

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

3.5. DESCRIPCIÓN DEL BANANO ORGÁNICO

El banano es una fruta parte no cárpica, por ser un fruto climatérico continua madurando después de la cosecha; su forma, color y tamaño es particular en la variedad Cavendish. El banano está constituido por almidones y taninos, cuando madura la pulpa contiene 70 % de agua y es rica en carbohidratos fácilmente digeribles, contiene un bajo contenido de proteínas y grasas pero es fuente de vitaminas A, B1, B2 Y C. Durante la madurez la cáscara cambia de color verde a amarillo. La pulpa se suaviza desde el centro hacia fuera y desde la punta hacia el pedúnculo, porque los almidones se transforman en azúcares, disminuyendo notablemente los taninos (Guerrero, D. et al., 2012).

Figura 1-1 Banano verde (variedad Cavendish)



Fuente: Wikipedia, 2008.

1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BANANO

En la tabla I-1 se podrá conocer la composición del valor nutricional del banano, reportados en la Tabla Boliviana de Composición de Alimentos:

Tabla I-1 Composición del valor nutricional de la pulpa de banano

| COMPOSICIÓN DEL BANANO POR CADA 100 g | | | |
|---------------------------------------|----------|--------------------|---------|
| Energía | 114 kcal | Calcio | 9.6 g |
| Humedad | 72.42 g | Hierro | 2.69 g |
| Proteína | 1.77 g | Fosforo | 30.6 g |
| Grasa | 1.35 g | Tiamina | 0.04 mg |
| Hidratos de carbono | 23.67 g | Riboflavina | 0.03 mg |
| Fibra | 0.46 g | Vitamina C | 8.50 mg |
| Ceniza | 0.80 g | Vitamina A | 41.2 mg |

Fuente: TABLA BOLIVIANA DE COMPOSICIÓN DE ALIMENTOS, 2005

A continuación adjuntamos una tabla más completa de la composición química del banano de Ecuador:

Tabla I-2 Composición química de la pulpa de banano

| COMPOSICIÓN DEL PLÁTANO POR CADA 100 gr. | | | |
|--|------------|-----------------------------------|------------|
| Agua | 74, 2 gr. | Magnesio | 29 mg |
| Energía | 92 kcal. | Calcio | 6 mg |
| Grasa | 0, 48 gr. | Zinc | 0,16 mg |
| Proteína | 1. 03 gr. | Selenio | 1,1 mg |
| Hidratos de carbono | 23, 43 gr. | Vitamina C | 9,1 mg |
| Fibra | 2, 4 gr. | Vitamina A | 81 IU |
| Potasio | 396 mg | Vitamina B1 (Tiamina) | 0, 045 mg. |
| Fósforo | 20 mg | Vitamina B2 (Riboflavina) | 0,10 mg |
| Hierro | 0, 31 mg | Vitamina E | 0,27 mg |
| Sodio | 1 mg | Niacina | 0.54 mg |

Fuente: INIAP. Ecuador, 2004.

1.3. USOS Y APLICACIONES DEL BANANO

1.3.1. PROPIEDADES TERAPÉUTICAS

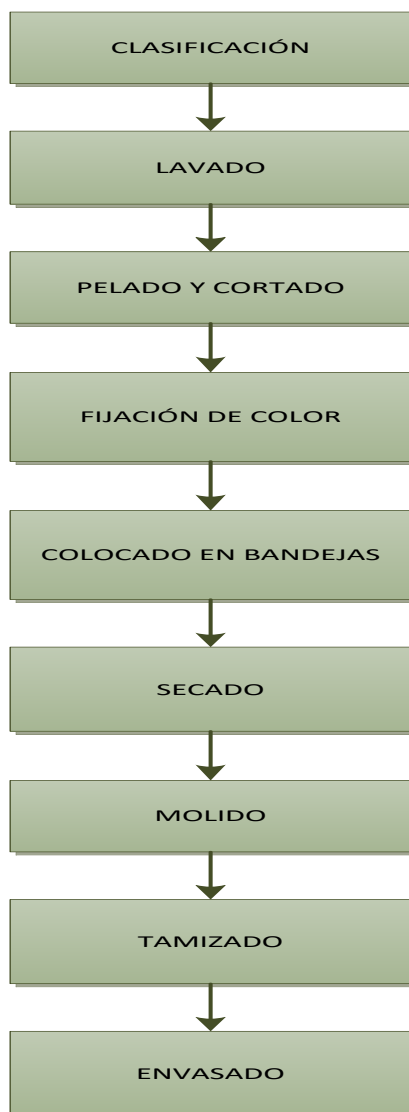
Según Guerrero, D. et al., (2012), el banano es una de las frutas más bondadosas de la naturaleza, rico en nutrientes, especialmente potasio, vitamina B6 y ácido fólico.

- Es de fácil digestión, lo cual para niños enfermos y convalecientes es de gran ayuda.
- Ideal para las personas que desarrollan actividades físicas de alto rendimiento, tales como los deportistas.
- Aconsejable contra el colesterol.
- Beneficioso contra problemas de estómago y úlceras.
- Previene los calambres de los deportistas por el potasio.
- Contribuye a la salud estética de las personas.
- Puede disminuir los niveles de estrés.

1.4. PROCESOS DE ELABORACIÓN DE LA HARINA DE BANANO

Para la producción de harina de banano con calidad de exportación, Sucunuta A. y Plúas N., recomiendan cumplir con el siguiente proceso; a continuación mostramos un diagrama de flujo seguido de la descripción de los procesos:

Figura 1-2 Diagrama de flujo para la elaboración de “Harina de Banano”



1.4.1. CLASIFICACIÓN

Después de adquirir la fruta se seleccionará, pues para la producción de harina se emplearán frutas verdes. Después de seleccionada la fruta se la separa en formas de manos.

1.4.2. LAVADO

Dado que se podría trabajar con la fruta de rechazo también esta puede estar contaminada, se la debe sumergir en una tina de lavado con 10 ppm. De cloro para sacar todo agente contaminante.

1.4.3. PELADO Y CORTADO

Primero se retirarán las partes no comestibles como es la cáscara. El pelado se efectuará a mano o con cuchillo; también se suele aplicar vapor de agua a todo el tejido de la cáscara para que se suavice y luego pueda ser pelado más fácilmente. A continuación la fruta es sometida a un proceso de corte, en forma de rodajas.

1.4.4. FIJACIÓN DE COLOR

En este proceso la fruta en trozos es sumergida en una solución de relación 1:4 (ácido ascórbico 1 %: ácido cítrico 4 % o en un baño de sulfito). Con esto se evita que la fruta se oxide rápidamente y tenga mayor tiempo de durabilidad.

1.4.5. COLOCADO DEL BANANO EN BANDEJAS

A continuación la fruta se la colocará en bandejas de acero inoxidable, con una altura máxima de 4 cm.

1.4.6. SECADO

En este proceso las bandejas son ingresadas al secador donde la temperatura alcanzada será de 60-75 °C, para de esta manera disminuir la humedad de la fruta al 10 % o menos.

1.4.7. MOLIDO

Una vez alcanzada la humedad requerida, se procederá a moler los trozos de fruta hasta alcanzar la granulometría requerida, obteniendo de esta forma la harina.

1.4.8. TAMIZADO

La harina que se obtiene tiene diferentes tamaños de partícula y partículas extrañas, por lo que la totalidad del producto se debe hacer pasar por un tamiz para obtener las diferentes fracciones por separado. De esta forma se llega a obtener un producto más fino.

1.4.9. ENVASADO

Después de la obtención de la harina, se la envasa en las diferentes presentaciones que demande el mercado.

1.5. PARDEAMIENTO

Según Morales, A. (1999), “Un factor crítico para la industria de alimentos es la calidad sensorial de sus productos, siendo el color uno de los índices más importantes en su evaluación. El oscurecimiento de los alimentos es un fenómeno común que ocurre durante el procesamiento y almacenamiento de los mismos. Las reacciones de pardeamiento alteran el sabor, la apariencia y el valor nutritivo del producto. Los mecanismos de oscurecimiento suelen dividirse en enzimáticos y no enzimáticos según su origen.

1.5.1. PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO

Los tres principales mecanismos de pardeamiento no enzimático son las reacciones de Maillard, la caramelización de los azúcares y la degradación del ácido ascórbico. Estas reacciones se aceleran por el calor y son particularmente importantes durante las operaciones de cocción, pasteurización y deshidratación. El oscurecimiento del producto no siempre se debe a uno solo de estos mecanismos pues en ocasiones pueden ocurrir simultáneamente y en algunos casos las reacciones comparten intermediarios en común.

3) Caramelización

La caramelización se define como la degradación térmica, fragmentación y polimerización de los compuestos de carbono. Cuando los azúcares son calentados por encima de sus puntos de fusión, generan productos de color oscuro tanto en medios ácidos como alcalinos que pueden llegar a impartir sabores amargos o desagradables al alimento. En solución acuosa la caramelización depende de la concentración de azúcar, el pH y la temperatura.

b) Degradación del ácido ascórbico

El ácido ascórbico es una de las vitaminas más inestables en el procesamiento de alimentos. Las reacciones de su degradación dependen del pH y son catalizadas por metales. El pardeamiento que origina puede producirse tanto en ausencia como en presencia de oxígeno y en algunos casos se generan pigmentos rojizos u oscuros así como compuestos de sabores y colores desagradables.

c) Maillard

La reacción de Maillard se ha estudiado ampliamente. El primer paso de su secuencia es la condensación entre un grupo carbonilo libre y una amina que da como resultado una glicosilamina. En la segunda etapa de la reacción se generan los pigmentos pardos y aromas característicos a través de la escisión y la polimerización de los productos iniciales. Dichos pigmentos tienen altos pesos moleculares y se conocen como melanoidinas.

El sabor que imparten al alimento es muy variable y depende en gran parte de las aminas que reaccionaron en la condensación.

Los sustratos de esta reacción son los grupos carbonilo y en especial aquellos de los azúcares reductores. Sin embargo, también pueden intervenir otros compuestos con dicha función como algunas vitaminas (C y K), saborizantes (vainilla) y ortofenoles que estén presentes en el alimento. Los aminoácidos, péptidos y proteínas participan en estas reacciones por medio de sus grupos amino libres.

1.5.1.1. PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO EN EL BANANO

En el banano maduro pueden ocurrir reacciones de pardeamiento no enzimático ya que casi el 20% de su pulpa está constituida por azúcares capaces de caramelizarse o de participar en las reacciones de Maillard. Los principales azúcares del banano son la glucosa, la fructosa y la sacarosa.

Varios estudios han reportado el oscurecimiento no enzimático del banano durante la deshidratación. Además las reacciones de pardeamiento pueden continuar incluso en

el almacenamiento del producto porque el principal sólido soluble del banano seco son los azúcares reductores que actúan como sustratos en las reacciones de Maillard.

1.5.2. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

El sistema enzimático más involucrado en el pardeamiento de frutas y vegetales es el de la polifenoloxidasa (PPO). Este complejo incluye todas aquellas enzimas capaces de oxidar compuestos fenólicos a orto-quinonas. Su nombre bioquímico es o-difenoloxireductosa y requiere de cobre como grupo prostético.

Estas enzimas catalizan dos tipos de reacciones: la ortohidroxilación de los monofenoles y la oxidación de los difenoles a sus correspondientes o-quinonas. En ambos casos el oxígeno es indispensable ya que actúa como aceptor de protones (H^+). El pH óptimo para la acción de la PPO se encuentra entre 5 y 7.

Las o-quinonas formadas se pueden polimerizar y producir pigmentos conocidos como melaninas o bien acoplarse con aminoácidos, proteínas o fenoles generando tonalidades oscuras. Aunque el color final de los polímeros es café existe una gran variedad de compuestos intermedios con colores rosa, rojo o azulado.

1.5.2.1. PREVENCIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

Existen numerosos medios para impedir el pardeamiento enzimático durante el procesamiento de los alimentos por razones de costo, toxicidad, efectos secundarios desfavorables o regulaciones legales; en la práctica solo se pueden utilizar un número limitado de ellos. Entre los más comunes se encuentran:

a) Tratamiento térmico

La enzima PPO es sensible a la temperatura y cuando se aplica un tratamiento térmico adecuado se puede lograr su desnaturalización. El escaldado es uno de los medios más utilizados para este fin y puede realizarse por inmersión en agua caliente o por contacto con el vapor. Los tiempos de escaldado son variables y dependen de la temperatura, pH del medio, tamaño de partícula y tipo de producto a escaldar.

b) Agentes químicos

Los agentes químicos son compuestos que pueden actuar directamente en la enzima PPO o reaccionar con los sustratos y/o productos del pardeamiento para inhibir la formación de pigmentos. Los más comunes en la industria de alimentos son los sulfitos, el ácido ascórbico y el ácido cítrico.

b.1. Sulfitos

Los sulfitos (SO_2 , bisulfitos y metabisulfitos) han sido ampliamente utilizados para inhibir el pardeamiento en la industria de alimentos y bebidas. Estos reducen las o-quinonas a difenolesincloros evitando que se condensen y precipiten como melaninas. En grandes concentraciones pueden blanquear los pigmentos que se han formado antes del tratamiento. Sin embargo, el exceso de sulfitos destruye vitaminas como la tiamina además de causar sabores y olores indeseables.

A pesar de su gran efectividad para evitar el pardeamiento enzimático como no enzimático, existen pruebas de que estos aditivos pueden afectar la salud, especialmente la de personas asmáticas. Desde 1986, la FDA ha decretado restricciones para el uso de los sulfitos y se han establecido límites de SO_2 residual en algunos alimentos entre los que se encuentran las frutas deshidratadas. Los efectos adversos a la salud, el aumento de vigilancia en su utilización y la desaprobación de muchos consumidores han creado la necesidad de buscar otras alternativas contra el pardeamiento.

b.2. Ácido Ascórbico

Tanto el ácido ascórbico como su isómero, el ácido eritórbico, se han utilizado como antioxidantes en la industria de alimentos. Su mecanismo consiste en reducir la quinonas a los o-difenoles originales y en altas concentraciones puede llegar a inhibir la PPO. Sin embargo, su acción no es permanente y el producto de su degradación, el DHA, es precursor del oscurecimiento no enzimático. Los dos ácidos son fácilmente oxidados por enzimas endógenas o degradadas por metales como el cobre y el hierro

para formar DHA. La inhibición del pardeamiento se prolonga mientras existan concentraciones residuales de ácido ascórbico.

b.3. Ácido cítrico

Tiene un doble efecto en la inhibición de la PPO porque reduce el pH y forma quelatos con el cobre que requiere la enzima. Por lo general su acción acidulante es ejercida en mezclas sinergistas con otros agentes como el ácido ascórbico.

1.5.2.2. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO EN EL BANANO

El banano es uno de los frutos más sensibles al pardeamiento enzimático. En 1963 Palmer logró extraer la enzima del banano responsable del oscurecimiento y la identificó como una PPO (E.C. 1.10.3.1) y en 1975 Montgomery demostró su presencia en la cáscara y la pulpa durante las diversas etapas de maduración. Purificaron la PPO en la pulpa de la variedad musa Cavendish y determinaron que estaba formado por cuatro o cinco isoenzimas. Además encontraron que la PPO del banano solo oxida los o-difenoles y es inerte a los monofenoles. Griffiths determinó que la dopamina (3,4-dihidroxifeniletamina) era el principal sustrato para la PPO en esta fruta. Dicho compuesto se halla repartido de forma difusa en las sucesivas capas del tejido.

1.6. CARACTERÍSTICAS DEL PRETRATAMIENTO

1.6.1. DESCRIPCIÓN DE ESCALDADO

El término escaldado se refiere a un calentamiento de corta duración destinado a inactivar las enzimas propias de un alimento de forma que se detenga su actividad metabólica y cese la degradación del alimento. Si estas enzimas están en la piel del alimento, basta un tratamiento superficial en el que se produzca un calentamiento muy localizado.

Durante el escaldado pueden tener lugar los siguientes fenómenos:

- Se compacta el producto, al colapsarse estructuras internas y eliminarse gases. Así el alimento no flota en el líquido de gobierno, lo que es muy conveniente en el caso de conservas.
- El número de microorganismos presentes se reduce a veces hasta en un 90% especialmente los superficiales. Esto es muy importante en alimentos en los que la carga microbiana se concentra en el exterior.
- Se inactivan enzimas y se desnaturalizan algunas proteínas.
- Se desorben gases tales como el oxígeno. La concentración residual de oxígeno después del escaldado es mínima, con lo que se impide la oxidación del producto.
- Por otro lado es un calentamiento local y muy intenso de la superficie y que desorganiza los tejidos y permite separar la piel muy fácilmente (Ordoñez B., 2007).

1.7. SECADO Y DESHIDRATADO

“Secado generalmente se refiere a la remoción de líquido de un sólido por evaporación” (Perry, 1984).

La deshidratación consiste en la remoción del agua contenida en el alimento, hasta un valor en el cual los microorganismos no se proliferen y el alimento se conserve por más tiempo. El alimento deshidratado debe conservar todas o la mayoría de sus propiedades anteriores a la deshidratación (Carcamo M., 2014).

El secado y el deshidratado se usan como sinónimos frecuentemente pero se define al secado de alimentos el remover la humedad al 15 – 20 % y la deshidratación removerla al 3 – 5 %. En este trabajo se usó los dos términos indistintamente de acuerdo al porcentaje de humedad (Carcamo M., 2014).

El proceso de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación a la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido

húmedo y la presión parcial de vapor ejercida por la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa (Contreras Velásquez, L. M., 2012).

1.8. CLASIFICACION DE SECADORES SEGÚN SU USO

En la actualidad existe una gran variedad de equipos de secado. En la siguiente tabla se muestra algunos tipos de secadores que se utilizan para el secado de alimentos a nivel industrial.

Tabla I-3 Tipo de Secadores

| Secadores | Productos |
|---------------------------------|---|
| Secador de Bandeja | Frutas, Hortalizas. |
| Secador de Túnel | Frutas y Legumbres. |
| Secador de Cinta Transportadora | Frutas. |
| Secadores Bajo Vacío | Frutas, Concentrados y Zumos. |
| Secador Continuo de tambor | Leche en Polvo, Legumbres, Puré de Batatas y Plátano. |
| Secador por Pulverización | Leche en polvo. |
| Secador Neumático | Granos, Harina, Almidones. |
| Secador por Atomización | Café, Huevo, Zumo de Fruta, Té |
| Secadores de lecho Fluidizado | Legumbres, Cereales, Café, Azúcar |

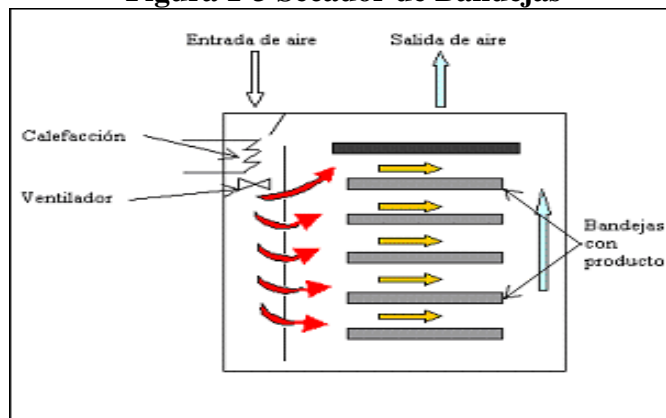
Fuente: Cheftel, J.C. y Cheftel, H. (1983).

1.8.1. SECADOR DE BANDEJAS

Este tipo de secador se caracteriza por tener una o más cámaras o compartimientos donde se ubican las bandejas que contienen el material a secar. Interiormente pueden estar provistos de un ventilador para circular aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido, bien, horizontalmente entre bandejas cargadas, o bien, verticalmente, a través de las bandejas perforadas y el producto (Herbotecnia, 2011)

Generalmente las bandejas se colocan sobre bastidores que pueden moverse como unidades para colocarlos en la cámara o ser retirados de ella. Su principal problema es la desuniformidad del secado entre bandejas en distintas ubicaciones.

Figura 1-3 Secador de Bandejas



Fuente: Virtual (2012).

El alimento que se va a secar se coloca en capas delgadas de 1 a 6 cm de espesor por bandeja. El aire se calienta y circula entre las bandejas en flujo transversal o en flujo a través de bandejas perforadas, es decir, perpendicular al plano de ellas; parte del aire se recircula para un mejor aprovechamiento a costa de algo de la eficiencia de secado. Más o menos el 10 al 20 % del aire que pasa sobre las bandejas es nuevo, y el resto es aire recirculado (Herbotecnia, 2011).

Estos secadores son utilizados para secar cualquier tipo de material. Su costo operativo es alto debido a que tienen un alto consumo energético, que en gran parte se debe al gran calor latente de vaporización del agua, lo que requiere de un alto aporte térmico en el secador, por lo que esta consideración restringe su uso a producciones inferiores a 50 Kg/h de material seco (CATARINA, 2012).

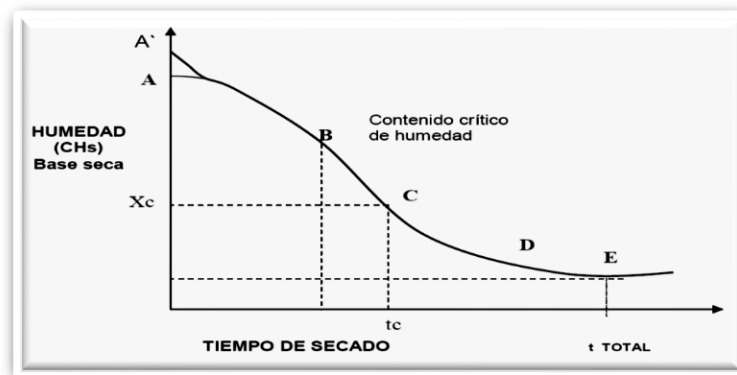
La principal ventaja del uso de secadores de bandejas, es que el grado de eliminación de la humedad puede llegar a ser muy alto, frente al secado mecánico por compresión, que frecuentemente necesita de un posterior secado térmico.

La limpieza es fácil, reduciéndose a veces a lavar las bandejas fuera del secador, y en casos de necesidad, es fácil construirlas de materiales resistentes a la corrosión (Durango N., Bula A., Moreno Y. y Pérez H., 2005).

1.9. CURVAS DE SECADO

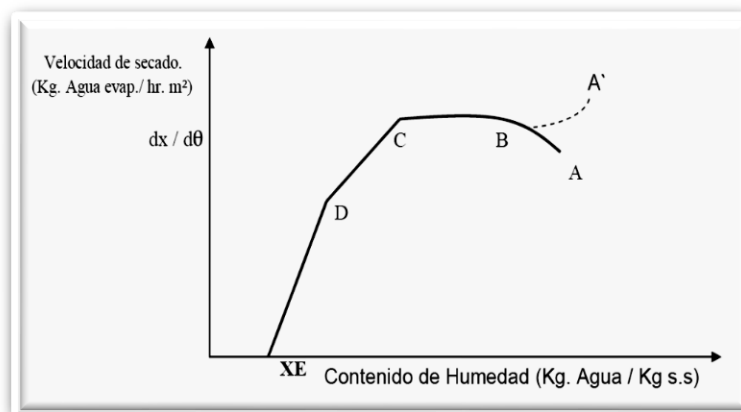
La representación gráfica de la velocidad de secado frente al tiempo (Figura 1-4) o frente a la humedad del producto (Figura 1-5) se denomina *curva de secado* y depende del tipo de producto a tratar. La velocidad de secado no es la misma durante todo el proceso, es decir, que la eliminación de agua se realiza en una serie de etapas en la que la velocidad de secado es diferente. Generalmente la forma de las curvas es complicada y deben obtenerse experimentalmente a nivel de laboratorio (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

Figura 1-4 Curva de Régimen de Secado



Fuente: Reinoso B., Edgar S. (2006, Junio).

Figura 1-5 Curva de Velocidad de Secado



Fuente: Reinoso B., Edgar S. (2006, Junio).

A partir de las curvas de secado se puede tener una idea del tiempo de secado, del

consumo de energía, del mecanismo de migración o extracción de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc.

Una curva típica de velocidad de secado presenta los siguientes períodos:

- **Período de inducción inicial (etapa A-B)**

Es una etapa de calentamiento (o enfriamiento) inicial del sólido normalmente de poca duración. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo del gas (Contreras Velásquez, L. M., 2012).

- **Período de Velocidad Constante (etapa B-C)**

Durante este periodo la velocidad con que se elimina agua de la superficie del producto es igual a la velocidad con que llega desde el interior del mismo; de esta manera la velocidad de secado permanece constante. La transferencia de calor se da por el mecanismo de convección, por lo que en la interface la temperatura de la superficie del sólido es igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire ($T_{sup.} = T_{bh}$).

Este periodo está comprendido desde el contenido de humedad inicial hasta que el producto alcanza el contenido de humedad crítica, punto en el cual la velocidad de secado comienza a disminuir debido a que el agua se evapora desde el interior del alimento. En realidad, la velocidad de secado es la evaporación del agua, que representa la transferencia de materia y además es proporcional a la transferencia de calor (flujo de calor), (Barbosa-C., Ma y Barletta, 1997).

- **Período de Velocidad decreciente (etapa C-E)**

En este periodo, la velocidad de secado depende del contenido de humedad del sólido; abarca desde el punto de la humedad crítica hasta el punto final de secado, es decir, hasta alcanzar la humedad de equilibrio del producto para las condiciones del aire de secado (Barbosa-C., Ma y Barletta, 1997).

Cuando se alcanza el contenido de humedad crítica, la temperatura de la superficie del sólido empieza a aumentar gradualmente desde la temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}) hasta la temperatura del gas de secado (T_g) cuando se ha completado el secado; es decir, la fuerza impulsora térmica ($T_g - T_{bh}$) disminuye mientras se produce el secado. Es así que la disminución de la velocidad de transferencia de calor puede expresarse cuantitativamente en función del aumento de la temperatura superficial del sólido (Barbosa-C., Ma y Barletta, 1997).

Un parámetro muy importante a determinar en los materiales a secar es la humedad a la cual se cambia del primero al segundo período, llamada **humedad crítica** (X_c), que depende del tipo del material y de la relación de secado en el primer período. En este punto la superficie del sólido ya no se encuentra saturada de agua, y la velocidad de secado disminuye con la disminución del contenido de humedad y el incremento en la temperatura del material, que sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantenía estable la temperatura de la superficie. En el punto final de este período, la película de humedad superficial se ha evaporado completamente y, con el posterior decrecimiento en el contenido de humedad, la velocidad de secado es controlada por la velocidad de movimiento de la humedad dentro del sólido (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

1.10. FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE SECADO

Las variables que afectan al proceso de secado son las siguientes:

1.10.1. TEMPERATURA DEL AIRE

La temperatura desempeña un papel muy importante en el proceso de secado. En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica de secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración a la especie que se vaya a someter al proceso.

Existen diferentes niveles de temperaturas que se mantienen durante el proceso técnico de secado:

Temperatura de bulbo seco: es aquella del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio.

Temperatura de bulbo húmedo: es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie (Perry, 1984).

1.10.2. HUMEDAD

Para estudiar el secado de sólidos es necesario definir las proporciones relativas de agua y sólido seco contenidos en los mismos. Dado que la cantidad de sólido seco no se altera en el proceso, la concentración más útil para los cálculos es la referida al peso de sólido seco: X es la humedad al peso de agua que acompaña a la unidad de peso de sólido seco”.

Al contenido de humedad de un sólido se lo puede expresar a base seca o base húmeda, en los cálculos de secado es más conveniente sugerir la humedad a base seca, debido a que esta permanece constante a lo largo del fenómeno de secado (Kneule F.,1990).

Contenido de humedad en base seca, es la cantidad de agua referida al sólido seco:

$$X_s = \frac{m_i - SS}{SS} \quad (1-1)$$

Donde:

X_s = Humedad en base seca, (kg H₂O/kg sólido seco).

m_i = Cantidad de masa, (kg).

SS = Cantidad de sólido seco, (kg).

Humedad de equilibrio: se representa por X^* y corresponde a la humedad contenida en una sustancia en equilibrio con un aire con una determinada presión de vapor (Mancilla, 1999).

Humedad libre: Es la humedad del sólido, que es la humedad que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa (Contreras, 1997).

1.10.3. VELOCIDAD DEL AIRE

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material (Ortiz, 2003).

La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel muy importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de la humedad. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que un laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire (Ortiz, 2003).

Durante las primeras etapas del secado, la velocidad de aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación de aire fuerte y regular (Ortiz, 2003).

1.10.4. NATURALEZA DE LA MATERIA PRIMA

La naturaleza de la materia prima es uno de los factores más importantes que afectan a la calidad de secado y además el contenido inicial de humedad y la forma (cubos, rodajas, mitades, etc.) en que son preparadas las muestras tienen una influencia determinante (Benítez, 1999).

1.10.5. CARGA DE LAS BANDEJAS

La carga de bandejas es importante, cuando mayor sea la carga de las bandejas mayor será el tiempo de secado, una carga demasiado pequeña no es conveniente y una carga excesiva además del retraso en el tiempo de secado puede ser causante de una merma de calidad del producto (Potter, 1978).

1.11. MOLIENDA

La molienda es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida.

La molienda consiste en la producción de harina, puede efectuarse mediante trituración manual en un mortero, haciendo pasar la materia prima entre dos piedras, o utilizando molinos de martillos, de placas o rodillos mecánicos (Córdova E., 2012).

Los molinos varían en su capacidad y forma dependiendo de la marca que se utilice, pero en todos los casos, el tamaño de la partícula está relacionado con la potencia del motor, a menor tamaño, se requiere de mayor potencia (Robles K., 2007).

1.11.1. TIPOS DE MOLINOS

Los molinos más utilizados en el ámbito industrial de los alimentos son: los de bolas, martillos y los de rodillos. Esquemáticamente pueden concebirse como un cilindro horizontal que gira y en su interior se encuentran los elementos moledores, los cuales se mueven libremente; el material al moler ingresa por un extremo del cilindro, es molido por fricción y percusión de los elementos moledores y sale por el extremo opuesto (Ludeña R., Quishpe W., 2008).

a) Molino de bolas

En este tipo de molino, se utilizan a la vez fuerzas de cizalla e impacto para la reducción del tamaño. Este aparato está formado por un cilindro giratorio horizontal que se mueve a pequeña velocidad con cierto número de bolas o piedras duras. A medida que gira el cilindro las piedras se elevan por las paredes del cilindro y caen sobre los productos al triturar que está llenando el espacio libre entre las bolas. Las bolas rebasan a su vez entre sí produciendo el cizallamiento de

la materia de partida. Esta combinación de fuerzas de impacto y cizalla produce una reducción de tamaño muy efectiva (Balcazar M. y Guamba J., 2009).

b) Molino de martillos

El molino de martillos es el más utilizado en plantas de alimentos pequeñas, ya que requieren de una baja inversión inicial, son fáciles de operar y no requieren de mucho mantenimiento. Como su nombre lo indica, este tipo de molino utiliza martillos metálicos que giran a gran velocidad para fraccionar los ingredientes, el tamaño de la partícula final depende de la criba por la cual pasa el producto molido. Existen diversos tipos de martillos que se utilizan de acuerdo al tipo de material que se desea moler. Las cribas también son de diferentes diámetros para así obtener partículas de tamaño distinto (Robles K., 2007).

El proceso de molienda se basa en que el material destinado a ser molido se alimenta directamente en la cámara en la cual están girando los martillos. Estos martillos golpean al material con tal violencia que lo revientan materialmente. El material choca contra la carcasa del molino hasta que es triturado con la suficiente finura para poder pasar a través de los orificios de la misma (Ludeña R., Quishpe W. 2008).

Los molinos de martillos pueden tratar casi cualquier producto: sólidos fibrosos como cortezas o cuero, virutas de acero, pastas blandas y húmedas, arcilla plástica o una roca dura. Para obtener una molienda fina están limitados a los materiales más blandos.

Tanto la capacidad como el consumo de energía de un molino de martillos varían mucho con la naturaleza de la alimentación y no se pueden estimar con confianza a partir de consideraciones teóricas, sino que es preferible obtener estos valores a partir de la información publicada, o todavía mejor a partir de ensayos a pequeña o gran escala realizados en el molino con una muestra real del material a tratar. Los molinos comerciales típicamente tratan 100 a 400 lb de sólido por Hp-h (60 a 240 kg/kWh) de energía consumida (Mc Cabe W. L., Smith J. C., Harriot P., 1998).

c) Molino de rodillos

En este tipo, la molienda se lleva a cabo al hacer pasar a los ingredientes por uno o más pares de rodillos (generalmente de metal) montados horizontalmente; al pasar los ingredientes por los

rodillos son triturados finamente. La principal desventaja de este tipo de molino es su alto costo, sin embargo el rendimiento de energía eléctrica es mayor que el del molino de martillos, aunque requiere de mayor mantenimiento. La calidad del producto molido es mayor, además produce menos ruido, polvo y no requiere de aspiración (Robles K., 2007).

1.12. TAMIZADO

El tamizado es un método físico para separar mezclas, consiste en hacer pasar una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños por un tamiz. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas por el mismo (Alcántara J., 2008).

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. Además de lo anterior, se utiliza para el análisis granulométrico de los productos de los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas. El tamiz consiste de una superficie con perforaciones uniformes por donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Llevar a cabo el tamizado es requisito que exista vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz (Álvarez E., 2012).

1.12.1. TIPOS DE TAMICES INDUSTRIALES

Los tamices para la industria se fabrican de barras metálicas, láminas y cilindros metálicos perforados, telas y tejidos con hilos. Entre los principales equipos tenemos los siguientes (Gutiérrez, 2005):

a) Parrillas o tamices de barras

Estos equipos se utilizan para tamizar partículas, de tamaño mayor que 2.5 cm. Consiste en un grupo de barras paralelas, espaciadas según se necesite.

b) Tamices vibratorios

Este equipo consiste en un marco que soporta una rejilla de malla de hilo o una placa perforada. Pueden ser sacudidos mecánica o electromagnéticamente.

c) Tamices de tambor

Son tamices cilíndricos giratorios montados casi horizontalmente. La superficie de tamizado puede ser también de malla de hilo o placa perforada.

1.13. HARINA

La harina es un producto obtenido de la molienda de diferentes especies vegetales, llevadas a contenidos óptimos de humedad para su almacenamiento y adecuada conservación (Rodríguez y col, 2004).

Se puede obtener harina de distintos cereales y de otros alimentos ricos en almidón. Aunque la más habitual es la harina de trigo (Castro, 2011).

1.13.1. CLASIFICACIÓN DE LAS HARINAS

Las harinas en general, se clasifican teniendo en cuenta la cantidad de gluten que poseen; según esto pueden ser Flojas o Fuertes (UNCP, 2008):

- **Harina floja:** se conoce como harina floja, a aquella que en su composición contiene poco porcentaje de Gluten, no es apta para la industria panificadora, ya que con ello el pan resulta bajo y de apariencia deficiente. La característica primordial de este tipo de harina es que retienen muy poca agua, por ello forman masas muy débiles (flojas).
- **Harina fuerte:** la harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha agua, posibilitando la formación de masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios.

Otra clasificación de las harinas es numeración por “ceros”.

Una de las clasificaciones de la harina, más habitual en Argentina y los países de Sudamérica, es mediante ceros; un cero (0), dos ceros (00), tres ceros (000) y cuatro ceros (0000). Los ceros determinan los grados de pureza de la harina.

- **Las harinas 0:** son las más bastas, con más impurezas y posibles restos de granos. Son menos refinadas, y se utilizan para elaboraciones más espesas.

- **Las harinas 00 y 000:** se utilizan siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten y se consigue un buen leudado sin que las piezas pierdan su forma.
- **La harina 0000:** es más refinada y más blanca al tener escasa formación de gluten no es un buen contenedor de gas y los panes pierden forma. Por ese motivo solo se utiliza en pastelería, repostería, hojaldres, etc, y masas que tengan que ser ligeras.

Si hacemos el equivalente entre esta clasificación de la harina y clasificación de su fuerza podríamos decir que:

- Harina 0 = harina de gran fuerza
- Harina 00 = harina de media fuerza
- Harina 000 = harina floja
- Harina 0000 = harina muy floja

Las clasificaciones mostradas se adaptan más a las provenientes de los cereales, por lo que para la harina de banano en adelante vamos a utilizar la primera clasificación en función al contenido de gluten presente.

1.14. DESCRIPCIÓN DE LA HARINA DE BANANO

Los bananos son el cuarto producto agrícola más importante en el mundo, después del arroz, trigo y maíz en términos de producción. Son una fuente barata y de fácil producción de energía, así como de vitaminas A, C y B6

La Harina de Banano, elaborada en muchos casos de banano orgánico, es un polvo blanco pardusco de fácil digestión y susceptible a la humedad.

Contiene todos los grupos de vitaminas y nutrientes. Tiene fácil cocción (90° C en 8 minutos). Al compararla con la harina de plátano verde, la harina de banano posee valores mayores en cuanto a su contenido de grasas, fibra cruda y cenizas. La harina

de plátano posee valores mayores que la harina de banano en el contenido de energía, carbohidratos y potasio (AMPEX, 2008).

Figura 1-6 Harina de banano



Fuente: AMPEX, 2008

1.15. USOS DE LA HARINA DE BANANO

La harina de banano se hace secando y moliendo la fruta verde y se emplea para bebidas, mezclas fortificadas, atoles, malteadas, repostería y hasta para comerlo como pan integral. También puede usarse para la aplicación en dietas para niños, ancianos, deportistas, celíacos, etc.

En los trópicos, la harina se usa para hacer galletas y pasteles. Una papilla hecha de banano verde puede ser una buena manera para cortar la diarrea en niños pequeños.

La harina también puede utilizarse para reemplazar el 70-80 % de los cereales en las raciones para cerdos y producción lechera, obteniéndose casi igual rendimiento; mientras que en las raciones para pollos y aves de corral, solo se debe reemplazar con harina de banano el 5 o 10 % de la proporción de grano (AMPEX, 2008).

1.16. PROPIEDADES DE LA HARINA DE BANANO

Es muy indicado para la dieta de los niños, que requieren muchas veces de un alimento que sacie su hambre rápidamente. Igualmente para los deportistas o para cualquier persona que requiera un sano energético en cualquier momento, ya que su contenido en potasio previene los calambres y regula los líquidos en el cuerpo constituyendo una fuente energética de rápida asimilación.

La harina de banano tiene lo que se denomina almidón resistente, es decir que este tipo de almidón no es absorbido por el intestino delgado sino por el grueso lo que la hace interesante para el combate de inflamaciones y cánceres del colon (AMPEX, 2008).

1.17. COMPOSICIÓN Y VALOR NUTRITIVO DE LA HARINA DE BANANO

1.17.1. COMPOSICIÓN

La harina de banano es muy rica en hidratos de carbono y sales minerales como: calcio orgánico, potasio, fósforo, hierro, cobre, flúor, iodo y magnesio. También posee vitaminas del complejo B, como la tiamina, riboflavina, pirodoxina y ciancobalamina, por lo cual se constituye en una de las mejores maneras de nutrir de energía vegetal nuestro organismo.

La composición química del plátano caracterizada por la presencia de almidones y escasez de ácidos, lo hace un producto extremadamente sensible al oxígeno al igual que al calor (Patacón, 2011).

1.17.2. VALOR NUTRITIVO

Tiene elevado valor energético, siendo fuente de vitaminas B y C, como el tomate o la naranja. Su contenido proteico es discreto y la presencia de grasas casi nula. Numerosas son las sales minerales que contiene, entre ellas hierro, fósforo, potasio y calcio. Resulta de mucha ayuda para recuperar fuerzas. Por el potasio es efectivo disminuyendo la hipertensión arterial. Los plátanos verdes mejoran el tránsito intestinal por su contenido en almidón e hidratos de carbono no asimilables, permite combatir la acidosis, calma los ardores de estómago, es efectivo en el tratamiento de procesos reumáticos, artritis y gota, previene la retención de líquidos y la formación de edemas. Es recomendable en casos de nefritis y cálculos renales, de acuerdo a lo recomendado en (http://bananoorganico.blogspot.com/2010/09/importancia-del-producto_27.html, 2010).

En la siguiente tabla podemos apreciar las diferentes especificaciones nutritivas de la harina de banano.

Tabla I-4 Valores Nutricionales de la Harina de Banano por 100g de porción comestible.

| NUTRIENTES | |
|-------------------|-----------|
| Proteínas | 3.1 grs. |
| Grasas | 0.4 grs. |
| Carbohidratos | 9.6 grs. |
| Ceniza | 2.5 grs. |
| Humedad | 14.0 grs. |
| MINERALES | |
| Calcio | 29.0 mg |
| Fósforo | 104.0 mg |
| Hierro | 3.9 mg |
| VITAMINAS | |
| Retinol | 100.0 mg |
| Tiamina | 0.11 mg |
| Riboflavina | 0.12 mg |
| Niacina | 1.57 mg. |

Fuente: CORSUN S.A.C, 2006

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. INTRODUCCIÓN

El trabajo experimental de la obtención de “Harina de Banano de la variedad Cavendish”, se realizó en los predios de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Los procesos de secado de las rodajas de banano y molienda o reducción de tamaño de las mismas, se las desarrollo en el Laboratorio de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

La operación de tamizado, se realizó en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), perteneciente a la carrera de Ingeniería Química.


2.2. REQUERIMIENTO DE EQUIPOS

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizaron los equipos que se describen a continuación:

2.2.1. ESTUFA DE CONVECCIÓN FORZADA

Se utilizó este equipo para efectuar el secado de las rodajas de banano; este equipo se encuentra en el Laboratorio de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Sus características técnicas se detallan en el cuadro II-1.

Cuadro II-1 Características técnicas de la estufa de convección forzada


| | | |
|----------------------|---|--|
| Marca | BINDER |  |
| Industria | Germany | |
| Modelo | FD 115 | |
| Temperatura nominal | 300 °c | |
| Potencia nominal | 1,60 Kw | |
| Voltaje nominal | 230 V | |
| Corriente nominal | 7,0 amp | |
| Dimensiones internas | 47 cm de alto 61 cm de largo 40 cm de profundidad | |

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. BALANZA ELECTRÓNICA

Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Se utilizó para realizar el control de la pérdida de humedad de las rodajas de banano y para la medición de parámetros físicos. Las características se muestran en el cuadro II-2.

Cuadro II-2 Características técnicas de la balanza electrónica

| | | |
|-------------|-------------------|--|
| Marca | KERN & Sohn Gmb H |  |
| Industria | Germany | |
| Tipo | ABS 220-4 | |
| Capacidad | 220 g | |
| Legibilidad | 0,1 mg | |
| | | |

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. MOLINO DE MARTILLOS

Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Se utilizó para reducir de tamaño las rodajas de banano deshidratado. Las características técnicas se detallan en el cuadro II-3.

Cuadro II-3 Características técnicas del molino de martillos

| | | |
|------------|-----------------|---|
| Marca | LABORATORY MILL |  |
| Nº | 30176 | |
| Tipo | 120 | |
| Tensión | 220 – 240 | |
| Frecuencia | 50 Hz | |
| Potencia | 750 W | |
| Velocidad | 2700 rpm | |

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4. TAMIZ VIBRATORIO

Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), perteneciente a la carrera de Ingeniería Química. Se utilizó para conocer y poder clasificar la harina de banano por el tamaño de partículas; los tamices utilizados fueron del nº 0.50 m/m al nº 0,063 m/m. Sus características técnicas se detallan en el cuadro II-4.

Cuadro II-4 Características técnicas del tamiz vibratorio

| | | |
|------------|-------------|--|
| Marca | ORTO ALRESA |  |
| Industria | Española | |
| Nº | 050126/06 | |
| Corriente | 0.4 A | |
| Voltaje | 230 V | |
| Frecuencia | 50 Hz | |
| Potencia | 80W | |
| Velocidad | 2.500 rpm | |

Fuente: Elaboración propia.

2.3. MATERIALES

Los materiales utilizados en el presente trabajo de investigación se detallan en la tabla II-1.

Tabla II.1 Materiales de laboratorio

| Material | Capacidad | Tipo de material |
|--|------------------|---------------------|
| Espátula | Pequeña | Acero inoxidable |
| Desecador | Mediano | Vidrio |
| Termómetro | 0- 100 ° C | Bulbo de mercurio |
| Colador | Mediano | Aluminio |
| Fuentes | Medianas | Acero inoxidable |
| Cortador tipo cuchilla de paso regulable | Mediano | Madera con cuchilla |
| Mortero | Mediano | Porcelana |
| Vasos de precipitación | 500 ml 100 ml | Vidrio |
| Probeta | 500 ml | Vidrio |
| Olla común | 5 lt | Aluminio |
| Envases | 25 * 15 | Polietileno |
| Cuchillo | Mediano | Acero inoxidable |
| Platillos | Medianos | Porcelana |

Fuente: Elaboración propia.

2.4. MATERIA PRIMA

La materia prima que se utilizó para el siguiente trabajo de investigación fue banano variedad Cavendish, en estado verde. El banano es adquirido de los camiones que transportan dicha fruta del trópico de Cochabamba a Tarija, en estado verde, fresco y sin ningún aditivo adicional.

Figura 2-1 Depósitos de banano (variedad Cavendish)



Fuente: Elaboración propia

2.5. ADITIVOS E INSUMOS

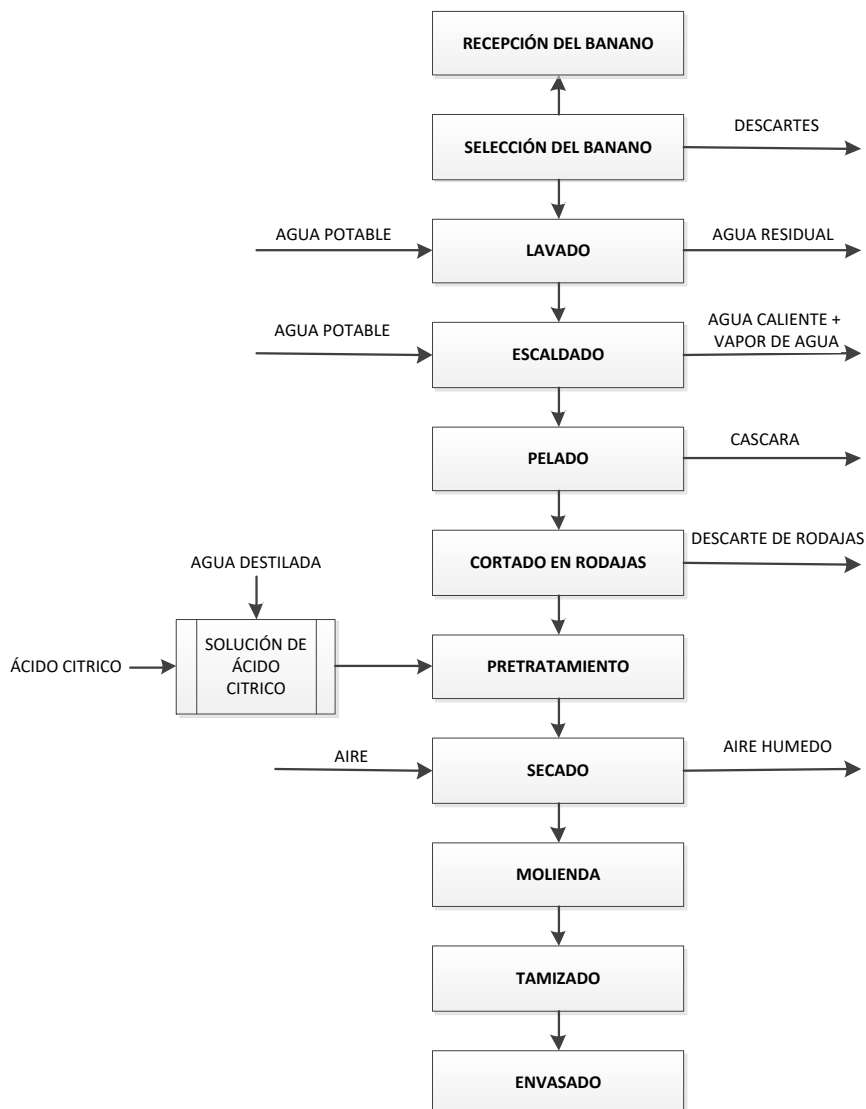
Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes aditivos e insumos:

- Agua Destilada
- Ácido Cítrico

2.6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL

A continuación se puede observar el diagrama de flujo del proceso de elaboración de “Harina de Banano”, ver figura 2-2.

Figura 2-2 Diagrama de flujo para la elaboración de “Harina de Banano”



Fuente: Elaboración propia.

A continuación damos a conocer el proceso experimental que se seguirá para la **“Obtención experimental de Harina de Banano variedad Cavendish”**:

2.6.1. RECEPCIÓN DEL BANANO

El banano verde utilizado se lo adquiere del mercado local, directamente de los camiones que transportan esta fruta desde el trópico Cochabambino, y es almacenado en un lugar fresco donde no llegue la luz solar, (ver figura 2.3).

Figura 2-3 Banano verde y fresco



Fuente: Elaboración propia

2.6.2. SELECCIÓN DEL BANANO

Se realizó una selección visual y manual, ya que para la realización de la harina de banano se empleará frutos verdes y en buen estado, rechazando así algún fruto que se encontrara comenzando el proceso de maduración o en estado de descomposición, (ver figura 2.4).

Figura 2-4 Dedos de banano seleccionado



Fuente: Elaboración propia

2.6.3. LAVADO

El proceso de lavado se lo realizó colocando el banano ya seleccionado en una fuente con agua potable, limpiando uno por uno los dedos de banano, esto con la finalidad de eliminar sustancias indeseables como tierra, polvo, etc. (ver figura 2-5).

Figura 2-5 Proceso de lavado



Fuente: Elaboración propia

2.6.4. ESCALDADO

El escaldado se realizó sometiendo al banano a un tratamiento térmico hasta una temperatura de ebullición de 94 °C, por un tiempo de 3 min con la finalidad de inactivar enzimas, quitar la goma que existe en la cáscara y sobre todo para facilitar el pelado de la fruta, (ver figura 2-6).

Figura 2-6 Proceso de escaldado



Fuente: Elaboración propia

2.6.5. PELADO

El pelado se lo realizó de forma manual con la ayuda de cuchillos de acero inoxidable para cortar las puntas y la cola, con la finalidad de eliminar la cáscara con mayor facilidad de la pulpa, (ver figura 2-7).

Figura 2-7 Proceso de pelado



Fuente: Elaboración propia

2.6.6. CORTADO EN RODAJAS

Después del proceso de pelado, se procede a cortar la pulpa de banano con la ayuda de un cortador de rodajas de paso regulable, obteniendo rodajas de 2 mm de espesor, con la finalidad de que facilite el proceso de secado, (ver figura 2-8).

Figura 2-8 Proceso de cortado



Fuente: Elaboración propia

2.6.7. PRETRATAMIENTO

El pretratamiento consiste en sumergir las rodajas de banano en una solución de ácido cítrico a diferentes concentraciones (1 g/l, 3 g/l y 5 g/l), por distintos tiempos (5 min y 10 min), esto para cuidar que no se pardeen las rodajas de banano; pasado el tiempo

de inmersión se escurren las rodajas con la ayuda del colador y estas son colocadas en bandejas para ser sometidas al proceso siguiente, (ver figura 2-9).

Figura 2-9 Proceso de inmersión en solución



Fuente: Elaboración propia

2.6.8. SECADO

Este proceso se realizó en la estufa de aire forzado; primeramente se procede a encender el equipo sin cargar hasta que alcance la temperatura deseada de 60 °C, posteriormente se cargan las bandejas con las rodajas tratadas con solución de ácido cítrico y se carga el equipo. El secado dura entre 5-6 h hasta alcanzar peso constante, (ver figura 2-10).

Figura 2-10 Proceso de secado



Fuente: Elaboración propia

2.6.9. MOLIDO

Una vez obtenidas las rodajas deshidratadas, se procede a una previa reducción de tamaño de éstas con la ayuda de un molino de discos, esto con la finalidad de facilitar el trabajo del molino de martillo y minimizar las pérdidas.

Después de reducir el tamaño de las rodajas de banano, se realiza el molido, con la ayuda de un molino de martillos, obteniendo un polvo fino, (ver figura 2-11).

Figura 2-11 Proceso de molienda



Fuente: Elaboración propia

2.6.10. TAMIZADO

Terminando el proceso de molido se procede al tamizado del producto, esto con la finalidad de poder clasificar la harina según el tamaño de partícula.

Se realizó el tamizado con la ayuda de un sistema de tamices de apertura de 0,50 m/m, 0,25 m/m y 0,063 m/m, (ver figura 2-12).

Figura 2-12 Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia

2.6.11. ENVASADO

La harina obtenida se envasa en bolsas de polietileno, sellándolas con la ayuda de una selladora eléctrica, esto con la finalidad de no permitir el ingreso de humedad al producto, (ver figura 2-13).

Figura 2-13 Proceso de envasado



Fuente: Elaboración propia

2.7. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Para obtener los resultados experimentales del presente trabajo de investigación se empleó la metodología que se detalla a continuación:

2.7.1. PROPIEDADES FÍSICAS

En la tabla II-6, se muestran las propiedades físicas que se realizaron a la materia prima “Banano Verde variedad Cavendish”.

Tabla II-2 Propiedades físicas de la materia prima

| Parámetros | Unidades |
|-----------------------|----------|
| Peso | g |
| Diámetro | cm |
| Longitud | cm |
| Porción comestible | % |
| Porción no comestible | % |

Fuente: Elaboración propia

2.7.2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

En la tabla II-7, se muestran las técnicas utilizadas para los análisis proximales de la materia prima (Banano Verde) y del producto Harina de Banano variedad Cavendish. Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Tabla II-3 Técnicas para la determinación de las propiedades fisicoquímicas

| Parámetros | Técnica | Unidad |
|------------|--------------------|--------|
| Cenizas | NB 075-74 | % |
| Fibra | Manual tec. CEANID | % |

| | | |
|---------------------------|-------------------------|---------|
| Materia grasa | Enc. Química Industrial | % |
| Hidratos de carbono | Cálculo | % |
| Humedad | NB 074-2000 | % |
| Proteína total (N * 6.25) | NB 466-81 | % |
| Calcio total | SM 3500 Cu B | mg/100g |
| Potasio total | SM 3500 K B | mg/100g |

Fuente: CEANID 2014; **NB:** Norma Boliviana; **SM:** Standard Methods

2.7.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Los análisis microbiológicos se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); en la tabla II-8 se muestran las técnicas que se realizaron para los análisis del producto Harina de Banano variedad Cavendish.

Tabla II-4 Técnicas para la determinación de los análisis microbiológicos

| Parámetro | Técnica | Unidad |
|--------------------|-------------|--------|
| Coliformes totales | NB 32005:02 | ufc/g |
| Coliformes fecales | NB 32005:02 | ufc/g |
| Mohos y levaduras | NB 32006:03 | ufc/g |

Fuente: Elaboración propia

2.7.4. ANÁLISIS SENSORIAL

En este tipo de análisis, panelistas humanos miden características sensoriales y aceptabilidad de productos alimenticios mediante la vista, gusto, tacto, oído y olfato para este fin. Las pruebas sensoriales se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de datos obtenidos. Cuando se utilizan panelistas no entrenados se está obteniendo información sobre el gusto, la preferencia, la aceptabilidad específicas del consumidor. Si se emplean paneles entrenados, éstos funcionan como instrumentos de medición identificando diferencias entre productos alimenticios similares o intensidad de las características.

La visión es el primer sentido que interviene en la evaluación de un alimento, captando todos los atributos que se relacionan con la apariencia: aspecto, tamaño, color, forma, defectos, etc.

El sabor es definido como la sensación percibida a través de las terminaciones nerviosas de los sentidos del olfato y gusto. Los receptores del sentido del gusto lo constituyen las papilas gustativas ubicadas en la lengua, las cuales se encargan de registrar las sensaciones gustativas. Se definen cuatro sensaciones básicas: amarga, dulce, salada y ácida.

El olor es la sensación producida al estimular el sentido del olfato; el aroma es la fragancia del alimento que permite la estimulación de este sentido.

En cuanto a la textura, no existe una definición satisfactoria, pero se refiere a un grupo de características o propiedades asociadas a la estructura del alimento; no es una propiedad singular.

Una de las pruebas sensoriales orientadas al consumidor es la llamada prueba hedónica en donde se le pide a los panelistas evaluar muestras codificadas de varios productos, indicando cuánto les agrada cada muestra.

Son pruebas difíciles de interpretar ya que se trata de apreciaciones completamente personales, con la variabilidad que ello supone. Existen numerosos elementos determinantes en la aceptabilidad o preferencia de un producto; se pueden dividir en dos grupos:

1. **Características del alimento:** utilidad, estabilidad, almacenaje, valor nutricional, propiedades sensoriales, etc.
2. **Características del consumidor:** preferencias regionales, edad, sexo, religión, educación, motivación psicológica y motivación fisiológica.

El panel es el instrumento de prueba para el análisis sensorial. Las personas que estén involucradas en paneles de aceptabilidad no necesitan entrenamiento. Se debe recomendar que eviten el uso de materiales que tengan olores fuertes, tales como jabones, lociones y perfumes, antes de participar en los paneles; y abstenerse de comer, beber o fumar por lo menos 30 minutos antes del inicio de una prueba sensorial.

La muestra tomada debe ser representativa del lote por evaluar para dar validez al instrumento. Las porciones deben ser del mismo tamaño. En caso que los alimentos se presenten en porciones pequeñas, se debe suministrar una porción lo suficientemente grande para evaluar cada característica. La temperatura de las muestras tiene que ser la misma, debe ser la temperatura la que se consume normalmente (Sierra R., 2010).

2.7.4.1. ANÁLISIS SENSORIAL EN EL PRETRATAMIENTO

Para la selección de la concentración de ácido cítrico y del tiempo de inmersión en la solución más adecuado en el pretratamiento de rodajas de banano, se aplicó un test de escala hedónica (ANEXO C), donde se evaluaron las siguientes características:

a. Evaluación sensorial atributo sabor

Se presentaron a 15 jueces no entrenados, 6 muestras diferentes de “Harina de Banano”; para poder apreciar mejor el sabor se presentaron las distintas muestras como una bebida, con la finalidad de identificar el sabor en base al atributo presentación mediante un test.

b. Evaluación sensorial atributo color

Se presentaron a 15 jueces no entrenados, 6 muestras diferentes de “Harina de Banano”, donde podían apreciar el atributo color de cada muestra efectuando la evaluación según el tratamiento de cada una.

c. Evaluación sensorial atributo olor

Se presentaron a 15 jueces no entrenados, 6 muestras de “Harina de Banano”, identificando el atributo olor calificando mediante un test.

d. Evaluación sensorial atributo textura

Se presentaron a 15 jueces no entrenados, 6 muestras de “Harina de Banano”, identificando el atributo textura calificando mediante un test.

2.8. DISEÑO FACTORIAL

La aplicación del diseño factorial en un experimento es el método más conveniente para tratar procesos en los que intervienen varios factores, porque este varía los factores juntos en lugar de uno por uno, con lo cual se garantiza que se investiguen todas las interacciones que puedan existir entre variables. Lo que permite evitar experimentos redundantes y obtener la información con el mínimo número de experimentos, a menor coste y con menor incertidumbre posible (Durango N., Bula A., Moreno Y. y Pérez H., 2005).

Por ejemplo, la matriz del diseño factorial comprende 2^k filas ($2*2*...*2=2^k$ experimentos) y k columnas, que corresponden a las k variables en estudio.

Para el caso se consideran dos factores de estudio (variables independientes controlables), a un nivel de significancia (variable dependiente o respuesta) cada uno, con dos repeticiones (A y B); dando como resultado el siguiente diseño experimental: $2^2 = 4$ filas y 2 columnas (Amador P., 2014)

Para el proceso de pardeamiento (pretratamiento) de la harina de banano se plantea un diseño factorial $3*2$ de tres niveles en la variable concentración de ácido cítrico y dos niveles en la variable tiempo, se realizará 2 repeticiones siendo la variable respuesta la acidez de cada muestra después del secado, por lo tanto se tiene:

Número de experimentos: $3 * 2 = 6 * 2$ repeticiones = 12 experimentos

Para la generación de los datos experimentales del pretratamiento de la Harina de Banano, se tomaron en cuenta los siguientes factores de estudio que podemos observar en la tabla II-5.

Tabla II-5 Factores de estudio

| Factores | Nivel | |
|-----------------|--------------|---------------------|
| Concentración | 1 g/l | C ₁ (-1) |
| | 3 g/l | C ₂ (0) |
| | 5 g/l | C ₃ (+1) |
| Tiempo | 5 min | t ₁ (-1) |
| | 10 min | t ₂ (+1) |

Fuente: Elaboración propia.

La disposición del diseño factorial utilizado en el presente trabajo tiene el esquema matricial que se muestra en la tabla II.10.

Tabla II-6 Esquema matricial para la obtención de harina de banano

| N° de pruebas | Variables | | Repetición I | | Repetición II | |
|---------------|-------------------|------------|--------------|-----|---------------|-----|
| | Concentración (C) | Tiempo (t) | (C) | (t) | (C) | (t) |
| 1 | - 1 | - 1 | - 1 | - 1 | - 1 | - 1 |
| 2 | 0 | + 1 | 0 | + 1 | 0 | + 1 |
| 3 | + 1 | - 1 | + 1 | - 1 | + 1 | - 1 |
| 4 | - 1 | + 1 | - 1 | + 1 | - 1 | + 1 |
| 5 | 0 | - 1 | 0 | - 1 | 0 | - 1 |
| 6 | + 1 | + 1 | + 1 | + 1 | + 1 | + 1 |

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para caracterizar la materia prima “Banano Verde” se tomó en cuenta las propiedades físicas y físico-químicas.

3.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA

Para establecer las propiedades físicas de la materia prima, en la parte experimental del trabajo se realizó tomando 15 muestras de Banano Verde.

El promedio de los resultados es la suma de todos los valores observados dividido por el número de observaciones. Se tomó en cuenta la expresión matemática (3.1), citada por (Murillo, 1990).

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N} \quad (3.1)$$

Donde:

\bar{X} = Valor promedio de los resultados

X_1, X_n = Son los valores observados de las muestras

N = Número de observaciones (muestras)

Las características físicas del Banano Verde, variedad Cavendish, se muestran a continuación en la tabla III-1.

Tabla III-1 Propiedades físicas del banano verde

| Muestra | Peso banano verde g | Diámetro cm | Longitud cm | Peso cascara g | Porción no utilizada % | Porción utilizada % |
|-----------------|--|------------------------|------------------------|-------------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | 146,75 | 11,5 | 23 | 60,7 | 41,36 | 58,64 |
| 2 | 134,33 | 11,4 | 22,3 | 53,3 | 39,68 | 60,32 |
| 3 | 143,52 | 11,2 | 23,7 | 60,3 | 42,02 | 57,98 |
| 4 | 156,94 | 12 | 23,5 | 65,3 | 41,61 | 58,39 |
| 5 | 131,86 | 11,6 | 22 | 55 | 41,71 | 58,29 |
| 6 | 153,16 | 12,2 | 23 | 62,1 | 40,54 | 59,46 |
| 7 | 161,06 | 11,9 | 22,1 | 62,2 | 38,62 | 61,38 |
| 8 | 154,55 | 11,7 | 22 | 68,3 | 44,2 | 55,8 |
| 9 | 149,34 | 11,6 | 22 | 62,4 | 41,78 | 58,22 |
| 10 | 152,24 | 12,8 | 23,7 | 63,3 | 41,58 | 58,42 |
| 11 | 176,66 | 13,8 | 22,5 | 73,4 | 41,55 | 58,45 |
| 12 | 164,6 | 11,7 | 22,3 | 70,2 | 42,65 | 57,35 |
| 13 | 166,54 | 12,8 | 22,9 | 66,2 | 39,75 | 60,25 |
| 14 | 161,6 | 11,7 | 22,1 | 65,2 | 40,35 | 59,65 |
| 15 | 157,68 | 12,1 | 21,2 | 61,8 | 39,19 | 60,81 |
| Promedio | 154,06 | 12 | 22,55 | 63,31 | 41,106 | 58,894 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se realizó las mediciones de las propiedades físicas de la fruta (banano verde), se pudo observar que después del escaldado el peso del banano disminuía, esto se debe a que en la cáscara se encuentra una sustancia pegajosa parecida a la goma, que al calentarse se desprende en el agua. El desprendimiento de esta sustancia es favorable en cuanto se refiere a preservar el color, ya que ésta al ser pegajosa al pelar la fruta, se pega a la pulpa del banano, dándole a esta una mala apariencia.

Para la realización de la harina de banano se utilizó la porción comestible de la fruta (pulpa) que es el 58, 89% y se desechó la porción no comestible (cáscara) del 41,106%.

3.1.2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla III-2, se muestran los resultados obtenidos de la composición fisicoquímica del banano verde variedad Cavendish. Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) (ver ANEXO D).

Tabla III-2 Composición fisicoquímica del banano verde

| Parámetro | Técnica | Unidad | Resultado |
|-------------------------|-------------------------|---------|-----------|
| Humedad | NB 074-2000 | % | 71,68 |
| Cenizas | NB 075-74 | % | 0,32 |
| Fibra | Manual tec. CEANID | % | 0,1 |
| Materia grasa | Enc. Química Industrial | % | 1,15 |
| Proteína total (N*6.25) | NB 466-81 | % | 1,17 |
| Hidratos de carbono | Cálculo | % | 25,58 |
| Calcio total | SM 3500 Cu B | mg/100g | 4,17 |
| Potasio total | SM 3500 K B | mg/100g | 416,0 |

Fuente: CEANID, 2014.

3.2. CONCENTRACION DE ÁCIDO CÍTRICO, PARA FIJAR COLOR Y SABOR

Para determinar la concentración del ácido cítrico en la solución y el tiempo de inmersión, las rodajas de banano a temperatura ambiente se sumergieron en concentraciones y tiempos conocidos, que se detallan a continuación:

Muestra A: Concentración de ácido cítrico = 1 g/l

Tiempo de inmersión = 5 min

Muestra B: Concentración de ácido cítrico = 1 g/l

Tiempo de inmersión = 10 min

Muestra C: Concentración de ácido cítrico = 3 g/l

Tiempo de inmersión = 5 min

Muestra D: Concentración de ácido cítrico = 3 g/l

Tiempo de inmersión = 10 min

Muestra E: Concentración de ácido cítrico = 5 g/l

Tiempo de inmersión = 5 min

Muestra F: Concentración de ácido cítrico = 5 g/l

Tiempo de inmersión = 10 min

Teniendo las diferentes muestras se realizó una evaluación sensorial para así poder determinar qué parámetros de concentración y tiempo se tendrá en cuenta para la realización del proyecto.

3.2.1. EVALUACIÓN SENSORIAL PARA ESTABLACER LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

El análisis sensorial, se lo realizó mediante un panel de 15 jueces no entrenados, docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Química, quienes calificaron el grado de satisfacción de las diferentes muestras que se presentaron.

El modelo de test de preferencia para la aceptabilidad se puede ver en el ANEXO C. La prueba de preferencia se evaluó mediante el método de escala Hedónica de nueve puntos donde se calificaron los siguientes atributos: sabor, color, olor y textura, en la cual cada juez eligió entre las siguientes opciones y puntajes:

Cuadro III-1 Escala hedónica para la evaluación sensorial de los atributos sabor, color, olor y textura

| PUNTAJE | ESCALA HEDÓNICA |
|----------------|----------------------------|
| 9 | Me gusta extremadamente |
| 8 | Me gusta mucho |
| 7 | Me gusta moderadamente |
| 6 | Me gusta levemente |
| 5 | No me gusta ni me disgusta |
| 4 | Me disgusta levemente |
| 3 | Me disgusta moderadamente |
| 2 | Me disgusta mucho |
| 1 | Me disgusta extremadamente |

Fuente: Elaboración propia, 2016

La evaluación se realizó de forma individual con el objeto de no ejercer influencia sobre los demás. Las pruebas se realizaron en la sala de docentes de Ingeniería Química, se les explicó de antemano las características generales de la evaluación.

La evaluación se realizó el mismo día para todos los panelistas, concluida la misma se tabularon los resultados (ver ANEXO C), teniendo en cuenta la importancia de cada atributo a ser calificado se les asignó un porcentaje diferente, por lo cual, los resultados de la sub-calificación están expresados en porcentaje (%), la forma de calificación se pueden observar en el ANEXO C.

A continuación expondremos los resultados obtenidos con su valor de porcentaje para cada atributo:

a. Evaluación sensorial atributo sabor

El atributo sabor tiene un porcentaje de 30 % en la importancia dentro de las propiedades de la harina de banano.

Para el valor de los promedios de la sub-clasificación ver ANEXO C.

En la Tabla III-3 se muestran los resultados del atributo sabor de las distintas muestras de harina de banano, realizadas por los 15 jueces, así como también su promedio, expresados en porcentaje (%).

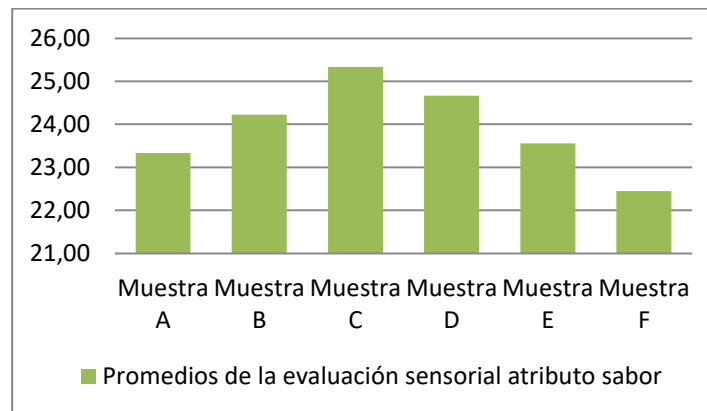
Tabla III-3 Promedios de la evaluación sensorial del atributo sabor

| Jueces | % SABOR | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Muestra D | Muestra E | Muestra F |
| 1 | 26,67 | 20 | 26,67 | 23,33 | 30 | 26,67 |
| 2 | 20 | 20 | 23,33 | 23,33 | 23,33 | 20 |
| 3 | 26,67 | 30 | 23,33 | 23,33 | 20 | 20 |
| 4 | 23,33 | 23,33 | 23,33 | 26,67 | 26,67 | 26,67 |
| 5 | 23,33 | 26,67 | 30 | 23,33 | 26,67 | 26,67 |
| 6 | 16,67 | 16,67 | 16,67 | 10 | 3,33 | 3,33 |
| 7 | 20 | 20 | 23,33 | 23,33 | 26,67 | 26,67 |
| 8 | 26,67 | 26,67 | 30 | 26,67 | 26,67 | 26,67 |
| 9 | 30 | 30 | 26,67 | 26,67 | 23,33 | 23,33 |
| 10 | 26,67 | 26,67 | 30 | 30 | 26,67 | 16,67 |
| 11 | 26,67 | 26,67 | 23,33 | 30 | 30 | 30 |
| 12 | 16,67 | 16,67 | 23,33 | 26,67 | 23,33 | 23,33 |
| 13 | 26,67 | 26,67 | 30 | 26,67 | 26,67 | 26,67 |
| 14 | 26,67 | 26,67 | 26,67 | 23,33 | 20 | 20 |
| 15 | 13,33 | 26,67 | 23,33 | 26,67 | 20 | 20 |
| Promedio | 23,33 | 24,22 | 25,33 | 24,67 | 23,56 | 22,45 |

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-1 se muestran los promedios obtenidos del atributo sabor de las distintas muestras de harina de banano.

Figura 3-1 Promedios de la evaluación sensorial del atributo sabor



Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo sabor, es la muestra C la cual tiene un promedio de 25,33 % sobre el 30 %, así también se puede apreciar que todas las muestras tienen un promedio alto sobre el 23,33 % de aceptación, siendo el menor promedio el de las muestras F, con 22,45 % sobre el 30 %.

b. Evaluación sensorial atributo color

El atributo color tiene un porcentaje de 30 % en la importancia dentro de las propiedades de la harina de banano.

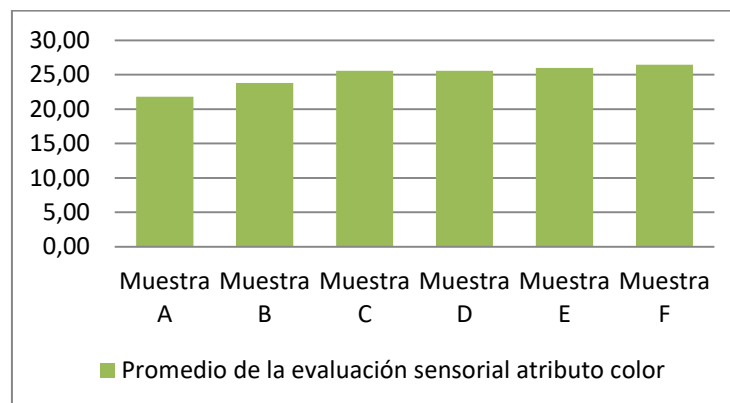
En la Tabla III-4 se muestran los resultados del atributo color de las distintas muestras de harina de banano, realizadas por los 15 jueces, así como también su promedio, expresados en porcentaje (%).

Tabla III-4 Promedios de la evaluación sensorial del atributo color

| Jueces | % COLOR | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Muestra D | Muestra E | Muestra F |
| 1 | 23,33 | 20 | 23,33 | 26,67 | 26,67 | 26,67 |
| 2 | 26,67 | 30 | 26,67 | 20 | 20 | 20 |
| 3 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 4 | 26,67 | 26,67 | 26,67 | 26,67 | 26,67 | 26,67 |
| 5 | 20 | 23,33 | 26,67 | 26,67 | 30 | 30 |
| 6 | 16,67 | 16,67 | 16,67 | 20 | 16,67 | 16,67 |
| 7 | 16,67 | 16,67 | 23,33 | 26,67 | 26,67 | 30 |
| 8 | 23,33 | 23,33 | 30 | 23,33 | 23,33 | 26,67 |
| 9 | 20 | 20 | 23,33 | 26,67 | 30 | 26,67 |
| 10 | 16,67 | 26,67 | 30 | 30 | 26,67 | 26,67 |
| 11 | 23,33 | 26,67 | 26,67 | 30 | 30 | 30 |
| 12 | 16,67 | 16,67 | 20 | 20 | 30 | 30 |
| 13 | 23,33 | 26,67 | 26,67 | 26,67 | 23,33 | 30 |
| 14 | 23,33 | 30 | 30 | 26,67 | 26,67 | 23,33 |
| 15 | 20 | 23,33 | 23,33 | 23,33 | 23,33 | 23,33 |
| Promedio | 21,78 | 23,78 | 25,56 | 25,56 | 26,00 | 26,45 |

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-2 se muestran los promedios obtenidos del atributo color de las distintas muestras de harina de banano.

Figura 3-2 Promedios de la evaluación sensorial del atributo color

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo color, es la muestra F la cual tiene un promedio de 26,45 % sobre el 30 %, seguida por la muestra E con un 26 % sobre el 30 %. Las muestras C y D, ambas

presentaron un promedio de 25,56 % sobre el 30 %, las muestras A y B, son las que presentan menor aceptación, con promedios de 21,78 % y 23,78 % respectivamente, sobre el 30 %.

c. Evaluación sensorial atributo olor

El atributo olor tiene un porcentaje de 20 % en la importancia dentro de las propiedades de la harina de banano.

En la Tabla III-5 se muestran los resultados del atributo olor de las distintas muestras de harina de banano, realizadas por los 15 jueces, así como también su promedio, expresados en porcentaje (%).

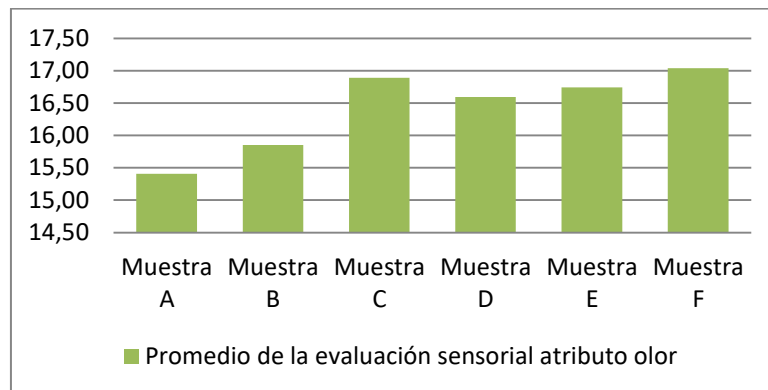
Tabla III-5 Promedios de la evaluación sensorial del atributo olor

| Jueces | % OLOR | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Muestra D | Muestra E | Muestra F |
| 1 | 15,56 | 13,33 | 15,56 | 17,78 | 17,78 | 20 |
| 2 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 13,33 | 13,33 | 13,33 |
| 3 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 4 | 17,78 | 15,56 | 13,33 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |
| 5 | 17,78 | 17,78 | 20 | 15,56 | 17,78 | 17,78 |
| 6 | 2,22 | 11,11 | 8,89 | 11,11 | 11,11 | 11,11 |
| 7 | 13,33 | 11,11 | 15,56 | 15,56 | 15,56 | 17,78 |
| 8 | 17,78 | 15,56 | 20 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |
| 9 | 15,56 | 15,56 | 17,78 | 17,78 | 20 | 20 |
| 10 | 17,78 | 17,78 | 20 | 20 | 17,78 | 17,78 |
| 11 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 20 |
| 12 | 11,11 | 15,56 | 11,11 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |
| 13 | 15,56 | 15,56 | 20 | 15,56 | 17,78 | 15,56 |
| 14 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 15,56 | 15,56 | 15,56 |
| 15 | 13,33 | 15,56 | 17,78 | 15,56 | 13,33 | 13,33 |
| Promedio | 15,41 | 15,85 | 16,89 | 16,59 | 16,74 | 17,04 |

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-3 se muestran los promedios obtenidos del atributo olor de las distintas muestras de harina de banano.

Figura 3-3 Promedios de la evaluación sensorial del atributo olor



Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo olor, es la muestra F la cual tiene un promedio de 17,04% sobre el 20%, así también se puede apreciar que todas las muestras tienen un promedio variable aceptación, siendo el menor promedio el de las muestras A, con 15,41 % sobre el 20%.

d. Evaluación sensorial atributo textura

El atributo textura tiene un porcentaje de 20 % en la importancia dentro de las propiedades de la harina de banano.

En la Tabla III-6 se muestran los resultados del atributo textura de las distintas muestras de harina de banano, realizadas por los 15 jueces, así como también su promedio, expresados en porcentaje (%).

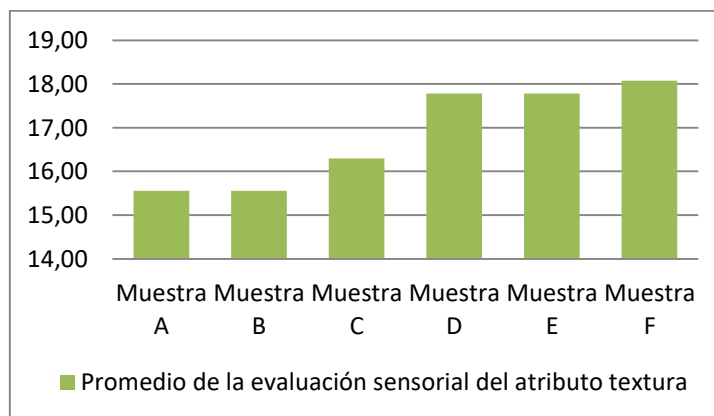
Tabla III-6 Promedios de la evaluación sensorial del atributo textura

| Jueces | % TEXTURA | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Muestra D | Muestra E | Muestra F |
| 1 | 13,33 | 15,56 | 15,56 | 15,56 | 17,78 | 17,78 |
| 2 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |
| 3 | 13,33 | 13,33 | 17,78 | 17,78 | 20 | 20 |
| 4 | 17,78 | 13,33 | 15,56 | 15,56 | 20 | 20 |
| 5 | 17,78 | 17,78 | 20 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |
| 6 | 8,89 | 2,22 | 2,22 | 15,56 | 15,56 | 15,56 |
| 7 | 13,33 | 13,33 | 13,33 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |
| 8 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 15,56 | 17,78 |
| 9 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 10 | 11,11 | 17,78 | 20 | 20 | 17,78 | 17,78 |
| 11 | 17,78 | 17,78 | 15,56 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |
| 12 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 13 | 13,33 | 15,56 | 17,78 | 17,78 | 17,78 | 20 |
| 14 | 15,56 | 15,56 | 15,56 | 17,78 | 15,56 | 17,78 |
| 15 | 15,56 | 15,56 | 15,56 | 17,78 | 15,56 | 13,33 |
| Promedio | 15,56 | 15,56 | 16,30 | 17,78 | 17,78 | 18,08 |

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-4 se muestran los promedios obtenidos del atributo textura de las distintas muestras de harina de banano.

Figura 3-4 Promedios de la evaluación sensorial del atributo textura



Fuente: Elaboración propia

Según los resultados, obtenidos se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo textura, es la muestra F la cual tiene un promedio de 18,08 % sobre el 20 %, seguida por la muestra D y E ambas con un promedio de 17,78 % sobre el 20 %,

la muestra C presentó un promedio de 16,30 % sobre el 20 % y finalmente las muestras A y B, son las que presentan menor aceptación, ambas con promedio de 15,56 % sobre el 30 %.

Impresión general

En la Tabla III-7, se muestran los promedios de la impresión general que tuvo cada uno de los jueces para cada muestra de harina de banano; esta impresión general es la suma de los puntajes obtenidos en las diferentes propiedades evaluadas en la evaluación sensorial que son el atributo de sabor, color, olor y textura.

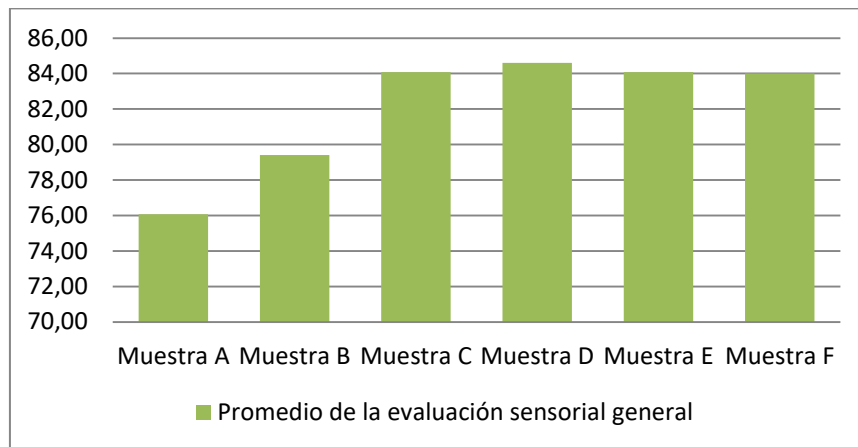
Tabla III-7 Promedios de la Evaluación Sensorial General

| Jueces | % RESULTADO GENERAL | | | | | |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Muestra D | Muestra E | Muestra F |
| 1 | 78,89 | 68,89 | 81,12 | 83,34 | 92,23 | 91,12 |
| 2 | 82,23 | 85,56 | 85,56 | 74,44 | 74,44 | 71,11 |
| 3 | 90 | 93,33 | 91,11 | 91,11 | 90 | 90 |
| 4 | 85,56 | 78,89 | 78,89 | 86,68 | 91,12 | 91,12 |
| 5 | 78,89 | 85,56 | 96,67 | 83,34 | 92,23 | 92,23 |
| 6 | 44,45 | 46,67 | 44,45 | 56,67 | 46,67 | 46,67 |
| 7 | 63,33 | 61,11 | 75,55 | 83,34 | 86,68 | 92,23 |
| 8 | 85,56 | 83,34 | 97,78 | 85,56 | 83,34 | 88,9 |
| 9 | 85,56 | 85,56 | 87,78 | 91,12 | 93,33 | 90 |
| 10 | 72,23 | 88,9 | 100 | 100 | 88,9 | 78,9 |
| 11 | 85,56 | 88,9 | 83,34 | 95,56 | 95,56 | 97,78 |
| 12 | 64,45 | 68,9 | 74,44 | 84,45 | 91,11 | 91,11 |
| 13 | 78,89 | 84,46 | 94,45 | 86,68 | 85,56 | 92,23 |
| 14 | 83,34 | 90,01 | 90,01 | 83,34 | 77,79 | 76,67 |
| 15 | 62,22 | 81,12 | 80 | 83,34 | 72,22 | 69,99 |
| Promedio | 76,08 | 79,41 | 84,08 | 84,60 | 84,08 | 84,00 |

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3-5 se muestran los promedios obtenidos de los productos, en forma general, combinando los resultados de atributo sabor, color, olor y textura de las distintas muestras de harina de banano.

Figura 3-5 Promedios de la evaluación sensorial general



Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura 3-5, las muestras con más aceptación fueron la D, E y F. pero realizando los cálculos promedio la muestra D es la que más agradó a los panelistas con un promedio de 84,60 % sobre el 100 %, por lo cual, la **muestra D se estableció como la seleccionada.**

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial, se realizó con el propósito de establecer los factores que tienen mayor influencia en el proceso de pretratamiento para obtener harina de banano. Así mismo se utilizó el diseño factorial 3*2 y se realizó una tabla matricial (ver Tabla II-10); tomando en cuenta las variables concentración (1 g/l, 3 g/l y 5 g/l) y tiempo (5min y 10 min), siendo la variable respuesta la acidez de cada muestra.

En la tabla III-8 se muestran los resultados de la variable respuesta “acidez” proporcionados por el CEANID en base de las variables que se plantearon en el diseño factorial (ANEXO E).

Tabla III-8 Valores experimentales de concentración y tiempo

| Concentración (g/l) | Tiempo (min) | Contenido de Acidez (%) | |
|------------------------|-----------------|----------------------------|------------|
| | | Réplica I | Réplica II |
| 1 | 5 | 0,18 | 0,18 |
| | 10 | 0,19 | 0,19 |
| 3 | 5 | 0,36 | 0,35 |
| | 10 | 0,34 | 0,35 |
| 5 | 5 | 0,47 | 0,46 |
| | 10 | 0,54 | 0,53 |

Fuente: Elaboración propia

Estos datos se sometieron a un análisis estadístico ANOVA, utilizando el paquete computacional SPSS 17.0 (Statistical Package for the Social Sciences), el mismo que permite un tratamiento integrado de todas las fases del análisis de datos, obteniendo de esta manera resultados más representativos y confiables.

Con el análisis estadístico se determina la influencia de los factores concentración y tiempo y sus interacciones sobre la variable respuesta acidez. A continuación, en la tabla III-9, se puede apreciar los resultados del análisis de varianza para la variable dependiente o variable respuesta acidez (datos extraídos del ANEXO F).

Tabla III-9 Análisis de Varianza del contenido de Acidez

| Origen | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|----------------------|-------------------------------|----|---------------------|-----------|-------|
| Modelo corregido | 0,205 ^a | 5 | 0,041 | 1159,68 | 0,000 |
| Intersección | 1,425 | 1 | 1,425 | 40231,118 | 0,000 |
| Concentración | 0,200 | 2 | 0,100 | 2826,412 | 0,000 |
| Tiempo | 0,003 | 1 | 0,003 | 80,529 | 0,000 |
| Concentración*Tiempo | 0,002 | 2 | 0,001 | 32,529 | 0,001 |
| Error | 0,000 | 6 | 3,542E-5 | | |
| Total | 1,630 | 12 | | | |
| Total corregida | 0,206 | 11 | | | |

a. R cuadrado = 0,999

A partir de este análisis es posible señalar a las variables más significativas con una

confianza del 95 %, es decir, variables que poseen una cola de significación menor al 5 % (0,05). Para el presente caso las variables significativas están constituidas por la concentración y tiempo con un valor de 0,000 %.

- Análisis de Regresión

El modelo de regresión establece el modelo matemático que relaciona las variables más significativas con la variable respuesta. Para el análisis de regresión, se introdujo al SPSS las variables concentración y tiempo.

Tabla III-10 ANOVA

| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------|-------------------|----|------------------|---------|--------------------|
| 1 Regresión | 0,205 | 3 | 0,068 | 524,655 | 0,000 ^a |
| Residual | 0,001 | 8 | 0,000 | | |
| Total | 0,206 | 11 | | | |

a. Variables predictoras: (Constante), Concentración*Tiempo, Tiempo, Concentración

b. Variable dependiente: Acidez

Tabla III-11 Coeficientes

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | t | Sig. | Intervalo de confianza de 95.0% para B | |
|--------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------|--------|-------|--|-----------------|
| | B | Error típ. | Beta | | | Límite inferior | Límite superior |
| Constante | 0,345 | 0,003 | | 104,71 | 0,000 | 0,337 | 0,352 |
| Concentración | 0,158 | 0,004 | 0,986 | 39,234 | 0,000 | 0,149 | 0,167 |
| Tiempo | 0,015 | 0,003 | 0,118 | 4,685 | 0,002 | 0,008 | 0,023 |
| Concentración* Tiempo | 0,014 | 0,004 | 0,090 | 3,567 | 0,007 | 0,005 | 0,024 |

Variable dependiente: Acidez

Por lo tanto, a partir de los coeficientes proporcionados en la Tabla III-11, la ecuación matemática de la regresión es la siguiente:

$$Acidez = 0,345 + 0,158 * Concentración + 0,015 * Tiempo + 0,014 * Concentración * Tiempo$$

A partir de esta ecuación es posible establecer que la acidez depende significativamente de la concentración y del tiempo de inmersión.

3.4. SECADO

a) Pérdida de peso durante el secado de las rodajas de banano

El secado se realizó en una estufa con aire forzado que consta de dos bandejas, las cuales fueron esterilizadas previamente. Para la prueba se realizó el control solo en una bandeja que contenía 377 g de masa; se colocaron las rodajas de banano uniformemente en la bandeja y evitando no contaminarla, también se debe tener cuidado de colocar rápidamente la muestra en las bandejas para evitar la exposición de la misma a la atmósfera, para evitar que adquiera humedad del medio ambiente. Se seca la muestra hasta peso constante para generar la curva de secado.

Para registrar la pérdida de peso de las rodajas de banano, los datos se registraron con intervalos de 20 min.

En la tabla III-12 se observa la pérdida de peso de las rodajas de banano durante su secado a condiciones de temperatura de 60 °C, con un espesor de rodajas de 2mm y concentración de 3 g/l de ácido cítrico, con mediciones en intervalos de tiempo de 20 min.

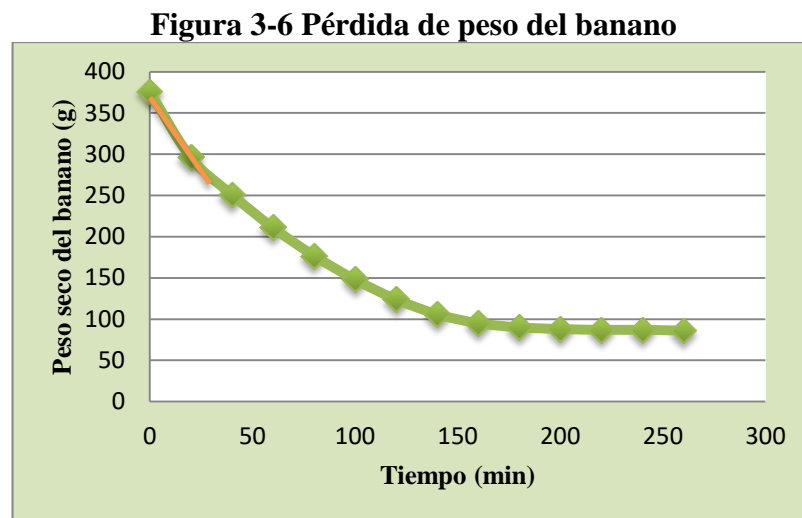
Tabla III-12 Pérdida de peso en el secado del banano

| Tiempo (min) | Peso seco (g) |
|---------------------|----------------------|
| 0 | 376 |
| 20 | 296 |
| 40 | 251 |
| 60 | 211 |
| 80 | 177 |
| 100 | 148 |
| 120 | 124 |
| 140 | 106 |
| 160 | 95 |

| | |
|-----|----|
| 180 | 90 |
| 200 | 88 |
| 220 | 87 |
| 240 | 87 |
| 260 | 86 |

Fuente: Elaboración propia

La figura 3-6 muestra la curva obtenida en base a estos resultados.



Fuente: Elaboración propia

En la figura se puede apreciar que el transcurso del inicio del secado hasta aproximadamente 25 min, es la etapa de calentamiento inicial del sólido. En esta etapa se calienta y se elimina el agua libre que se encuentra en la muestra. Posterior a esto la velocidad de secado permanece constante hasta que la muestra alcanza el contenido de humedad crítica en un tiempo estimado de 180 min; a partir de esa etapa la velocidad de secado comienza a disminuir hasta llegar a la humedad de equilibrio, donde el peso es constante con el transcurso del tiempo.

3) Determinación del contenido de humedad

La expresión matemática citada por Contreras, (2005), se reordenó para realizar el cálculo del contenido de humedad en base seca, se obtiene la siguiente ecuación:

$$X = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (3-2)$$

Donde:

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

m_i = Masa de muestra de banano (g)

m_{SS} = Masa de sólido seco de banano (g)

Para realizar los cálculos del contenido de humedad en base seca, se consideró el contenido de humedad de la materia prima. La masa de sólido seco se puede estimar a través de la ecuación (3-3).

$$m_{SS} = m_i - m_i(X_{m_i}^{H_2O}) \quad (3-3)$$

Se utiliza los datos de la tabla III-12 donde se presentan los resultados de pérdida de peso en el secado del banano a condiciones de temperatura de 60 °C, espesor de 2 mm y concentración de 3 g/l, y se reemplazan los datos en la ecuación (3-2) para obtener la cantidad de humedad en base seca.

En la tabla III-13 podemos observar la variación del contenido de humedad en base seca del banano, en función del tiempo medido en intervalos de 20 min

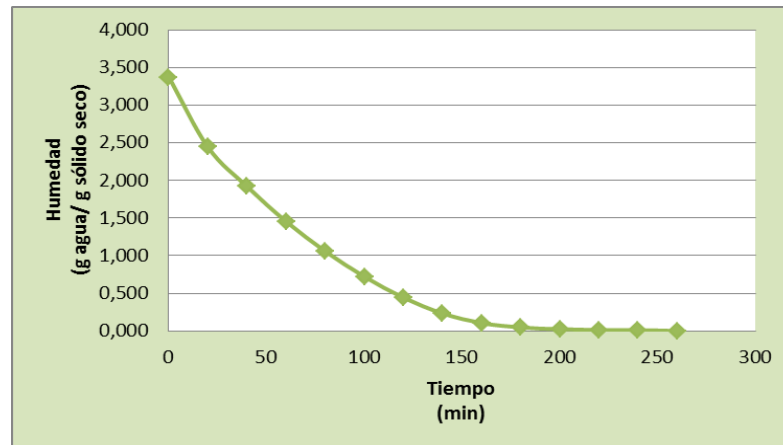
Tabla III-13 Variación del contenido de humedad en base seca

| Tiempo (min) | Peso seco (g) | Humedad (kgH ₂ O/kg SS) |
|--------------|---------------|------------------------------------|
| 0 | 376 | 3,372 |
| 20 | 296 | 2,442 |
| 40 | 251 | 1,919 |
| 60 | 211 | 1,453 |
| 80 | 177 | 1,058 |
| 100 | 148 | 0,721 |
| 120 | 124 | 0,442 |
| 140 | 106 | 0,233 |
| 160 | 95 | 0,105 |
| 180 | 90 | 0,047 |
| 200 | 88 | 0,023 |
| 220 | 87 | 0,012 |
| 240 | 87 | 0,012 |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-7 se muestra los resultados de la variación de contenido de humedad en base seca en las condiciones arriba mencionadas y extrayendo los datos de la tabla III-13.

Figura 3-6 Variación del contenido de humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura, el comportamiento de la variación de la humedad es muy similar al comportamiento de pérdida de peso.

Podemos concluir que para llegar al final de nuestro secado necesitamos aproximadamente 260 min de la muestra dentro de la estufa, y se puede apreciar en la figura que la variación de la humedad al final se mantiene constante

3) Determinación de la cinética de secado

Para la determinación de la cinética se tiene como parámetros de operación los valores de 60 °C para la temperatura y 2 mm de espesor en la bandeja.

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en una unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ($- dX/dt$) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperaturas, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

$$W = \frac{SS}{A} \left(- \frac{dX}{dt} \right) \quad (3-4)$$

Donde:

SS = Peso de solido seco, (kg)

A = Área de la superficie expuesta, (m²)

W = Velocidad de secado, (kg/m²*h)

X = Humedad en base seca, (kg H₂O/kg sólido seco)

Método de tres puntos:

Para hallar la función a través de la cual se encuentre una correlación de los datos que representa la variación de la humedad en función al tiempo, de manera que encontremos la pendiente en cada punto a intervalos constantes, y se plantea posteriormente el ajuste a un modelo potencial en el cual se relaciona la velocidad de secado con la humedad del sólido en una ecuación de la forma:

$$y = ax^n$$

Para determinar la velocidad de secado en base a los datos de humedad vs. tiempo obtenidos en las experiencias de laboratorio, se utilizó el método de los tres puntos, el mismo que sirve para encontrar la pendiente en cada uno de los puntos observados, por lo que para determinar la cinética de secado se plantea la ecuación (3-5).

$$- \frac{dX}{dt} = k X^n \quad (3-5)$$

Donde:

k = Constante para la cinética

n = Número de orden de la cinética

h = Intervalo de tiempo, h

y₀, y₁, y₂ = datos tomados de las tablas.

H = 0,333 h

$$y_a = \frac{-3y_0 + 4y_1 - y_2}{2h} \quad (3-6)$$

$$y_b = \frac{-y_0 + y_2}{2h} \quad (3-7)$$

$$y_c = \frac{y_0 - 4y_1 + 3y_2}{2h} \quad (3-8)$$

Los datos de la tabla III-13 se reemplazan en las ecuaciones (3-6), (3-7) y (3-8), para hallar los cálculos de la cinética de secado con el método de los tres puntos, con un intervalo de tiempo de 0,333 horas.

Los demás cálculos que se realizaron para obtener la cinética de secado se encuentran en el anexo G.

Posteriormente la pendiente debe correlacionarse con la variación de la humedad, linealizando la ecuación potencial planteada de la siguiente forma:

$$\ln -\frac{dX}{dt} = \ln k + n \ln X$$

$$y = a + bX$$

Donde:

$$b = n \quad a = \ln k \text{ entonces } K = e^a$$

De donde se obtienen los datos de K y el orden n de la ecuación cinética.

La tabla III-14, muestra los resultados de la cinética de secado para la muestra de rodajas de banano; los datos experimentales de peso y contenido de humedad en base seca fueron extraídos de la tabla III-13 y los datos calculados fueron extraídos de la tabla G-1 (ver ANEXO G). Las condiciones del proceso de secado fueron las siguientes:

$$SS = \text{Peso de sólido seco} = 0,086 \text{ kg}$$

$$A = \text{Área de la superficie expuesta} = 0,1692 \text{ m}^2$$

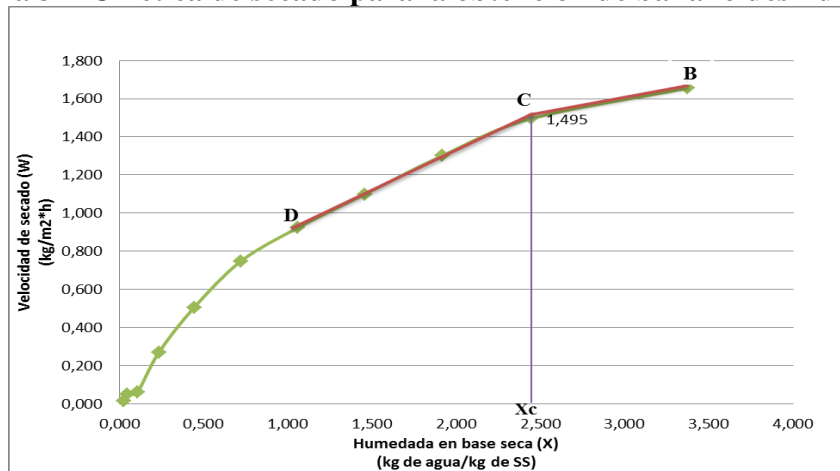
Tabla III-14 Datos de la velocidad de secado

| Tiempo h | Peso kg | X kg/kg | (-dX/dt) | W kg/m ² *h | ln X | ln W |
|----------|---------|---------|----------|------------------------|--------|--------|
| 0 | 0,376 | 3,372 | | | | |
| 0,333 | 0,296 | 2,442 | 1,655 | 0,841 | -1,217 | -0,173 |
| 0,667 | 0,251 | 1,919 | 1,495 | 0,760 | -1,382 | -0,275 |
| 1 | 0,211 | 1,453 | 1,303 | 0,662 | -1,556 | -0,412 |
| 1,333 | 0,177 | 1,058 | 1,098 | 0,558 | -1,732 | -0,583 |
| 1,667 | 0,148 | 0,721 | 0,924 | 0,470 | -1,911 | -0,756 |
| 2 | 0,124 | 0,442 | 0,749 | 0,381 | -2,087 | -0,966 |
| 2,333 | 0,106 | 0,233 | 0,506 | 0,257 | -2,244 | -1,359 |
| 2,667 | 0,095 | 0,105 | 0,271 | 0,137 | -2,354 | -1,984 |
| 3 | 0,09 | 0,047 | 0,062 | 0,031 | -2,408 | -3,465 |
| 3,333 | 0,088 | 0,023 | 0,051 | 0,026 | -2,430 | -3,663 |
| 3,667 | 0,087 | 0,012 | 0,015 | 0,008 | -2,442 | -4,876 |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-7, se muestra la curva de velocidad de secado experimental para las rodajas de banano, en función del contenido de humedad, datos extraídos de la tabla III-14.

Figura 3-7 Cinética de secado para la obtención de banano deshidratado



Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa el comportamiento de la velocidad de secado que se tiene en función del contenido de humedad en base seca; desde el inicio la velocidad del sólido disminuye linealmente con el tiempo de secado permaneciendo constante

en la etapa (B-C), en la cual se evapora la humedad libre que tienen las rodajas de banano; en este tiempo la temperatura del sólido se mantiene igual a la temperatura del gas húmedo que es el aire que está en el secador, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final en la etapa de calentamiento.

Cuando la humedad desciende por debajo de un nivel determinado, denominado humedad crítica X_c , ya no llega suficiente agua a la superficie para mantener la máxima evaporación. En este momento empieza a eliminar el agua ligada (C-D). El sólido aumenta la temperatura y la velocidad de secado desciende tendiendo a hacerse cero conforme se acerca a la humedad de equilibrio.

Con los datos obtenidos por el método de los tres puntos se obtiene:

$$a = 4,1845$$

$$b = 2,9656$$

Donde:

$$n = b = 2,9656$$

$$K = e^a = e^{4,1845} = 65,661$$

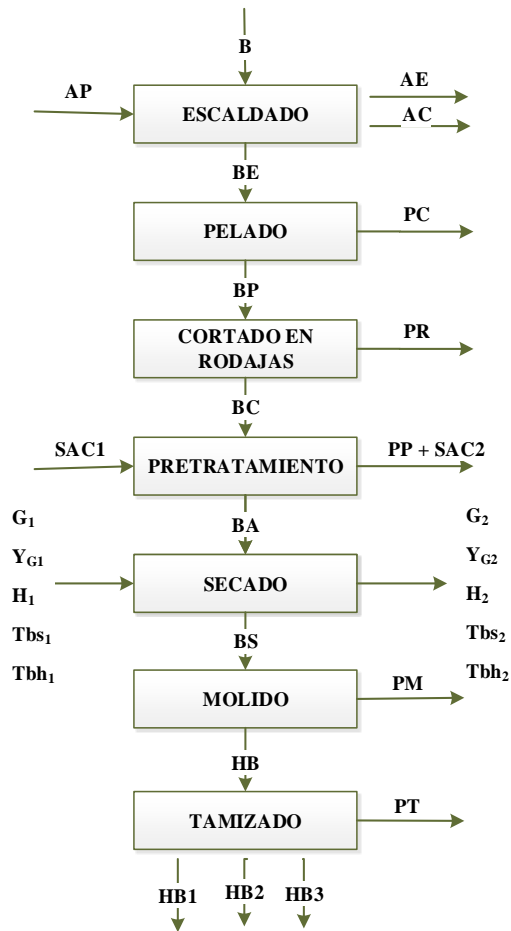
$$-\frac{dX}{dt} = 65,661 X^{2,9656}$$

La cual se constituye en la cinética de secado.

3.5. BALANCE DE MATERIA

El balance de materia para el proceso de obtención de harina de banano variedad Cavendish, se realizó teniendo en cuenta el siguiente diagrama de bloques representado en la figura 3-8.

Figura 3-8 Diagrama de bloques del balance de materia para la obtención de Harina de Banano



Fuente: Elaboración propia

Donde:

B = cantidad de banano (g)

AP = cantidad de agua potable (g)

AE = cantidad de agua evaporada (g)

AC = cantidad de agua caliente (g)

BE = cantidad de banano escaldado (g)

PC = cantidad de pérdida de cáscara (g)

BP = cantidad de banano pelado (g)

PR = cantidad de pérdida de rodajas (g)

BC = cantidad de banano cortado (g)

SAC1 = cantidad de solución de ácido cítrico a la entrada (g)

SAC2 = cantidad de solución de ácido cítrico a la salida (g)

PP = cantidad de pérdida en el pretratamiento (g)

BA = cantidad de banano con ácido (g)

G_1 = cantidad de aire a la entrada del proceso (m^3/h)

G_2 = cantidad de aire a la salida del proceso (m^3/h)

BS = cantidad de banano seco (g)

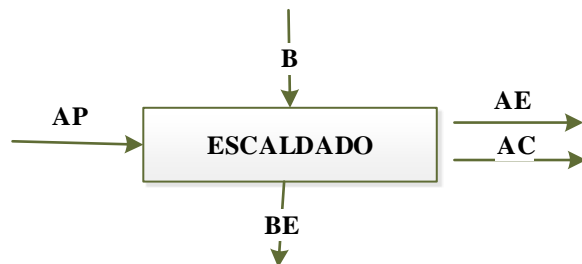
PM = cantidad de pérdida en el molino (g)

HB = cantidad de harina de banano (g)

PT = cantidad de pérdida en el tamizado (g)

HB1, HB2 Y HB3 = clasificación de la harina por tamaño de partícula (g)

BALANCE DE MATERIA EN EL ESCALDADO



Balance general de masa para el proceso de escaldado

$$B + AP = BE + AE + AC \quad (3b-1)$$

Donde:

$$B = 2056 \text{ g} \quad AP = 3500 \text{ g} \quad BE = 2055 \text{ g} \quad AC = 3388 \text{ g}$$

La cantidad de agua evaporada será:

$$\Delta W = W_i - W_f \quad (3b-2)$$

Donde:

$$\Delta W = AE = \text{Cantidad de agua evaporada}$$

$$W_i = AP = \text{Cantidad de agua inicial}$$

$$W_f = AC = \text{Cantidad de agua final}$$

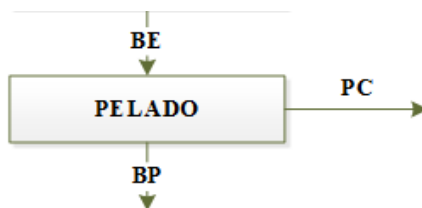
Reordenando la ecuación (3b-2):

$$AE = AP - AC \quad (3b-3)$$

$$AE = (3500 - 3388) \text{ g}$$

$$AE = 112 \text{ g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE PELADO



Balance general de masa para el proceso de pelado

$$BE = BP + PC \quad (3b-4)$$

Donde:

$$BE = 2055 \text{ g} \qquad BP = 1228 \text{ g}$$

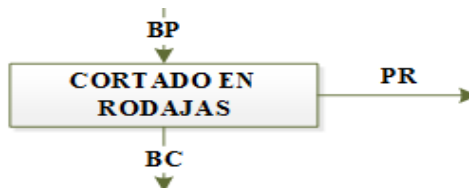
Despejando PC de la ecuación (3b-4):

$$PC = BE - BP \qquad (3b-5)$$

$$PC = (2055 - 1228)g$$

$$PC = 827g$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE CORTADO



Balance general de masa para el proceso de cortado

$$BP = BC + PR \qquad (3b-6)$$

Donde:

$$BP = 1228 \text{ g} \qquad BC = 1194 \text{ g}$$

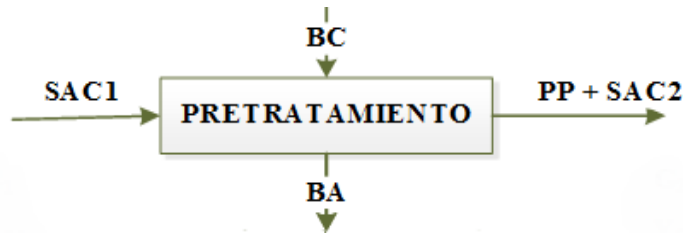
Despejando PR de la ecuación (3b-6):

$$PR = BP - BC \qquad (3b-7)$$

$$PR = (1228 - 1194)g$$

$$PR = 34g$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE INMERSIÓN EN SOLUCIÓN



Balance general de masa para el proceso de inmersión en solución

$$BC + SAC1 = BA + PP + SAC2 \quad (3b-8)$$

Donde:

$$BC = 1194g \quad BA = 1293g \quad SAC1 = 2000g \quad SAC2 = 1897g$$

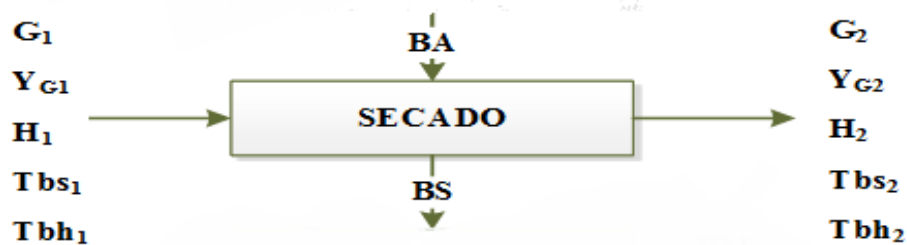
Reordenando la ecuación (3b-8) para calcular PP tenemos:

$$PP = BC + SAC1 - BA - SAC2 \quad (3b-9)$$

$$PP = (1194 + 2000 - 1293 - 1897)g$$

$$PP = 4 g$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO



Balance general de masa para el proceso de secado

$$BA + G_1 = BS + G_2 \quad (3b-10)$$

Donde:

$$BA = 1293g$$

Balance parcial en base seca en el proceso de secado

$$BAX_{BA} + G_1Y_{G1} = BSX_{BS} + G_2Y_{G2} \quad (3b-11)$$

Considerando un sistema abierto:

$$G_1 = G_2 = G$$

$$BA = BS = m_{ss} \text{ (Cantidad del producto seco (g))}$$

Reordenando la ecuación (3b-11) tenemos:

$$m_{ss}X_{BA} + GY_{G1} = m_{ss}X_{BS} + GY_{G2} \quad (3b-12)$$

$$m_{ss}X_{BA} - m_{ss}X_{BS} = GY_{G2} - GY_{G1} \quad (3b-13)$$

$$m_{ss}(X_{BA} - X_{BS}) = G(Y_{G2} - Y_{G1}) \quad (3b-14)$$

La tabla III-15, muestra los resultados obtenidos de las propiedades psicométricas del aire de entrada y salida del secador en base a las temperaturas de bulbo seco (Tbs) y temperatura de bulbo húmedo (Tbh), las cuales se obtuvieron, utilizando la carta psicométrica (ver ANEXO I) que se encuentra a condiciones de presión 610 mmHg de la ciudad de Tarija.

Tabla III-15 Propiedades psicométricas del aire

| Propiedades | Entrada del aire | Salida del aire |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|
| Tbs (°C) | 25 | 42 |
| Tbh (°C) | 18 | 37 |
| HR (%) | 57 | 77 |
| Y (kg agua/kg aire) | 0,0135 | 0,0501 |
| H (kcal/kg) | 6,80 | 25 |
| V _e (m ³ /kg) | 0,835 | 0,89 |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

HR = Humedad relativa (%)

Y = Humedad absoluta (kg agua/ kg aire)

H = Entalpia (kcal/ kg)

V_e = Volumen específico (m^3/kg)

Para calcular la cantidad del sólido seco del alimento se tomó en cuenta la expresión matemática (3-3):

$$m_{SS} = m_i(1 - X_{m_i}^{H_2O})$$

Reordenándola en función de los datos obtenidos en el secado, tenemos:

$$BS = BA (1 - X_{BA}^{H_2O}) \quad (3b-15)$$

Donde:

$m_{SS} = BS$ = Cantidad de producto seco

$m_i = BA$ = Cantidad de alimento húmedo

$X_{m_i}^{H_2O} = X_{BA}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad del alimento

Reemplazamos los datos en la ecuación (3b-15), tenemos:

$$BS = 1293(1 - 0,7168) = 366,18 \text{ g}$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada en el secador se utiliza la expresión matemática (3b-16), citada por (Valiente, 1994).

$$WE = SS(W_1 - W_2) \quad (3b-16)$$

Donde:

WE = Cantidad de agua evaporada (g)

W_2 = Contenido de humedad en base seca del alimento (g agua/ g sólido seco)

W_1 = Contenido de humedad seco del producto deshidratado (g agua/ g sólido seco)

Reordenando la ecuación (3b-16), en función del contenido de humedad del alimento del diagrama de balance en el secado, tenemos:

$$WE = BS(X_{BA} - X_{BS}) \quad (3b-17)$$

Donde:

$X_{BS} = 0,012$ g agua/ g sólido seco (extraídos de la tabla III-13).

$X_{BA} = 3,376$ g agua/ g sólido seco (extraídos de la tabla III-13).

Por tanto: $WE = 366,18 (3,376 - 0,012)g$

$WE = 1231$ g de agua evaporada en el proceso de secado.

Despejemos G de la ecuación (3b-14), se calcula la cantidad de caudal de aire utilizado, tomando en cuenta el tiempo de secado de las rodajas de banano de 4,33 h.

$$G = \frac{m_{SS}(X_{BA} - X_{BS})}{(Y_{G2} - Y_{G1})} \quad (3b-18)$$

$$G = \frac{366,18 (3,376 - 0,012)g \text{ agua}}{(0,0501 - 0,0135) \frac{g \text{ agua}}{g \text{ aire seco}}}$$

$$G = \frac{33656,54 \text{ g aire seco}}{4,33 \text{ h}}$$

$G = 7772,87$ g aire seco/ h

Para calcular la cantidad de caudal de aire se tomó en cuenta la expresión matemática (3b-19) citada por Valiente, (1994). El volumen específico del aire a la salida de la estufa, es $0,89 \text{ m}^3/\text{kg} = 0,00089 \text{ m}^3/\text{g}$, dato extraído de la tabla III-15.

$$G_2 = G \times V_e \quad (3b-19)$$

Donde:

G = Volumen de aire seco (m^3/h)

V_e = Volumen específico del aire húmedo (m^3/g)

Por lo tanto:

$$G_2 = 7772,87 \frac{g}{h} \times 0,00089 \frac{m^3}{g}$$

$$G_2 = 6,92 \text{ m}^3/h$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida de la estufa, se tomó en cuenta la expresión matemática (3b-20).

$$m_{aire} = \frac{WE}{(Y_2 - Y_1) \times t_s} \quad (3b-20)$$

Donde:

m_{aire} = Caudal másico de aire (g aire seco/h)

WE = Cantidad de agua evaporada en el proceso de secado (g)

Y_2 = Contenido de humedad absoluta a la salida de la estufa (g agua/ g aire seco)

Y_1 = Contenido de humedad absoluta a la entrada de la estufa (g agua/ g aire seco)

t_s = Tiempo de secado del banano = 4,33 h

Realizando los reemplazos de datos en la expresión matemática (3b-20), tenemos:

$$m_{aire} = \frac{1231 \text{ g de agua}}{(0,0501 - 0,0135) \frac{g \text{ de agua}}{g \text{ aire seco}} \times 4,33 h}$$

$$m_{aire} = 7767,64 \text{ g aire seco/h}$$

Para calcular el caudal de aire a la entrada, se tomó en cuenta la expresión matemática (3b-21) citada por Valiente, (1994). Asimismo, el volumen de aire correspondiente al aire de entrada de la estufa, en base a condiciones del aire de entrada es de $0,835 \text{ m}^3/\text{kg} = 0,000835 \text{ m}^3/\text{g}$, dato extraído de la tabla III-15.

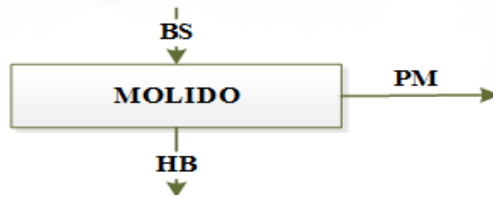
$$G_1 = m_{\text{aire}} \times V_e \quad (3b-21)$$

Por tanto:

$$G_1 = 7767,64 \frac{\text{g}}{\text{h}} \times 0,000835 \frac{\text{m}^3}{\text{g}}$$

$$G_1 = 6,486 \text{ m}^3/\text{h}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MOLIDO



Balance general de masa para el proceso de molido

$$BS = HB + PM \quad (3b-22)$$

Donde:

$$BS = 366\text{g} \quad HB = 362\text{g}$$

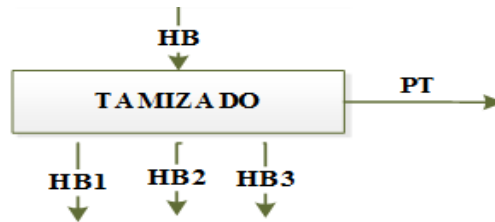
Despejando PM de la ecuación (3b-22):

$$PM = BS - HB \quad (3b-23)$$

$$PM = (366 - 362)\text{g}$$

$$PM = 4 \text{ g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE TAMIZADO



Balance general de masa en el proceso de tamizado

$$HB = HB1 + HB2 + HB3 + PT \quad (3b-24)$$

Donde:

$$HB = 362g$$

HB1 = 22g (harina de banano con tamaño de partícula de 0,5mm).

HB2 = 294g (harina de banano con tamaño de partícula de 0,25mm).

HB3 = 48g (harina de banano con tamaño de partícula de 0,063mm).

Despejando PT de la ecuación (3b-24):

$$PT = HB - HB1 + HB2 + HB3 \quad (3b-25)$$

$$PT = 366g - 22g + 294g + 48g$$

$$PT = 2g$$

- *Costo estimado para 1kg de harina de banano (tomando en cuenta solo materia prima)*

| Materia prima (M.P.) | Cantidad aprox. de M.P. | Peso aprox. de un banano | Cantidad aprox. de bananos | Costo unitario aprox. del banano | Costo estimado de 1 kg de harina de banano |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|--|
| Banano verde | 5679,56 g | 154,06 g | 37 unid. | 0,35 bs | 13 bs |

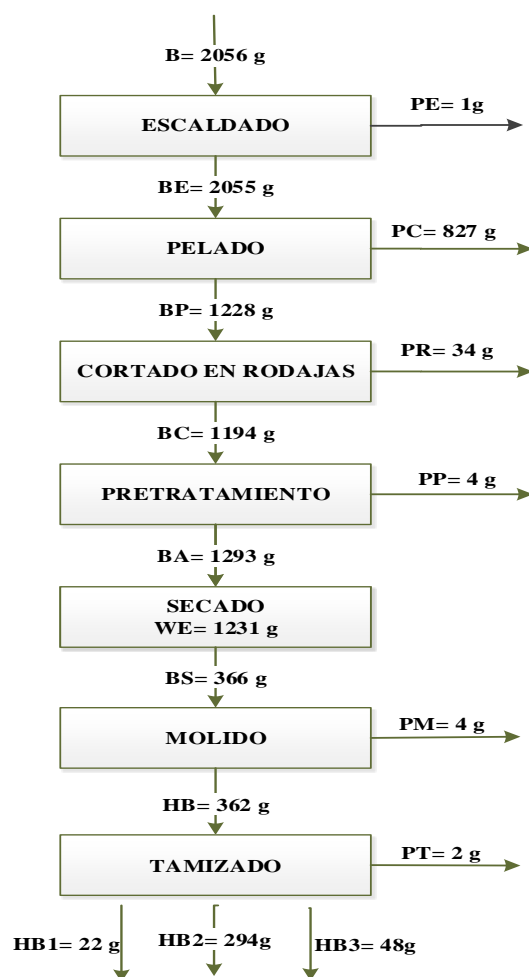
Fuente: Elaboración propia

3.5.1. RESUMEN GENERAL DEL BALANCE DE MATERIA

En la figura 3-9, se puede observar el resumen general del balance de materia y pérdidas que hubo en cada proceso para la obtención de harina de banano variedad Cavendish.

El rendimiento del proceso para la elaboración de harina de banano teniendo en cuenta el balance de materia fue del 17,61 %.

Figura 3-9 Resumen general del balance de materia para la obtención de harina de banano

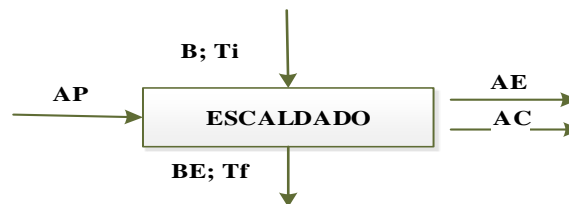


Fuente: Elaboración propia

3.6. BALANCE DE ENERGÍA

Se realizaron dos balances de energía, estimando que en ambos procesos hay una transferencia de calor al producto, los balances se realizaron en el proceso de escaldado y en el proceso de secado.

BALANCE DE ENERGIA EN EL PROCESO DE ESCALDADO



Para determinar la cantidad de calor requerida durante el escaldado se tomó en cuenta la siguiente ecuación citada por (Lomas, 2002).

$$Q = m * cp * \Delta T + \lambda * V \quad (3b-26)$$

Considerando que es un sistema abierto tenemos:

$$Q_{GANADO} = -Q_{CEDIDO} \quad (3b-27)$$

Ordenando la ecuación (3b-26), en función de las condiciones del proceso (recipientes de acero inoxidable y muestras de banano) tenemos:

$$Q_E = m_B * cp_B * \Delta T_B + m_{H2O} * cp_{H2O} * \Delta T_{H2O} + m_{AL} * cp_{AL} * \Delta T_{AL} + \lambda_{H2O} * m_{H2O} \quad (3b-28)$$

Donde:

Q_E = Cantidad de calor para el escaldado (kcal)

m_B = Cantidad de masa del banano (kg)

cp_B = Calor específico del banano (kJ/kg K)

ΔT_B = Cambio de temperatura en el banano (K)

m_{H_2O} = Cantidad de masa del agua (kg)

cp_{H_2O} = Calor específico del agua (kJ/kg K)

ΔT_{H_2O} = Cambio de temperatura en el agua (K)

m_{AL} = Cantidad de masa del aluminio (kg)

cp_{AL} = Calor específico del aluminio (kJ/kg K)

ΔT_{AL} = Cambio de temperatura en el aluminio (K)

λ_{H_2O} = Calor latente del agua (kJ/kg)

Donde:

$$m_B = 2,056 \text{ kg} ; \quad m_{H_2O} = 3,5 \text{ kg} ; \quad m_{AL} = 0,637 \text{ kg}$$

$$\Delta T_B = T_{Bf} - T_{Bi} = (344 - 295)K = 49 K$$

$$\Delta T_{H_2O} = \Delta T_{AL} = T_f - T_i = (367 - 297)K = 70 K$$

$$cp_B = 0,00335 \text{ kJ/kg K} \quad (\text{Alvarado J., 2001})$$

$$cp_{H_2O} = 4,18 \text{ kJ/kg K} \quad (\text{Lewis, 1993})$$

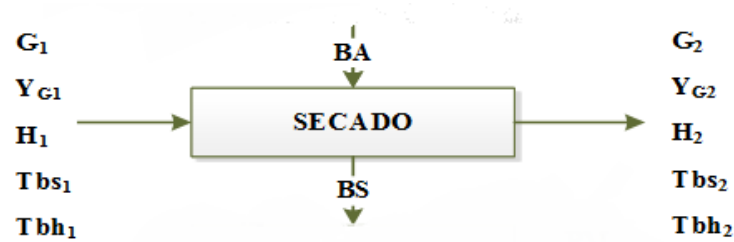
$$cp_{AL} = 0,896 \text{ kJ/kg K} \quad (\text{Singh y Heldman, 1997})$$

$$\lambda_{H_2O} = 2278,0 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Lomas, 2010})$$

Reemplazando los datos en la ecuación (3b-28), tenemos:

$$Q_E = 2,056 \text{ kg} * 0,00335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * 49 K + 3,5 \text{ kg} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * 70 K + 0,637 \text{ kg} * 0,896 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * 70 K + 2278,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 3,5 \text{ kg} Q_E = 9037,39 \text{ kJ} = 2159,988 \text{ kcal}$$

BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE SECADO



Para la determinación de la cantidad de calor que se requiere para el secado de las rodajas de banano se utilizó la expresión matemática (3b-29), citada por Valiente (1994).

$$Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T \quad (3b-29)$$

Donde:

Q_{vap} = Cantidad de calor por evaporación (kcal/h)

m_{aire} = Caudal másico de aire (kg/h)

Cp_{aire} = Calor específico del agua (kcal/kg°C)

ΔT = Variación de temperatura (°C)

La ecuación (3b-29) también puede ser expresada como:

$$\Delta H = Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T \quad (3b-30)$$

Esta ecuación es válida cuando no existe reacción química o cambio de estado entre los componentes que intervienen en el proceso de transformación agroalimentario. Es decir, para sistema abierto.

La expresión matemática (3b-30), se puede expresar como una función del cambio de entalpías iniciales y finales, del aire en el secador:

$$Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T = m_{aire} * (H_{final}^{\circ} - H_{inicial}^{\circ}) \quad (3b-31)$$

Reemplazando los valores encontrados de propiedades psicométricas de la tabla (3b-31) para el aire, tenemos:

$$Q_{vap} = 7,76764 \frac{kg}{h} * (25 - 6,80) \frac{kcal}{kg} * 4,33h$$

$$Q_{vap} = 612,137 kcal$$

La cantidad de calor requerida en la producción de “Harina de banano” será:

$$Q_{total} = Q_{vap} + Q_E \quad (3b-32)$$

Reemplazando los valores obtenidos:

$$Q_{total} = 612,137 kcal + 2159,988 kcal$$

$$Q_{total} = 2772,125 kcal$$

3.6. EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

En la siguiente tabla mostramos los datos de los análisis fisicoquímicos realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” de la harina de banano variedad Cavendish que obtuvimos experimentalmente.

Tabla III-16 Análisis fisicoquímicos de la “Harina de Banano”

| Parámetros | Unidad | Resultado |
|-------------------------|---------|-----------|
| Humedad | % | 3,27 |
| Cenizas | % | 3,99 |
| Fibra | % | 1,13 |
| Materia grasa | % | 0,65 |
| Proteína total (N*6,25) | % | 4,8 |
| Hidratos de carbono | % | 86,16 |
| Azúcares totales | % | 3,05 |
| Gluten húmedo | % | n.d. |
| Potasio total | mg/100g | 1037 |
| Calcio total | mg/100g | 12,3 |

Fuente: CEANID, 2016.

En la tabla III-16, se muestra que varios de los parámetros aumentaron su porcentaje, Esto se debe a que al secarse las rodajas de banano se concentraron sus nutrientes; a excepción de la humedad que dio un resultado de 3,27%, el cual está dentro de los parámetros requeridos de humedad en harinas.

También se puede observar el bajo contenido de azúcar, esto debido a que utilizamos banano verde y la no existencia de gluten en esta harina, por lo que recalcamos el beneficio que esto tiene para las personas celíacas.

A continuación presentamos los análisis microbiológicos que se realizaron a la harina de banano.

Tabla III-17 Análisis microbiológicos de “Harina de Banano”

| Parámetros | Unidad | Resultado |
|--------------------|--------|---------------------|
| Coliformes totales | ufc/g | < 10 (*) |
| Coliformes fecales | ufc/g | < 10 (*) |
| Mohos y levaduras | ufc/g | 1,0*10 ² |

Fuente: CEANID, 2016.

Los resultados muestran que no existe formación de colonias ni en coliformes totales, ni en coliformes fecales, existe una presencia casi insignificativa de mohos y levaduras, con lo que podemos decir que la harina de banano se encuentra en óptimas condiciones para el consumo humano.

En la tabla III-18, se realizó una comparación de las propiedades fisicoquímicas de la harina de banano que se obtuvo experimentalmente en este trabajo, con las propiedades fisicoquímicas de los proyectos: “Producción y caracterización físico-química de harinas de banano y plátano”, realizado en México y “Perfil de mercado harina de banano”, realizado en Perú.

Tabla III-18 Comparación de los análisis fisicoquímicos de la “Harina de banano”

| Parámetros | Unidad | Datos experimentales (CEANID) | Datos proyecto de Perú | Datos proyecto de México |
|-------------------------|--------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Humedad | % | 3,27 | 14 | 4,6 |
| Cenizas | % | 3,99 | 2,5 | 2,09 |
| Fibra | % | 1,13 | | 1,25 |
| Materia grasa | % | 0,65 | 0,4 | 0,52 |
| Proteína total (N*6,25) | % | 4,8 | 3,1 | 3,87 |
| Hidratos de carbono | % | 86,16 | 9,6 | 87,67 |

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene que tomar en cuenta que la harina obtenida en cada lugar depende de las propiedades fisicoquímicas del banano del lugar, del método y características empleados para la obtención de la harina; sin embargo, se puede observar que la harina de banano obtenida experimentalmente tiene valores casi parecidos en comparación con las harinas de los proyectos de Perú y México, contiene mayor porcentaje de cenizas, materia grasa y proteína total y menor cantidad de fibra y humedad con referencia a las otras.

Se puede decir que la harina de banano obtenida, durante la elaboración de este proyecto de grado, es aceptable para suplemento alimentario dado que tiene buenas propiedades nutritivas.

3.7. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO FINAL

La harina obtenida mostró características típicas de la materia prima, manteniendo su color y olor característico; al tacto tenía buena presencia debido a su granulometría, no presente aglomerados y el sabor se podía percibir agradable al gusto.

El análisis sensorial se lo realizó con un panel de 15 jueces, docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Química, quienes calificaron el grado de satisfacción de la harina de banano procesada en diferentes muestras.

El modelo del test que se empleó para la evaluación de aceptabilidad se encuentra en el anexo I. Se utilizó el mismo método de evaluación y calificación del anterior análisis sensorial (para la determinación de concentración y tiempo de trabajo); se evaluó mediante el método de escala hedónica de 9 puntos, donde se calificaron los

siguientes atributos: sabor, color, olor y textura, en la cual cada juez eligió las opciones y puntajes que se puede observar en el cuadro 3-1.

Así mismo los resultados de la sub-calificación están expresados en porcentaje (%), la forma de calificación se pueden observar en el ANEXO C. El porcentaje de calificación de importancia dentro de las propiedades de la harina de banano, fue del 30% tanto para el atributo sabor como para atributo color y para el atributo olor y atributo textura fue el 20% individualmente, haciendo una suma total de 100% que sería una calificación de agrado excesivo.

Se presentaron tres diferentes muestras a los jueces (ver figura 3-10), cada muestra presentaba preparaciones diferentes de la harina de banano que las describimos a continuación:

- Muestra 1: se realizó una bebida llamada en Venezuela “atole”, se la prepara con dos ingredientes principales: leche natural y harina de banano, su consistencia es líquida espesa.
- Muestra 2: se realizaron galletitas de pura harina de banano especialmente, presentó una consistencia sólida.
- Muestra 3: se realizó un queque, con una mezcla de harinas: harina de banano y harina de trigo, también contenía maicena, hojuelas de quinua y almendras, su consistencia es sólida chiclosa.

Figura 3-10 Productos de harina de banano

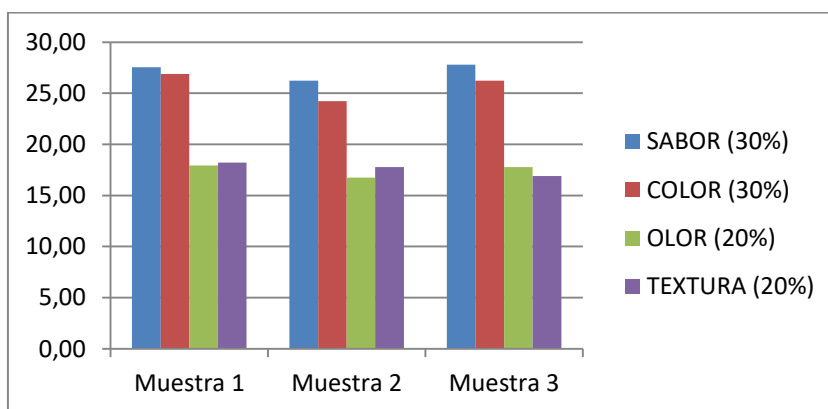


Fuente: Elaboración propia

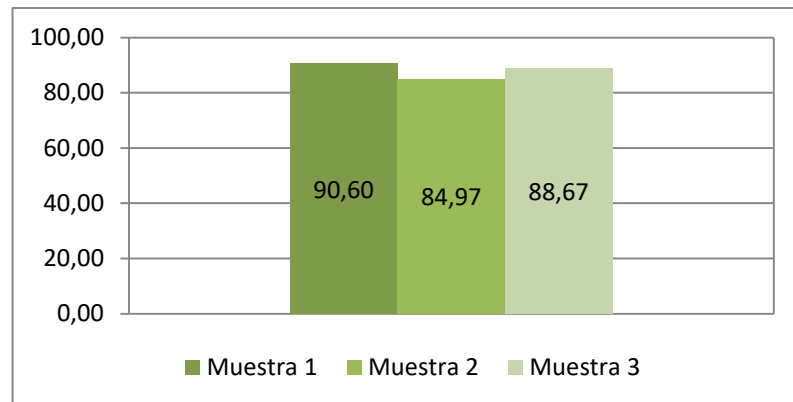
La evaluación se la realizó de forma individual con el objeto de no ejercer influencia sobre los demás. La prueba la realizo en la sala de docentes de Ingeniería Química. A los panelistas se les explicó de antemano las características generales de la evaluación.

La evaluación se realizó el mismo día para todos los panelistas y concluidas las mismas, se tabularon los resultados y con esta información obtenida se determinaron los promedios finales para cada muestra, como se puede observar en el anexo I. A continuación se muestra un gráfico resumen con los resultados finales obtenidos.

Figura 3-11 Resultados del análisis sensorial de la harina de banano



Como se puede observar en la figura 3-11, todas las muestras presentaron un puntaje de agrado favorable, las muestras 1 y 3 con las que presentaron mayor aceptación en el atributo sabor y color; la muestra 1 presenta promedios favorables de agrado en el atributo olor y textura; a continuación presentamos la figura 3-12, que contiene los resultados generales promedio para cada muestra.

Figura 3-12 Resultados del análisis sensorial de la harina de banano

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura anterior, la muestra 1, Atole fue el que presentó más aceptabilidad con los jueces teniendo una puntuación de 90,60% de agrado, seguida de la muestra 3, queque, que presentó un porcentaje de agrado de 88,67% y por último esta la muestra 2, galletitas de banano, con un porcentaje de agrado de 84,97%.

Con estos resultados se puede concluir que el producto obtenido “**harina de banano**”, tiene un buen porcentaje de aceptación con los jueces, ya que obtuvo promedios por encima del 80% de agrado, y esta harina puede usarse de diferentes maneras obteniendo productos de calidad y sobre todo de agrado para la población.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Según todo lo descrito y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se establecen las siguientes conclusiones:

- En base a las condiciones propuestas para el proceso de producción y en el diseño experimental, se obtuvo harina de banano variedad Cavendish.
- Los resultados promedio de las propiedades físicas del banano son:

| Peso del banano | Diámetro | Longitud | Peso de la cáscara | Porción no utilizada | Porción utilizada |
|-----------------|----------|----------|--------------------|----------------------|-------------------|
| 154,06 g | 12 cm | 22,55 cm | 63,31 g | 41,106 % | 58,894 % |

- Los resultados alcanzados en el análisis fisicoquímico realizados en el CEANID del banano variedad Cavendish, son los siguientes:

| Parámetro | Resultado |
|-------------------------|---------------|
| Humedad | 71,68 % |
| Cenizas | 0,32 % |
| Fibra | 0,1 % |
| Materia grasa | 1,15 % |
| Proteína total (N*6.25) | 1,17 % |
| Hidratos de carbono | 25,58 % |
| Calcio total | 4,17 mg/100g |
| Potasio total | 416,0 mg/100g |

- Según el análisis de varianza que se realizó al diseño factorial 3^2 en el proceso de inmersión en solución, los factores concentración y tiempo son significativos para un nivel de confianza de 95 %. La acidez depende exclusivamente de la concentración y el tiempo.
- Las variables que se determinaron para las condiciones de operación en el proceso, son aquellas obtenidas de acuerdo al diseño factorial para el proceso de inmersión en solución, que con ayuda de una análisis sensorial se estableció que la concentración de 3 g/l y un tiempo de 10 min, son las que mostraron más preferencia por los jueces.
- De acuerdo a los balances de materia y energía en el proceso de producción experimental de harina de banano, se determinó que de 2056 g de banano fresco en estado verde se obtiene 362 g de harina de banano. La energía en forma de calor requerida para este proceso es de 2772,125 kcal.

- La harina obtenida se puede clasificar en tres mallas n° 0,50, 0,25 y 0,063 mm, el 81,22 % de la harina obtenida presenta una granulometría de 0,25 mm, el restante 13,26 % presentó una granulometría de 0,063 mm (similar al almidón de maíz) y el 6,08 % tiene una granulometría de 0,50 mm.
- Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de la harina de banano variedad Cavendish realizados por el CEANID, son los siguientes:

| Parámetros | Resultado |
|-------------------------|------------------|
| Humedad | 3,27 % |
| Cenizas | 3,99 % |
| Fibra | 1,13 % |
| Materia grasa | 0,65 % |
| Proteína total (N*6,25) | 4,8 % |
| Hidratos de carbono | 86,16 % |
| Azúcares totales | 3,05 % |
| Gluten húmedo | n.d. |
| Potasio total | 1037 mg/100g |
| Calcio total | 12,3 mg/100g |

- Los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la harina de banano variedad Cavendish realizados por el CEANID, son los siguientes:

| Parámetros | Resultado |
|--------------------|---------------------------|
| Coliformes totales | < 10 (*) ufc/g |
| Coliformes fecales | < 10 (*) ufc/g |
| Mohos y levaduras | 1,0*10 ² ufc/g |

- La evaluación sensorial realizada al producto final “harina de banano” presentó resultados favorables, por encima del 84% de aceptación por los panelistas, siendo el preferido el “Atole” (leche con harina de banano), seguido del queque (realizado por mezcla de harinas) y posteriormente las galletitas (pura harina de banano).
- Se concluyó que la harina de banano obtenida experimentalmente, puede ser utilizada para la elaboración de diversos productos culinarios, obteniendo productos de calidad, agradó al público y sobre todo muy nutritivos.

4.2. RECOMENDACIONES

- Incentivar la producción de banano en el departamento de Tarija y de esta manera coadyuvar al desarrollo económico de los productores.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación a nivel experimental; sobre la aplicación de la harina de banano en el área de panificación y para uso culinario,

debido además a que no contiene gluten puede ser empleada para personas que no toleran el mismo como los celíacos y aquellas personas que no desean incorporar calorías excesivas en su dieta.

- Se recomienda implementar productos hechos de harina de banano en el desayuno escolar, la misma harina en las canastas alimentarias para las personas de la tercera edad, e incentivar al consumo de estos productos a deportistas, por el elevado contenido de potasio que contiene.
- Se recomienda realizar estudios sobre la aplicación y uso de la cáscara de banano, para la extracción de aceite esencial o para la realización de harina de cáscara de banano para suplemento alimenticio de animales, ya que posee propiedades nutritivas similares al de la pulpa.
- Se sugiere que se realice un trabajo de cuantificación de almidones en la harina de banano obtenida, por su considerable contenido de este compuesto y tomando en cuenta que actualmente en los laboratorios del departamento de Tarija no se realiza esta determinación.
- Se sugiere implementar a los laboratorios de la U.A.J.M.S., de equipos como secadores de aire forzado, molinos, balanzas analíticas, para la realización de investigaciones aplicadas.