03 - 97,92) \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$$

$$Q_P = 1674,84 \text{ Kj} \longrightarrow 400,68 \text{ Kcal}$$

El calor necesario que se requiere en el proceso de secado de las muestras de plátano es de 400,68 Kcal para 1971,00 g de plátano.