

**CAPITULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 GENERALIDADES SOBRE CULTIVO DE PAPA

La papa (*Solanumtuberosum*) es una planta herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz. La papa pertenece a la familia de floríferas de las solanáceas, del género *Solanum*, formado por otras mil especies por lo menos, como el tomate y la berenjena. La investigación reciente revela que el *S. tuberosum* se divide en dos grupos de cultivares ligeramente distintos: el Andigenum, adaptado a condiciones de días breves, cultivado principalmente en los Andes, y el Chilotanum, la papa que hoy se cultiva en todo el mundo. También denominada papa “europea”, se piensa que el grupo Chilotanum procede de cultivares andinos que primero llegaron a Chile y de ahí, en el siglo XIX, a Europa (FAO, 2008)

Al crecer, las hojas compuestas de la planta de la papa producen almidón, el cual se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos, también llamados estolones. Estos tallos sufren la consecuencia de un engrosamiento y así se producen unos cuantos o hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo. El número de tubérculos que llegan a madurar depende de la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo. El tubérculo puede tener formas y tamaños distintos y por lo general pesa hasta 300 g (FAO, 2008)

Al terminar el período de crecimiento, las hojas y tallos de la planta se marchitan y los tubérculos se desprenden de los estolones. A partir de este momento, los tubérculos funcionan como depósito de nutrientes que permite a la planta subsistir en el frío y posteriormente reverdecer y reproducirse. Cada tubérculo tiene de 2 hasta 10 brotes laterales (los «ojos»), distribuidos en espiral en toda la superficie. De estos ojos brotan las nuevas plantas, cuando las condiciones vuelven a ser favorables. Un tubérculo de papa crudo tiene un gran contenido de micronutrientes, las vitaminas y minerales esenciales para la salud. Una papa de tamaño medio contiene una gran cantidad de potasio, y casi la mitad de la vitamina C necesaria a diario para los

adultos. También es una fuente importante de vitaminas del complejo B y minerales, como el fósforo y el magnesio (FAO, 2008)

## **1.2 COMPOSICION QUIMICA Y VALOR NUTRICIONAL DE LA PAPA COMÚN**

Según Pertuz, (2014) la papa es un alimento de consumo básico, el cuarto de mayor ingesta en el mundo, que por sus características sensoriales, sabor y color neutro, puede ser parte de una alimentación saludable y variada.

En la papa se encuentran componentes nutritivos (energía, macro y micronutrientes) y componentes no nutritivos (agua, celulosa, hemicelulosa, pectina, glucoalcaloides, ácidos orgánicos, enzimas, entre otros minoritarios. Luego de su cosecha los tubérculos contienen en promedio 80% de agua y 20% de materia seca (60% de esta corresponde a almidón).

La composición se puede modificar por factores tales como la variedad, la localidad donde se produce, el tipo de suelo, el clima y las condiciones de cultivo. Las enfermedades, las plagas, la duración de los ciclos productivos también afecta. De igual manera la composición se modifica con la preparación a nivel casero y con su procesamiento a nivel industrial.

El aporte nutricional de los tubérculos está dado por el contenido de macro y micronutrientes En promedio 100 gramos de papa, la porción que consume un individuo adulto, contiene:

**Tabla I.1: Propiedades fisicoquímicas de la papa**

COMPONENTES	VALOR
<b>Energía</b>	78,00 kcal
<b>Humedad</b>	79,89 g
<b>Proteínas</b>	2,43 g
<b>Grasas</b>	0,11 g
<b>Hidratos de carbono</b>	16,75 g
<b>Fibra cruda</b>	0,25 g
<b>Ceniza</b>	0,85 g
<b>Potasio</b>	440,00 mg
<b>Sodio</b>	7,00 mg
<b>Calcio</b>	7,30 mg
<b>Fósforo</b>	30,50 mg
<b>Hierro</b>	1,23 mg
<b>Riboflavina</b>	0,06 mg
<b>Niacina</b>	1,09 mg
<b>Vitamina C</b>	10,55 mg

**Fuente:** INLASA, 2005.

### 1.3 COMPONENTES NUTRITIVOS

- **Energía**

Tradicionalmente se ha reconocido que los tubérculos cumplen un rol energético en la alimentación por cuanto su componente mayoritario en materia seca corresponde al almidón. A pesar de ello, comparado con alimentos equivalentes tales como el plátano y la yuca, su aporte calórico es menor y se le considera de baja densidad calórica (Pertuz, 2014).

- **Carbohidratos**

La papa es un alimento que contiene cantidades importantes de carbohidratos los cuales se encuentran mayoritariamente como almidón y un pequeño porcentaje como azúcares (sucrosa, fructosa, glucosa) (Pertuz, 2014).

- **Proteína**

La proteína de este alimento sobresale por un alto contenido de lisina y bajos contenidos de aminoácidos azufrados. El contenido de proteína de la papa, aunque inferior al aportado por alimentos de origen animal, es superior al aportado por la

mayoría de los cereales, tubérculos y raíces. La calidad de la proteína es inferior por la presencia de glucoalcaloides y de inhibidores de las proteínas. Para mejorar el perfil de aminoácidos de su proteína y por ende la calidad de la proteína consumida, se recomienda el consumo de papa en preparaciones que se combinen o incluyan ingredientes como leguminosas, carnes, leche o derivados (Pertuz, 2014).

- **Grasa**

El contenido de grasa de las papas es muy bajo lo cual constituye una ventaja para individuos con restricciones de calorías y/o de grasas dietarias. Dado el incremento en la población de morbilidad por enfermedades crónicas no transmisibles y patologías quieren limitar el consumo de calorías, se recomienda la moderación en el consumo de papas fritas (Pertuz, 2014).

- **Vitaminas**

Los tubérculos aunque contienen vitaminas, no son considerados alimentos fuente de estos nutrientes. Las vitaminas que se encuentran en el tubérculo son el ácido ascórbico, B1, B6 y niacina. Se concentran principalmente en la piel y en la cáscara. La vitamina C sobresale por su alta reactividad y por las altas pérdidas por oxidación. Tras la cocción o el procesamiento a nivel industrial las pérdidas son significativas (Pertuz, 2014).

- **Minerales**

El contenido de minerales en el tubérculo depende directamente de la naturaleza del suelo donde es cultivado, por tal razón el contenido de minerales es variable. Sobresalen los altos aportes de potasio, fósforo y el bajo contenido de ácido fítico y de sodio. Este último aspecto es una ventaja para personas con regímenes alimentarios que restringen el aporte de sodio en la dieta (Pertuz, 2014).

## 1.4 COMPONENTES NO NUTRITIVOS

Incluyen los siguientes componentes:

- **Fibra:**

En la cáscara o piel los tubérculos tienen pectina en forma de pectatos solubles de calcio que favorecen la adhesión a la médula, celulosa, lignina y hemicelulosas. Aunque los tubérculos aportan estos componentes se hace necesario complementar dicha ingesta con el consumo de alimentos tipo leguminosas, frutas y hortalizas (Pertuz, 2014).

- **Enzimas**

La papa contiene las siguientes enzimas endógenas: fosforilasas, polifenoloxidasas, lipooxigenasas (Pertuz, 2014).

- **Ácidos orgánicos**

Los ácidos orgánicos contribuyen con el pH característico del alimento: pH de 5,6 a 6,2. Los más representativos son el málico, el cítrico y el clorogénico que reacciona con iones de hierro (Pertuz, 2014).

- **Flavonoides**

Los flavonoides presentes en la papa son las flavonoles y las antocianinas, tales como la rutina, quercetina, miricetina, kaempferol, naringenina principalmente.

## 1.5 PROCESAMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DE LA PAPA

Según Pertuz, (2014) la cocción y el procesamiento son necesarios para mejorar la palatabilidad y la digestibilidad del tubérculo. En mayor o menor grado estas operaciones causan pérdida de nutrientes, específicamente de las vitaminas hidrosolubles. Para minimizar dicha pérdida se recomienda:

- ✓ Dejar la papa con cáscara, puesto que esta actúa como barrera, previniendo o reduciendo la pérdida de algunos nutrientes.

- ✓ Aplicar procesos de cocción en medio húmedo, ya que estos mejoran significativamente la digestibilidad del almidón y de la proteína, pero disminuye el contenido de vitaminas que se solubilizan en el líquido de cocción, se oxidan o se modifican por calor.
- ✓ También se inducen pérdidas de ácido glutámico, ácido aspártico y de aminoácidos azufrados. Por tal razón se recomiendan procesos de cocción con tiempos controlados
- ✓ Aplicar procesos de cocción en medios secos causan disminución en el contenido de humedad, concentración de los nutrientes, pérdidas de nitrógeno y aminoácidos (5-7%), principalmente de lisina, pérdidas de vitaminas según impacto térmico. Por tal razón se recomiendan específicamente procesos de cocción con tiempos controlados y moderación en el uso de aceites para fritura o la incorporación excesiva de grasas a las preparaciones.
- ✓ Aplicar horneado como un método de mínimo impacto sobre el aporte nutritivo.

## 1.6 LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE LA PAPA Y SU FORMA DE CONSUMO

La FAO, (2008) calcula que poco más de dos terceras partes de los 320 millones de toneladas de papa que se produjeron en 2005 se destinaron al consumo alimentario de las personas, en una u otra forma. Cultivadas en casa o compradas en el mercado, las **papas frescas** se cuecen al horno, hervidas o fritas, y se utilizan en una asombrosa variedad de recetas: en puré, tortitas, bolas de masa, croquetas, sopas, ensaladas o gratinadas, entre muchas otras modalidades de preparación. Pero el consumo mundial de la papa está pasando del producto fresco a los **productos alimentarios industriales**, tal como se detalla a continuación:

- **Papas congeladas**, comprende la mayor parte de las *papas fritas* a la francesa que se sirven en los restaurantes y en las cadenas de alimentación rápida de

todo el mundo. El procedimiento de producción es muy sencillo: las papas peladas se pasan por unas cuchillas que las cortan, a continuación se cuecen ligeramente, se secan con aire, se fríen ligeramente, se congelan y se envasan. Se ha calculado el apetito mundial por estas papas fritas a la francesa de fábrica en más de 11 millones de toneladas al año.

- ***Hojuelas y chips crocantes de papa***, el rey indiscutible de los aperitivos en muchos países desarrollados. Elaboradas con delgadas hojuelas de papa fritas en abundante aceite o cocidas al horno, se presentan en una variedad de sabores: desde sencillamente saladas, hasta las variedades «gourmet» con sabor a carne o picantes. Algunas variedades de hojuelas se producen con masa de papa deshidratada.
- ***Los copos de papa deshidratada y la papa granulada*** se obtienen secando la papa cocida y molida, hasta lograr un nivel de humedad del 5 por ciento al 8 por ciento. Con estos copos se elabora el puré de papas que se vende en cajas, como ingrediente para preparar aperitivos y hasta como ayuda alimentaria: los Estados Unidos de América han distribuido como ayuda internacional copos de papa a más de 600 000 personas.
- ***Harina de papa***, se obtiene del procesamiento del tubérculo, el cual inicialmente es pelado y cortado, luego es sometido a un proceso de secado para finalmente proceder con la molienda.

La industria alimentaria utiliza la harina de papa, que no contiene gluten pero sí abundante almidón, para aglutinar productos compuestos de diversos tipos de carnes e impartir espesor a salsas y sopas.

- ***El almidón de papa***, un polvo fino y sin sabor, de «excelente textura», da mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más gustosos. Se utiliza para hacer espesas las salsas y los cocidos, y como aglutinante en las harinas para pastel, las masas, las galletas y el helado. Por último, en Europa oriental y en los países escandinavos, las papas



molidas se someten a tratamiento térmico para convertir su almidón en azúcares que se fermentan y destilan para producir *bebidas alcohólicas*, como el vodka y aguardientes típicos de esas regiones.

## 1.7 HARINAS

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 B. G. 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 (Rodríguez B. G. y col, 2004).

### 1.7.1 CLASIFICACIÓN DE LAS HARINAS

La harina puede ser clasificada de distintos modos y poseer múltiples finalidades, sin embargo estas clasificaciones son aplicadas a las harinas provenientes de los cereales, de las cuales se utilizarán para hacer referencia a la harina de papa, las siguientes:

- **POR EL CONTENIDO DE GLUTEN**

Según Bonilla, (2013) las harinas en general, se clasifican teniendo en cuenta la cantidad de gluten que poseen, según esto pueden ser Flojas o Fuertes:

1. **Harina floja:** Se conoce como harina floja, a aquella que en su composición contiene poco porcentaje de Gluten, con este tipo de harina el pan resulta bajo y de apariencia deficiente. La característica primordial de este tipo de harina es que retiene muy poca agua, por ello forman masas muy débiles (flojas).
2. **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.

- **POR EL GRADO DE PUREZA**

Según Bonilla, (2013) 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.

1. **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.
2. **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.
3. **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. 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

### **1.8 DESCRIPCIÓN DE LA HARINA DE PAPA**

Según Córdova, (2000) la harina de papa contribuye contra la anemia y propicia la adopción de prácticas adecuadas en seguridad alimentaria en niños, niñas, padres y madres, coadyuvando a mantener un estado nutricional adecuado.

Aporte nutricional que brinda la energía y nutrientes necesarios para el mejor desenvolviendo de los niños y niñas en el proceso de aprendizaje.

De igual forma el contenido de vitaminas C, B1, B2, B6 dentro de su composición le da un valor súper energético para la salud

## **1.9 PROPIEDADES DE LA HARINA DE PAPA**

El contenido de humedad apropiado de la harina de papa para su conservación está entre 6 y 9%. En condiciones de almacenamiento favorables (una bodega seca y fresca), la harina de papa puede ser almacenada durante varios años sin que sufra deterioro alguno. Por estas razones junto con las sugeridas por la normatividad alimentaria Argentina, se establece una humedad máxima del 9% (Devia P. J., 2010)

## **1.10 USOS DE LA HARINA DE PAPA**

La harina de papa proporciona buenas soluciones para la producción de diversos tipos de papas: a la francesa, ensalada de papa, tortas de papa, también mediante la mezcla de harina de papa con agua, obtener puré de papas. Otras aplicaciones que se puede mencionar son:

- Coingrediente en productos de carne.
- Ingrediente para panadería y repostería.
- Ingrediente para concentrados de alimentación de animal.
- Espesante de sopas.
- Ingredientes para el puré de papa instantáneo.
- Como aditivo alimentario.
- Ingrediente para la fabricación de snacks.
- Se usa comúnmente para producir compuesto de papas fritas por los fabricantes de alimentos.

## **1.11. METODOS PARA LA ELABORACIÓN DE HARINA DE PAPA**

Según Núñez, A. (1988), La harina de papa puede elaborarse a partir de dos métodos los cuales se detallan a continuación. :

### **a) Método para la elaboración de harina de papa a partir de papa precocida**

Este método se sistematiza en el diagrama de bloques que se muestra a continuación:

**Figura 1.1: Diagrama de bloques del proceso de elaboración de harina de papa a partir de papa precocida**



**Fuente: Núñez, A. 1988.**

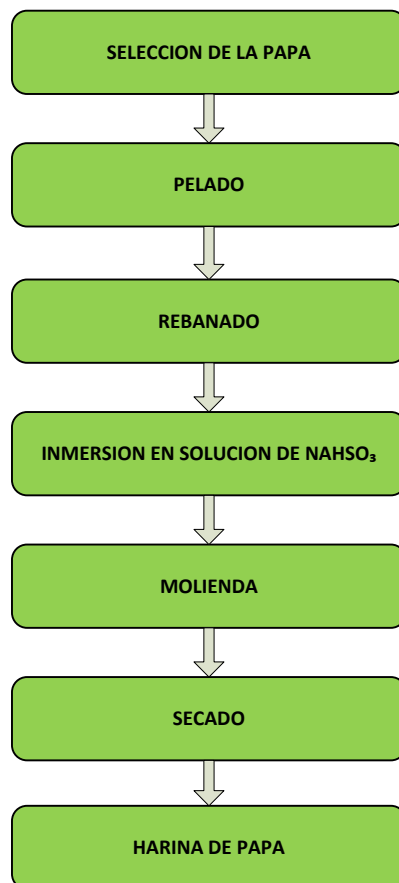
En este método, en primer lugar se realiza la selección manual de la papa cuidando que esté libre de daños por microorganismos; sigue el lavado para eliminar tierra y otros materiales extraños; luego de esto las papas son peladas e inmediatamente después se realiza el precocido, mediante su inmersión en agua hirviendo, posteriormente se elimina el exceso de agua, mediante la decantación correspondiente. Como paso siguiente se procede a realizar el corte de las papas precocidas, continuando con una molienda húmeda, posterior filtración y prensado

con ayuda de una tela de poca porosidad, para luego realizar el secado en estufa o secador de bandejas seguida de la molienda para la reducir el tamaño de las partículas, para finalmente homogeneizar las partículas a través del tamizado, de donde se obtiene la harina de papa como producto final.

**b) Método para la elaboración de harina de papa a partir de papa cruda**

Este método se sistematiza en el diagrama de bloques que se muestra a continuación:

**Figura 1.2: Diagrama de bloques del proceso de elaboración de harina de papa a partir de papa cruda**



**Fuente: Núñez, A. 1988.**

Al igual que en el método anterior, la primera etapa del proceso es la selección de la materia prima, a fin de cuidar que esté libre de daños por microorganismos; sigue el lavado para eliminar tierra y otros materiales extraños. Después de esto las papas son peladas y rebanadas, lo más delgado posible y rápidamente se sumerge en una solución de bisulfito de sodio a concentración de 0,1 a 0,4 % durante un tiempo de 20 a 30 min, a fin de evitar el pardeamiento de las rodajas de papa. Como paso siguiente se procede a realizar un secado directo en la estufa o secador de charolas, para finalmente proceder con la molienda y tamizado, obteniendo de esta manera la harina de papa como producto final.

*Núñez, A. (1988)*, en su investigación realizada para la elaboración de harina de papa para uso en alimentos, en cuanto a la selección del método, determinó que cuando se utiliza el proceso con papa precocida se presentan problemas de manejo ya que no se pueden obtener rebanadas de espesor uniforme, además que durante el precocido se gelatiniza una parte del almidón y se obtiene una consistencia pegajosa que dificulta su manipulación, existiendo más pérdidas; en cambio, cuando el proceso parte de papas sin cocer se obtienen las mejores características de color y apariencia en la harina y no se presentan problemas de manipulación. Por los motivos expuestos de forma precedente, el método seleccionado para el desarrollo de la presente investigación es el ***Método para la elaboración de harina de papa a partir de papa cruda*** y la descripción general de las características propias de las etapas de este proceso, tales como: escaldado, inmersión en la solución de  $\text{NaHSO}_4$ , molienda y tamizado, se encuentran descritas en el anexo E.

### **1.12. EVALUACIÓN SENSORIAL**

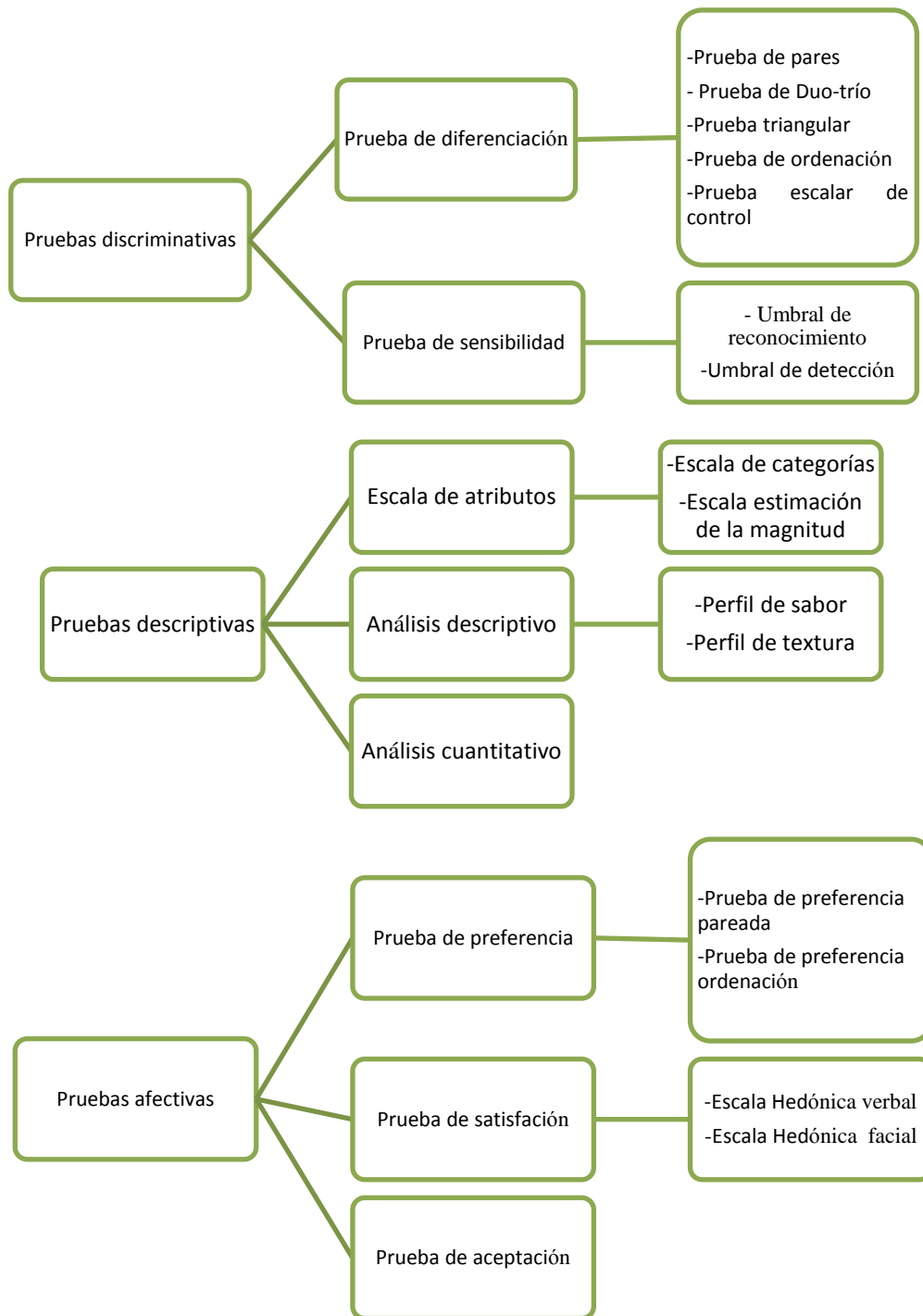
Lees (1984) indica que el análisis sensorial puede utilizarse en el control de calidad de los alimentos para resolver problemas de distinta índole; en cada caso concreto, la naturaleza de los mismos determina el tipo de prueba a realizar, las características del grupo de jueces y las condiciones de análisis.

La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos físicos, químicos y microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja

de que lleva sus propios instrumentos de análisis, es decir sus cinco sentidos. Es un instrumento importante cuando se trata de evaluar la textura de productos con bajo contenido de humedad y más aún cuando la crocantes es una característica indispensable para el alimento.

En este sentido, según Castañeda C. (2013), el análisis sensorial mide las respuestas de las personas hacia productos alimenticios. La industria de alimentos tiene como fin cumplir con los requerimientos de las personas, que son definidos por los gustos y preferencias del consumidor. La evaluación sensorial analiza y estudia cómo los productos, los gustos y las preferencias son percibidos por medio de los cinco sentidos. Para poder cuantificar las percepciones y medir las respuestas de los consumidores se utilizan las escalas que son fundamentales dentro del análisis sensorial. Una escala es un sistema que envuelve la asignación de valores numéricos y/o verbales a percepciones sensoriales. Se pueden evaluar las respuestas sensoriales de manera discriminativa, descriptiva y afectiva, tal como se puede observar a continuación:

**Figura 1.3 : Evaluación de las respuestas sensoriales de manera discriminativa, descriptiva y afectiva**



**Fuente: Castañeda C. 2013**



Las más utilizadas en la industria de alimentos e investigaciones son las pruebas hedónicas afectivas que prueban o miden las respuestas de agrado y desagrado del consumidor. Existen tres tipos de escala afectiva: categóricas, de proporción y las categóricas de proporción. La operación básica de una escala categórica es catalogar respuestas limitadas enumeradas junto a opciones verbales. La escala categórica más utilizada en la evaluación de alimentos es la escala hedónica de nueve puntos que fue desarrollada por el U.S Army Food Container Institute en 1950. Los rangos de los números van desde uno a nueve, siendo uno “disgusta extremadamente”, cinco “ni me gusta ni me disgusta” y nueve “gusta extremadamente”. Esta escala fue rápidamente adaptada por la industria de alimentos e investigación por su simplicidad de uso. Es así entonces que el análisis sensorial a través de cada una de las pruebas permite conceptuar sobre un producto alimenticio para así poder llegar a tomar decisiones (Castañeda C. 2013).

La metodología que se emplea para realizar una prueba de evaluación sensorial a un producto alimenticio puede ser la siguiente(Castañeda C. 2013).:

1. Qué se quiere saber acerca del producto?
2. Diseño experimental o plan a seguir
3. Prueba o pruebas a utilizar
4. Número de panelistas
5. Presentación del panel
6. Método estadístico a utilizar para el tratamiento de los datos
7. Presentación del informe

### **1.13 MÉTODOS ESTADÍSTICOS EMPLEADOS EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE ALIMENTOS**

El análisis de los datos se puede realizar a través de diferentes métodos estadísticos, es necesario cuando se entrega un informe sobre los resultados obtenidos de la aplicación de un panel de evaluación sensorial, hacer referencia al método o métodos estadísticos utilizados; no necesariamente se deben mostrar las fórmulas con detalle,

si lo requiere el informe o el interesado lo solicita, estas pueden ubicarse como anexo (Castañeda C. 2013)..

Los métodos estadísticos empleados para analizar los datos obtenidos son principalmente: métodos visuales, estos métodos permiten analizar los datos sin necesidad de identificar las tendencias, facilitan el trabajo, resumen de datos y son sencillos de utilizar (histogramas y graficas lineales entre otros); métodos univariantes, permiten analizar cada una de las variables de forma como si fueran independientes; método multivariantes, permite analizar todos los atributos presentes, esto con el fin de saber cuál es la diferencia entre una muestra u otra; métodos paramétricos, proporcionan unos resultados precisos siempre y cuando se conserven los supuestos, y que se ajusten la distribución normal de lo contrario los resultados no son tan seguros; métodos no paramétricos, son mas sólidos que los paramétricos aunque los resultados son menos exactos (Castañeda C. 2013).

Los análisis estadísticos que se aplican a cada uno de los métodos son, entre otros, (Castañeda C. 2013):

- Representación gráfica
- Distribución binominal
- Análisis de varianza, ANOVA
- Análisis secuencial
- Análisis multivariado
- Análisis de ordenamiento por rangos
- Regresión
- Análisis de factor

Actualmente se emplean paquetes estadísticos que agilizan el trabajo y la consecución de los resultados; para elegir un paquete estadístico, se debe tener en cuenta algunos aspectos como (Castañeda C. 2013):

- Que sean para capturar datos sensoriales
- Facilidad en su uso

- Usuarios con o sin experiencia
- Costos

Algunos de los paquetes estadísticos que se encuentran en el mercado son:

- GENSTAT
- COMPUSENSE
- MINITAB
- SAS
- S-PLUS
- SPSS
- SYSTAT
- STAT-GRAPHICS
- SENSTAT
- SENPAK

**CAPITULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

La parte experimental de la investigación para la “Obtención de harina de papa variedad Marcela Ojosa mediante el secado por aire caliente” se realizó en los predios del laboratorio del área fisicoquímica del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química

### **2.2. MATERIA PRIMA Y REACTIVOS**

La materia prima y los reactivos a utilizar son:

- **MATERIA PRIMA**

La materia prima que se utilizará para realizar el trabajo de investigación es *papa* variedad Marcela Ojosa, la misma que es adquirida en el Mercado Campesino de la ciudad de Tarija

- **REACTIVOS**

Para el presente trabajo de investigación se utilizan los siguientes reactivos:

- Agua destilada
- Bisulfito de sodio

### **2.3. DISEÑO FACTORIAL**

El diseño seleccionado en la presente investigación es de tipo  $2^3$ , es decir, que es un diseño en el cual hay tres factores o variables, cada uno con dos niveles, por lo que el *número de combinaciones de tratamientos* entre las variables será igual a 8.

En el experimento  $2^3$ , el conjunto de contrastes ortogonales está constituido por los efectos principales A, B y C, las interacciones dobles AB, AC y BC, y la interacción triple ABC. También contiene la identidad (que no es contraste).

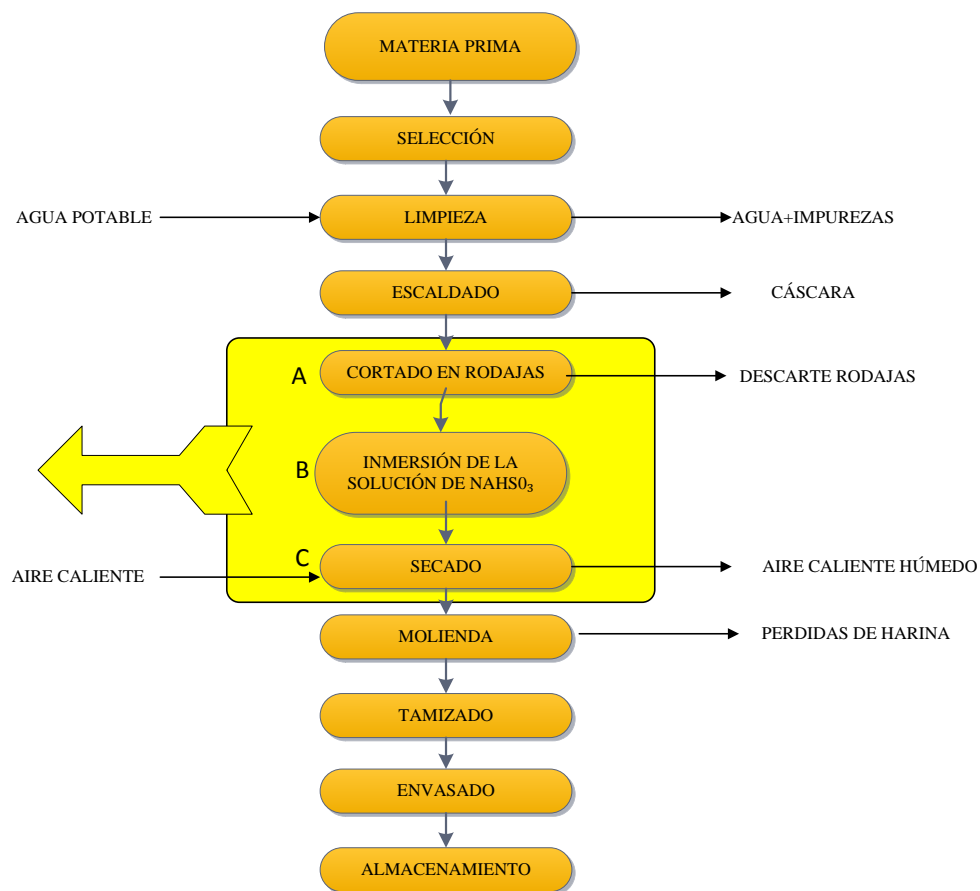
Donde las variables del diseño experimental para la presente investigación son:

<b>A:</b> temperatura de secado	$a_1 = 60^\circ\text{C}$
	$a_2 = 70^\circ\text{C}$
<b>B:</b> concentración de la solución meta bisulfito de sodio	$b_1 = 0,1\text{g/ml}$
	$b_2 = 0,2\text{g/ml}$
<b>C:</b> espesor de la rodaja de papa	$c_1 = 0,2\text{mm}$
	$c_2 = 0,4\text{mm}$

#### 2.4. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE HARINA DE PAPA POR SECADO CON AIRE CALIENTE

En la figura 2-1 que se muestra a continuación se detalla el diagrama de bloques de la parte experimental para la elaboración de harina de papa.

**Figura 2-1 Diagrama de flujo para la elaboración de harina de papa**



Fuente: Elaboración propia, 2015

#### **2.4.1 RECEPCIÓN DE LA PAPA**

La materia prima, tal como se mencionó en el acápite 2.2 es papa variedad “Marcela Ojosa”, la cual posteriormente a su adquisición en el Mercado Campesino, es almacenada en el laboratorio para su posterior procesamiento. Procediendo a su lavado para quitar exceso de impurezas (tierra y otros).

#### **2.4.2. ESCALDADO**

El pelado de la papa se realiza mediante un proceso de escaldado de 2 min, posteriormente al cual, utilizando un cuchillo de acero inoxidable, se retira la cáscara de la papa. Para definir el tiempo del escaldado se tomó como referencia la investigación "Harina de papa Soloma para utilizarla en panificación" realizada por Bonilla, 2013.

#### **2.4.3 CORTADO**

La papa es cortada en forma de rodajas, con un cortador tipo cuchilla de paso regulable con la finalidad de obtener rodajas uniformes de 0,2 mm y 0,4 mm. En las investigaciones precedentes se recomienda colocar los productos en trozos pequeños o en rodajas pequeñas de 2 a 3mm, con la finalidad de obtener un producto de mejor calidad (Vélez, 2009).

#### **2.4.4 INMERSION EN LA SOLUCION DE $\text{NaHSO}_3$**

Se utiliza como inhibidor enzimático al bisulfito de sodio, a una concentración de 0,1 g/ml y 0,2 g/ml; sumergiendo la materia prima por un periodo de tiempo de 20 minutos a fin de evitar la oxidación en la papa pelada.

#### **2.4.5 SECADO**

El secado se lo realiza con una temperatura de 60 °C y 70 °C en un tiempo de 8 horas en un secador de bandejas, el cual opera a presión atmosférica y es discontinuo. El secado se realiza con aire caliente, que se sopla sobre las bandejas mediante el ventilador incorporado que posee (Ver anexo B y C)

Posteriormente la papa seca obtenida se la deja reposando en un desecador por un tiempo de 24 hrs, para pasar a la molienda.

#### **2.4.6 MOLIENDA**

Las rodajas de papa seca son martajadas en un mortero a fin de reducir el tamaño para el ingreso a la boca del molino eléctrico de martillos (puesto que esta está diseñada para ingreso de granos de pequeños cereales como el arroz), una vez dentro del molino las partículas se rompen por una serie de martillos giratorios acoplados a un disco rotor, obteniéndose un producto completamente pulverizado. (Ver anexo B y C)

#### **2.4.7 TAMIZADO**

El tamizado se lo realiza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, el tamiz presenta mallas de: 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm y 0,063mm en las cuales se desarrollan pruebas con: harina de trigo, harina de maíz y maicena para determinar el rango de granulometría de las harinas utilizadas en panificación

#### **2.4.8 ENVASADO**

El proceso de envasado se lo realiza colocando las muestras de harina de papa manualmente en bolsas de polipropileno a fin de conservar las propiedades del producto obtenido.

#### **2.4.9 DETERMINACION DE LA VIDA EN ANAQUEL DE LA HARINA DE PAPA**

Para esta finalidad se utiliza como método *las pruebas aceleradas para determinar la vida anaquel*. Este método consiste en experimentos de almacenamiento a temperaturas relativamente altas, con el fin de predecir, con un cierto margen de certidumbre, la vida en anaquel de la harina de papa obtenida.

Espinoza (1995), reporta que las pruebas aceleradas de vida en anaquel tratan de predecir la vida en anaquel de un alimento bajo condiciones dadas, en un menor tiempo. El desarrollo del método de pruebas aceleradas de estabilidad, el cual es



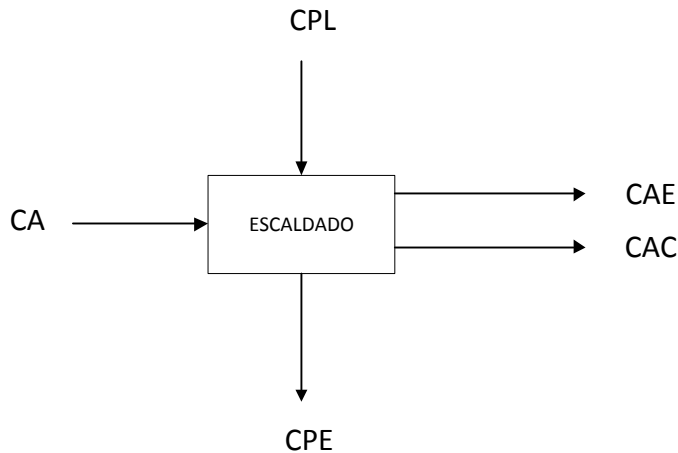
aplicable para el almacenaje a temperatura constante de los productos sensibles a la humedad, embolsados en empaques permeables al vapor, no requiere un conocimiento anterior de la cinética del modelo de efecto de la humedad en el porcentaje del deterioro.

Este método utilizado se encuentra detallado en el anexo H. Estas pruebas aceleradas están basadas en las predicciones del cambio de calidad del producto, el cual sufre un rápido deterioro causado por el alto, aunque controlado, porcentaje de ganancia de humedad.

**CAPITULO III**  
**BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA**

### 3.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

#### Balance de materia en el escaldado



#### Balance general de masa para el escaldado

$$CPL + CA = CAE + CAC + CPE \quad (1)$$

Para calcular la cantidad de masa de agua se considera la densidad del agua a 20°C

$$\rho = 998,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = \frac{CA}{V} \rightarrow CA = \rho V \quad (2)$$

Donde:

$$V = 3200 \text{ml} \frac{1 \text{m}^3}{1,0 \times 10^6} = 0,00032 \text{m}^3$$

Reemplazando datos a la ecuación (2)

$$CA = 998,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,00032 \text{m}^3 = 3,19424 \text{Kg} = 3194,24 \text{g}$$

Donde:

$W_i = CA =$  Cantidad de agua inicial

$W_f = CAC =$  Cantidad de agua final

$\Delta W = CAE =$  Cantidad de agua evaporada

Po lo tanto:

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

Reordenando:

$$CAE = CA - CAC \quad (4)$$

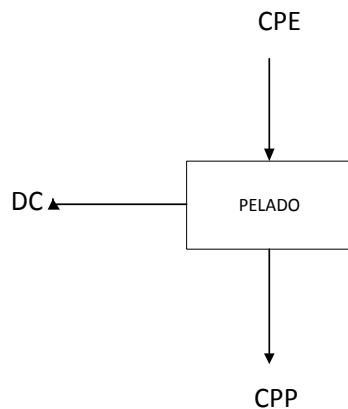
$$CAE = 3194,24\text{g} - 3124,83\text{g} = 69,41\text{g}$$

Calculamos CPE de la ecuación (1)

$$CPE = CA + CPL - CAE - CAC$$

$$CPE = 3194,24\text{g} + 1706,7\text{g} - 69,41\text{g} - 3124,83\text{g} = 1706,7\text{g}$$

### **Balance de materia durante el pelado**

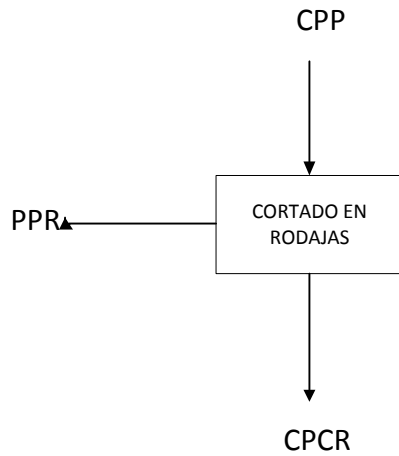


$$CPE = DC + CPP \quad (5)$$

$$DC = CPE - CPP \quad (6)$$

$$DC = 1706,7\text{g} - 1584,5\text{g} = 122,22\text{g}$$

### Balance de materia en el cortado de rodajas

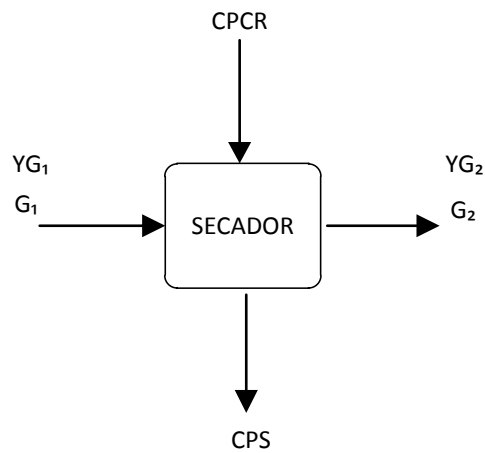


$$CPP = PPR + CPCR \quad (7)$$

$$PPR = CPP - CPCR \quad (8)$$

$$PPR = 1584,5\text{g} - 1574,5\text{g} = 10\text{g}$$

### Balance de materia en el secado



$$G_1 + CPCR = G_2 + CPS$$

Balance parcial en base seca en el proceso de deshidratación

$$G_1 \cdot Y_{G1} + CPCR \cdot X_{CPCR} = G_2 \cdot Y_{G2} + CPS \cdot X_{CPS} \quad (9)$$

Considerando un sistema abierto

$$G_1 = G_2 = G$$

Donde:

$$CPCR=CPS=SS \quad (10) \quad SS= \text{Cantidad del producto seco}$$

Reordenando la ecuación (9)

$$G \cdot Y_{G1} + SS \cdot X_{CPCR} = G \cdot Y_{G2} + SS \cdot X_{CPS} \quad (10)$$

$$SS(X_{CPCR}-X_{CPS})=G(Y_{G2}-Y_{G1}) \quad (11)$$

En la Tabla III-4 se muestran los resultados obtenidos de las propiedades psicrométricas del aire de entrada y salida del secador en base a las temperaturas de bulbo seco (Tbs) y temperatura del bulbo húmedo (Tbh), las cuales fueron realizadas utilizando un software Akton de psicrometría (Martinez-Arnold,1996), según las condiciones de presión 610,05 mmHg y altura 2000 msnm de la ciudad de Tarija.

**Tabla III-4: Propiedades psicrométricas del aire de entrada y salida del secador**

Propiedades	Aire frío	Aire caliente	Aire saturado
Tbs (°C)	23,6	60	43,5
Tbh (°C)	16,1	32	36,5
HR (%)	49,68	16,83	64,92
Y(Kg agua/Kg aire)	0,01157	0,02756	48,83
H(KJ/Kg)	53,06	132,3	169,7
Ve (m <sup>3</sup> /Kg)	1,091	1,255	1,232

**Fuente: Elaboración propia, 2015**

Donde:

HR = Humedad relativa (%).

$Y$ = Humedad absoluta (Kg agua/Kg aire).

$V_e$ = Volumen específico ( $m^3/Kg$ ).

Se calcula la cantidad de sólido seco del alimento tomando en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$SS = SS_1 (1 - W_{SS_1}^{H_2O}) \quad (12)$$

Donde:

$SS$ = Cantidad de producto seco.

$SS_1$ = Cantidad de alimento húmedo.

$W_{SS_1}^{H_2O}$  = Fracción del contenido de humedad del alimento.

Reemplazamos datos en la ecuación (12)

$$SS = 1574,5g(1 - 0,87) = 204,685g$$

Calculamos la cantidad de agua evaporada en el secador; se utiliza la siguiente expresión matemática

$$WE = SS(W_2 - W_1) \quad (13)$$

Donde:

$WE$ = Cantidad de agua evaporada

$W_2$ =Contenido de humedad en base seca del alimento

$W_1$ = Contenido de humedad seco del producto deshidratado

Reordenamos la ecuación (13) en función del contenido de humedad del alimento

$$WE = SS(X_{CPCR} - X_{CPS}) \quad (14)$$

Donde:

$$X_{CPCR} = 4,186g \text{ agua/g sólido seco}$$

$$X_{CPS} = 0,236g \text{ agua/g sólido seco, extraído}$$

Reemplazamos datos a la ecuación (14)

$$WE=204,685(4,186-0,236)=950,706g$$

Despejamos G de la ecuación (11), se calcula la cantidad el caudal de aire utilizado, tomándose en cuenta el tiempo de secado de las rodajas de papa.

$$G = \frac{SS X_{CPCR} - X_{CPS}}{Y_{G2} - Y_{G1}} \quad (15)$$

$$G = \frac{204,685 \cdot 4,186 - 0,236}{0,02756 - 0,01157} = 50563,211 \text{ g aire seco}$$

$$G = \frac{50563,211 \text{ g aire seco}}{8h} = 6320,401 \text{ g aire seco } h$$

Para calcular la cantidad de caudal de aire se tomó en cuenta la expresión matemática citado por Valiente, (1994). El volumen específico del aire a la salida del secador es  $0,001255 \text{ m}^3 \text{ g}$

$$G_2 = G \cdot Ve \quad (16)$$

$$G_2 = 6320,401 \text{ g } h \cdot 0,001255 \text{ m}^3 \text{ g} = 7,932 \text{ m}^3 \text{ h}$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida del secador, se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$m_{\text{aire}} = \frac{WE}{Y_2 - Y_1} t_s \quad (16)$$

Donde:

$m_{\text{aire}} = \text{Caudal másico del aire}$

$WE = \text{Cantidad de agua evaporada en el proceso de secado}$

$Y_2 = \text{Cantidad de humedad absoluta a la salida del secador}$

$Y_1 = \text{Contenido de humedad a la entrada del secador}$



$t_s =$  Tiempo de secado de la papa

Reemplazamos datos en la ecuación (16)

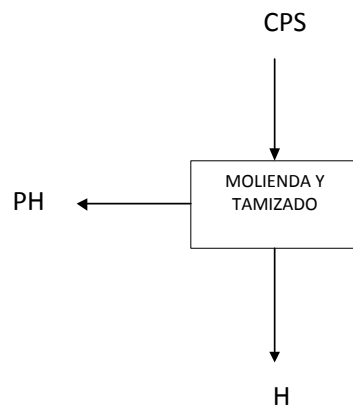
$$m_{aire} = \frac{950,706g}{0,02756 - 0,01157} = 7432,458 \frac{g}{h} = 7,432 \frac{Kg}{h}$$

Para calcular la velocidad volumétrica de aire en la entrada del secador , se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$G_1 = m_{aire} \cdot V_e \quad (17)$$

$$G_1 = 7,432 \frac{Kg}{h} * 1,091 m^3 \frac{Kg}{h} = 8,108 m^3 \frac{Kg}{h}$$

### Balance de materia en el molino y tamizado



### Balance general

$$CPS = PH + HP \quad (18)$$

Donde:

$PH =$  Pérdida de harina

$H =$  Harina de papa

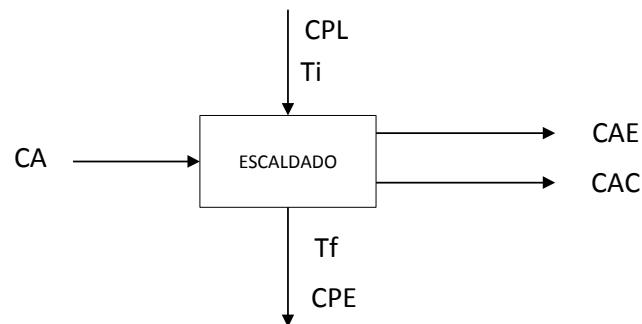
$CPS =$  Cantidad de papa seca

$$PH = CPS - H \quad (19)$$

$$PH=363,015g-355,414g=7,601g$$

### 3.2 BALANCE DE ENERGIA

#### Balance de energía en el escaldado



Para determinar la cantidad de calor requerida durante el escaldado se tomó en cuenta la siguiente ecuación:

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad (20)$$

Donde:

$Q$  = Cantidad de calor (Kcal)

$m_a$  = Cantidad de masa del alimento o muestra cualquiera Kg

$Cp$  = Capacidad calorífica del alimento (Kcal/Kg°C)

$\Delta T$  = Cambio de temperatura en el alimento (°C)

Considerando sistema abierto, tenemos:

$$Q_{GANADO} = -Q_{CEDIDO} \quad (22)$$

Ordenando la ecuación (20), en función de las condiciones del proceso tenemos:

$$Q_E = m_p C_{p_p} \Delta T_p + m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} \Delta T_{H_2O} + m_{AL} C_{p_{AL}} \Delta T_{AL} + m_{H_2O} \lambda_{H_2O} \quad (23)$$

Donde:

$Cp_{H_2O}$ =Capacidad calorífica del agua =0,9993 Kcal/Kg°C

$Tf_{agua}$  = *Temperatura final del agua* = 93°C

$Ti_{agua}$  = *Temperatura inicial del agua* = 20°C

$m_p$ = Masa de papa=1,707Kg

$Cp_p$ = Capacidad calorífica de la papa=0,837 Kcal/Kg°C

$Tf_p$  = *Temperatura final de la papa* = 74,5°C

$Ti_p$  = *Temperatura inicial de la papa* = 23°C

$m_{AL}$  = *Masa del recipiente de aluminio* = 0,85Kg

$Cp_{AL}$ = Capacidad calorífica del aluminio= 0,21 Kcal/Kg°C

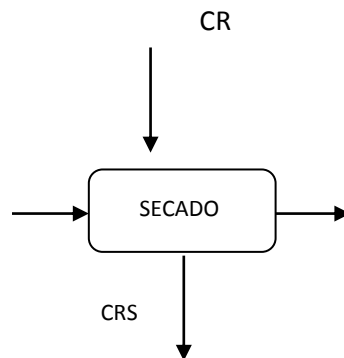
$m_{H_2O}$ = Masa del agua=3,194Kg

$\lambda_{H_2O}$ =Calor latente del agua=540 Kcal/Kg

$Q_E$  = *Calor para el escaldado Kcal*

$Q_E = 1,707Kg * 0,837 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (74,5 - 23)^\circ\text{C} + 3,194Kg * 0,9993 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (93 - 20)^\circ\text{C} + 0,85Kg * 0,21 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (93 - 20)^\circ\text{C} + 3,194Kg * 0,5 \text{ Kcal/Kg} = 321,335\text{Kcal}$

### Balance de energía en el proceso de secado



Para la determinación de la cantidad de calor que se requiere para el secado de rodajas de papa se utiliza la siguiente expresión matemática

$$Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T$$

Donde:

$Q_{vap}$ =Cantidad de calor por evaporización (Kcal/h)

$Cp_{aire}$ = Cantidad calórico del aire (Kcal/Kg°C)

$\Delta T$ =Variación de temperatura (°C)

$m_{aire}$ = Caudal másico del aire (Kg/h)

La ecuación anterior también puede ser expresada como:

$$\Delta H = Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T$$

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

La siguiente expresión matemática, citada por Valiente, (1994); se puede expresar como una función del cambio de entalpias iniciales y finales del aire en el secador:

$$Q_{vap} = m_{aire} * C_{p_{aire}} * \Delta T = m_{aire} * (H_{final}^{\circ} - H_{inicial}^{\circ})$$

$$Q_{vap} = 7,432 \frac{Kg}{h} * 69,48 - 16,84 \frac{Kj}{Kg} * \frac{0,023884Kcal/Kg}{1Kj/Kg} * 8h$$

$$Q_{vap} = 74,614kcal$$

La cantidad de calor requerida en la producción de harina de papa será:

$$Q_{total} = Q_{vap} + Q_E$$

Reemplazando datos:

$$Q_{total} = 74,614kcal + 321,335Kcal$$

$$Q_{total} = 395,949Kcal$$

**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

#### 4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA

Para establecer las propiedades físicas de la materia prima, en la parte experimental del trabajo se han tomado quince muestras de papa variedad Marcela Ojosa.

El promedio de los resultados es la suma de todos los valores observados (peso papa, diámetro, longitud, peso cáscara, porción no utilizada, porción utilizada) dividido por el número de observaciones (diez). Se tomó en cuenta la expresión matemática citada por Murillo, (1990):

$$x = \frac{x_1 + x_1 + \dots x_n}{N}$$

Donde:

$x$ = Valor promedio de los resultados

$x_1, x_n$ = son los valores observados de las muestras

$N$ = Número de observaciones

En la Tabla II-2, se muestran las características físicas de la papa variedad Marcela Ojosa, obtenidas en la caracterización de la materia prima.

**Tabla IV-1 Características físicas de la papa variedad Marcela Ojosa**

Muestras	Peso papa (g)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Peso cáscara (g)	Porción no utilizada (%)	Porción utilizada (%)
1	359,80	10,00	9,00	20,50	5,70	94,30
2	247,20	8,50	7,50	14,60	5,91	94,09
3	428,30	10,30	10,00	23,00	5,37	94,63
4	353,30	9,00	8,50	20,90	5,92	94,08
5	212,40	8,50	7,50	16,20	7,63	92,37
6	344,00	9,00	9,00	21,80	6,34	93,66
7	194,10	8,20	7,50	12,70	6,54	93,46
8	154,50	7,00	7,00	13,60	8,80	91,20
9	113,30	6,50	5,30	10,10	8,91	91,09
10	139,30	7,00	5,30	12,90	9,26	90,74
$\bar{x}$	254,62	8,40	7,66	16,63	7,04	92,96

Fuente: Elaboración propia, 2015

#### 4.1.2 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

En la Tabla IV-2, se muestran los resultados obtenidos de la composición fisicoquímica de la papa variedad Marcela Ojosa, adquirida en el Mercado Campesino. Los análisis se realizaron en el INSTITUTO NACIONAL DE LABORATORIOS EN SALUD (INLASA)

**Tabla IV-2 Composición fisicoquímica de la papa variedad Marcela Ojosa**

Parámetro	Resultado	Unidad	Método
Valor energético	377	Kcal/100g	NB 312032-2006
Humedad	7,41	g/100g	NB 074-2000
Proteína	2,98	g/100g	ISO 20483-2006
Materia Grasa	No se detecta	g/100g	-----
Carbohidratos	88,79	g/100g	NB 312031-2010
Fibra cruda	0,46	g/100g	ISO 5498-1981
Cenizas	0,82	g/100g	NB 075-2000

Fuente: INLASA, 2015



#### 4.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SECADO

Según Brenan, (1980), la temperatura es una variable controlable que depende de la sensibilidad del producto e influye directamente en el rendimiento del proceso, además cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento y el alimento, mayor será la velocidad de transmisión de calor del alimento.

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:

$$X = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}}$$

Donde:

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

$m_i$ = Masa de muestra de papa

$m_{ss}$ =Masa de sólido seco de papa

En la Tabla IV-3, se muestran los resultados del peso de las rodajas y el promedio de la variación del contenido de humedad en base seca de la papa variedad Marcela Ojosa

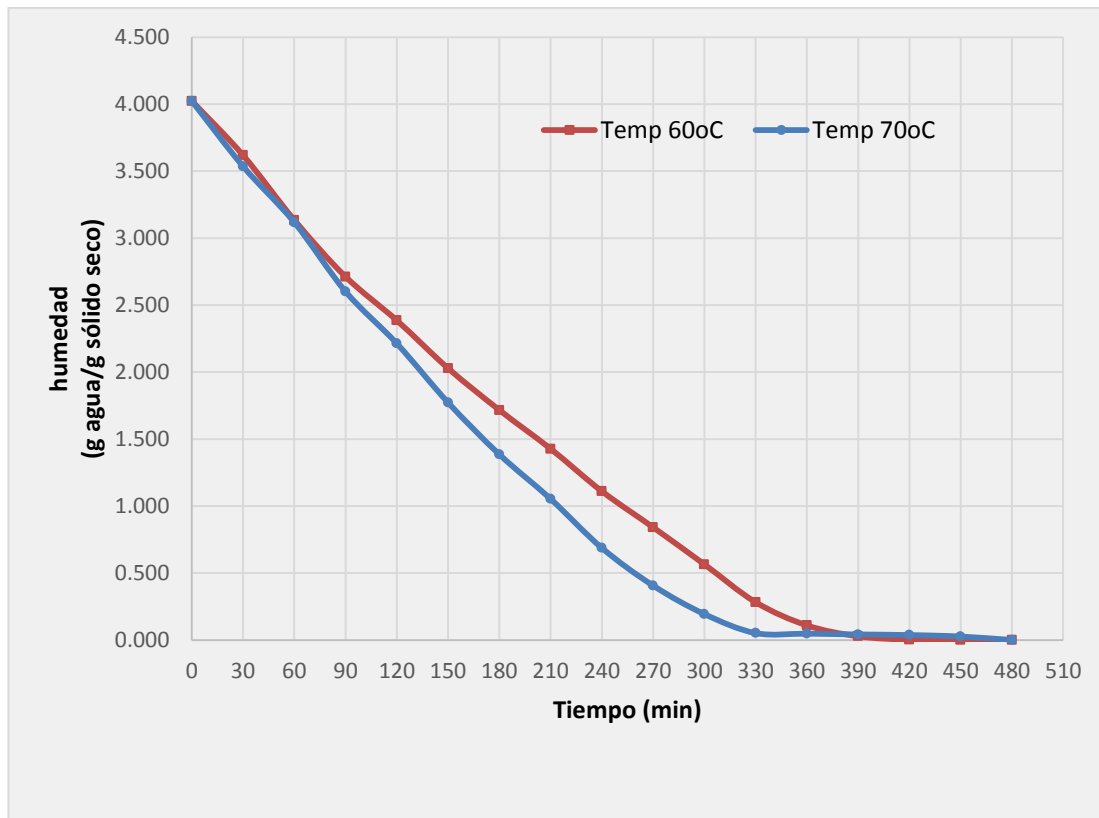
**Tabla IV-3: Resultados del peso de las rodajas y el promedio de la variación del contenido de humedad en base seca de la papa variedad Marcela Ojosa**

Tiempo (min)	Peso de rodaja (g)	X (g agua/g sólido seco)
0	8,765	3,196
30	8,246	2,947
60	7,463	2,573
90	6,936	2,320
120	6,411	2,069
150	5,921	1,834
180	5,273	1,524
210	4,781	1,289
240	4,232	1,026
270	3,721	0,781
300	3,321	0,589
330	2,724	0,304
360	2,171	0,039
390	2,134	0,022
420	2,130	0,019
450	2,125	0,017
480	2,089	0

**Fuente: Elaboración propia, 2015**

En la figura 4-1, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras de papa, tomando constantes las variables:  $E_I$  (espesor de la rodaja 2mm) y  $C_I$  (concentración de la solución de bisulfito de sodio 0,1 mg/ml); a diferentes temperaturas ( $T_1=60^\circ\text{C}$  y  $T_2= 70^\circ\text{C}$ ), con mediciones en intervalos de tiempo de 30 min (los datos en base a los cuales se realizó la figura 3 se encuentran insertos en el Anexo D)

**Figura 4-1: Variación del contenido de humedad a  $T_1$  y  $T_2$  en base seca  $E_1$  y  $C_1$  constantes**



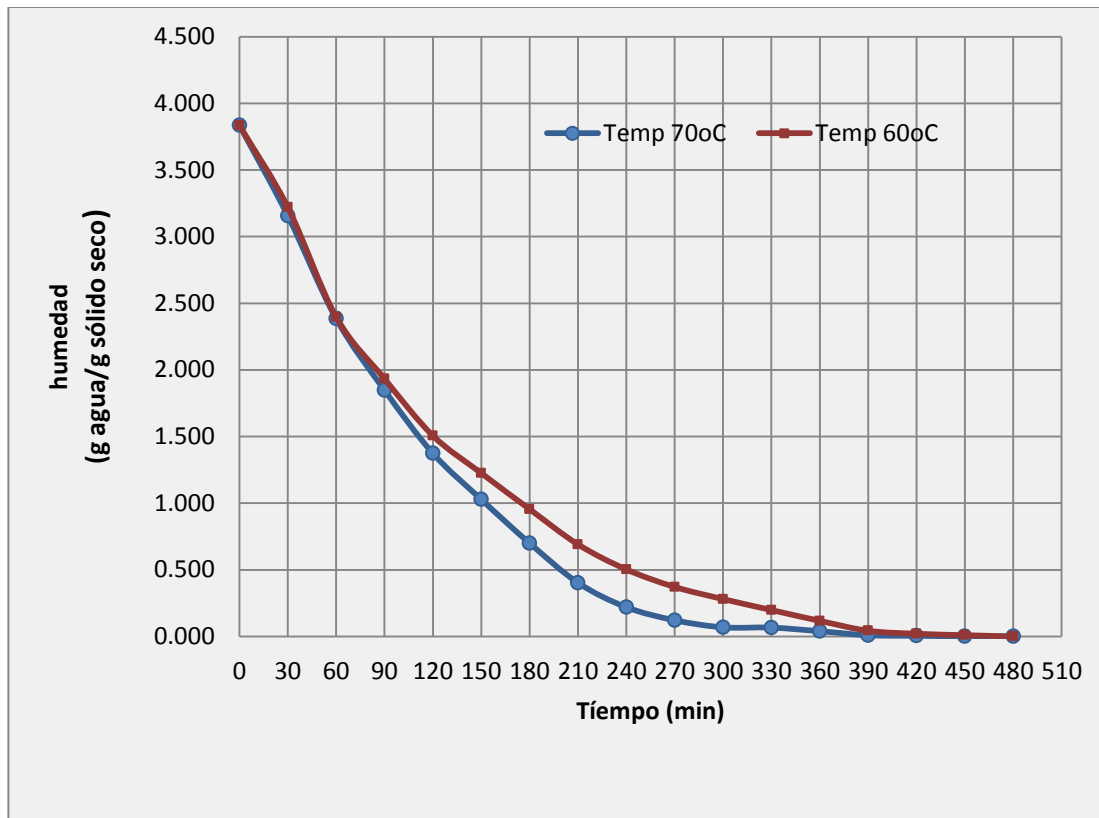
**Fuente: Elaboración propia, 2015**

Se observa en la Figura 4-1, que a medida que se incrementa la temperatura de 60°C a 70°C, el proceso de secado se ve favorecido en la variación del contenido de humedad final, es decir que al realizar el proceso de secado a una temperatura de 60°C la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 360 min, mientras que a 70°C la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 30 min; observándose que a los 70°C se había eliminado la humedad 30 min antes que a 60°C; sin embargo, también se observó que a mayor temperatura en el proceso de secado, la apariencia (color) del producto obtenido se fue oscureciendo (tornándose más amarillento), lo cual influye negativamente en la presentación del producto final.

En la Figura 4-2, se muestra la curva de secado de las muestras de papa, tomando constantes las variables:  $E_1$  espesor de la rodaja 2mm y  $C_2$  concentración de la

solución de bisulfito de sodio 0,2 mg/ml; a diferentes temperaturas  $T_1=60^\circ\text{C}$  y  $T_2=70^\circ\text{C}$ , con mediciones en intervalos de tiempo de 30 min (los datos en base a los cuales se realizó la Figura 4-1 se encuentran insertos en el Anexo D).

**Figura 4-2: Variación del contenido de humedad a  $T_1$  y  $T_2$  en base seca a  $E_2$  y  $C_1$  constantes**



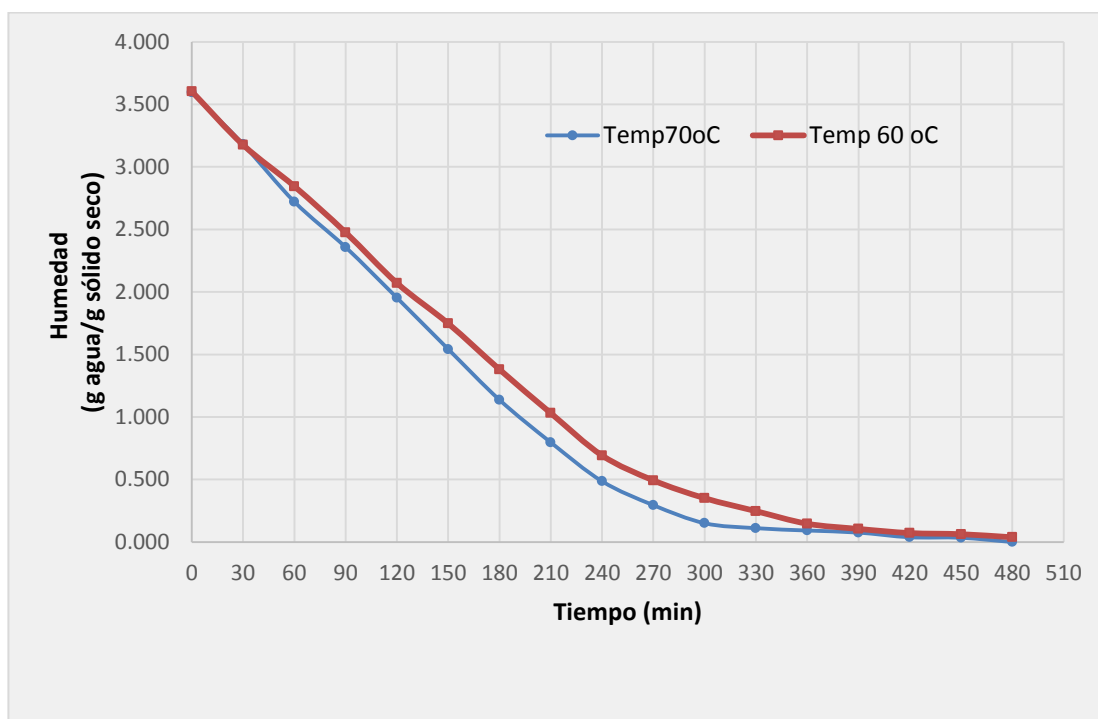
**Fuente: Elaboración propia, 2015**

Se observa en la figura 4-2, que a medida que se incrementa la temperatura de  $60^\circ\text{C}$  a  $70^\circ\text{C}$ , el proceso de secado se ve favorecido en la variación del contenido de humedad final, es decir que al realizar el proceso de secado a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$  la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 360 min, mientras que a  $70^\circ\text{C}$  la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 330 min; observándose que a los  $70^\circ\text{C}$  se había eliminado la humedad 30 min antes que a  $60^\circ\text{C}$ ; sin embargo, también se observó que a mayor temperatura en el proceso de secado, la

aparición (color) del producto obtenido se fue oscureciendo (tornándose más amarillento), lo cual influye negativamente en la presentación del producto final.

En la Figura 4-3, se muestra la curva de secado de las muestras de papa, tomando constantes las variables:  $E_2$  espesor de la rodaja 4mm y  $C_2$  concentración de la solución de bisulfito de sodio 0,2 mg/ml; a diferentes temperaturas  $T_1=60^\circ\text{C}$  y  $T_2=70^\circ\text{C}$ , con mediciones en intervalos de tiempo de 30 min (los datos en base a los cuales se realizó la figura 4-2 se encuentran insertos en el Anexo D).

**Figura 4-3: Variación del contenido de humedad a  $T_1$  y  $T_2$  en base seca a  $E_2$  y  $C_2$  constantes**



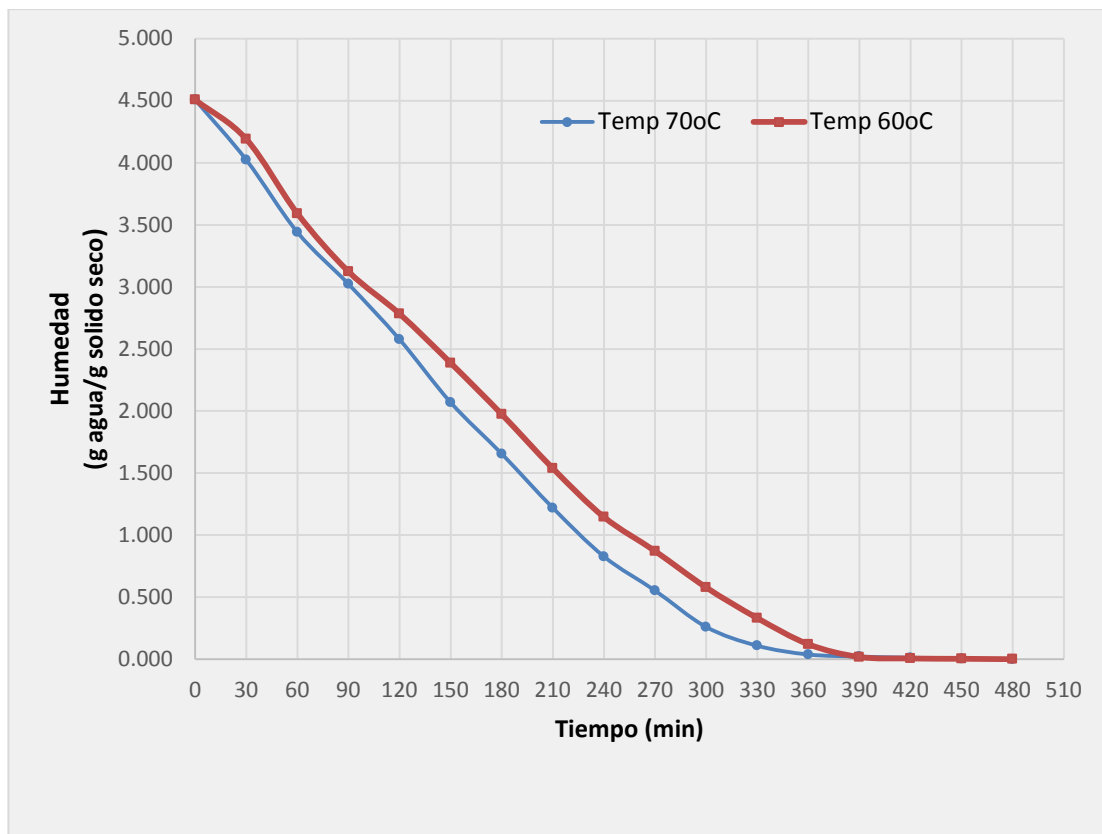
**Fuente: Elaboración propia, 2015**

Se observa en la Figura 4-3, que a medida que se incrementa la temperatura de  $60^\circ\text{C}$  a  $70^\circ\text{C}$ , el proceso de secado se ve favorecido en la variación del contenido de humedad final, es decir que al realizar el proceso de secado a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$  la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 420 min, mientras que a  $70^\circ\text{C}$  la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 390 min;

observándose que a los 70°C se había eliminado la humedad 30 min antes que a 60°C; sin embargo, también se observó que a mayor temperatura en el proceso de secado, la apariencia (color) del producto obtenido se fue oscureciendo (tornándose más amarillento), lo cual influye negativamente en la presentación del producto final.

En la Figura 4-4, se muestra la curva de secado de las muestras de papa, tomando constantes las variables:  $E_1$  espesor de la rodaja 2mm y  $C_2$  concentración de la solución de bisulfito de sodio 0,2 mg/ml; a diferentes temperaturas  $T_1=60^\circ\text{C}$  y  $T_2=70^\circ\text{C}$ , con mediciones en intervalos de tiempo de 30 min (los datos en base a los cuales se realizó la figura 4-3 se encuentran insertos en el Anexo D).

**Figura 4-4: Variación del contenido de humedad a  $T_1$  y  $T_2$  en base seca a  $E_1$  y  $C_2$  constantes**



**Fuente: Elaboración propia, 2015**

Se observa en la Figura 4-4, que a medida que se incrementa la temperatura de 60°C a 70°C, el proceso de secado se ve favorecido en la variación del contenido de humedad final, es decir que al realizar el proceso de secado a una temperatura de 60°C la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 390 min, mientras que a 70°C la fracción de humedad es aproximadamente cero a partir de los 360 min, observándose que a los 70°C se había eliminado la humedad 30 min antes que a 60°C; sin embargo, también se observó que a mayor temperatura en el proceso de secado, la apariencia (color) del producto obtenido se fue oscureciendo (tornándose más amarillento), lo cual influye negativamente en la presentación del producto final (los datos en base a los cuales se realizó la Figura 4-4 se encuentran insertos en el Anexo D).

### 4.3 RESULTADO DE LOS ENSAYOS DEL DISEÑO FACTORIAL

Tomando en cuenta los niveles seleccionados de las variables:

**A:** temperatura de secado

$$a_1 = 60^\circ\text{C}$$

$$a_2 = 70^\circ\text{C}$$

**B:** concentración de la solución

meta bisulfito de sodio

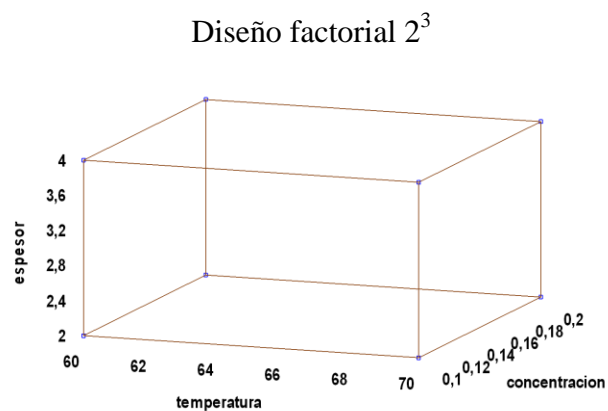
$$b_1 = 0,1\text{g/ml}$$

$$b_2 = 0,2\text{g/ml}$$

**C:** espesor de la rodaja de papa

$$c_1 = 0,2\text{mm}$$

$$c_2 = 0,4\text{mm}$$



Variable respuesta (humedad g de agua/g de sólido seco)

Los valores observados de la variable respuesta, de cada ensayo del diseño factorial bajo las distintas combinaciones de tratamientos del diseño factorial  $2^3$ , se muestran en la siguiente tabla IV-4

**Tabla IV-4: Valores observados de la variable respuesta**

Combinación de tratamientos	Humedad resultante
$a_1b_1c_1$	0
$a_2b_1c_1$	0
$a_1b_2c_1$	0
$a_2b_2c_1$	0,001
$a_1b_1c_2$	0,038
$a_2b_1c_2$	0
$a_1b_2c_2$	0
$a_2b_2c_2$	0

**Fuente: Elaboración Propia,2015**

Tal como se puede observar en la tabla precedente 6 de los 8 ensayos dieron como respuesta una humedad de 0 (g de agua/ g sólido seco), sin embargo el ensayo a 70 °C, 0,2 g/ml de meta bisulfito de sodio y con un espesor de rodaja de de 2mm mostró como humedad un valor de 0,001 (g de aguda/ g sólido seco); de igual forma, el valor obtenido del ensayo a 60 °C, 0,1 g/ml de meta bisulfito de sodio y con un espesor de rodaja de de 4mm, mostró una humedad con un valor de 0,038 (g de agua/ g sólido seco), siendo este último el valor más elevado obtenido de todos los ensayos realizados. A razón de lo expuesto es necesario efectuar los cálculos correspondientes para medir los efectos de cada factor y de sus interacciones durante el proceso de secado de todos los ensayos del diseño factorial; para tal finalidad, se procedió a examinar los resultados obtenidos del análisis de varianza de un factor evaluado en el programa SPSS (cuyos detalles se encuentran en el anexo K), donde se obtuvo como resultado que el factor que presenta menos significancia es el A (temperatura de secado), al igual que las interacciones AB y AC. Este resultado obtenido es debido a que independientemente del valor que asuma la temperatura (60°C o 70 °C), en el tiempo fijo establecido (8 h) en ambos se tiene una humedad de 0.



A medida que se fueron realizando todos los ensayos previstos, se realizaron las siguientes observaciones: cuando se utilizó 0,1g/ml y 0,2 mg/ de bisulfito de sodio durante los 20 minutos establecidos, se logró obtener una harina. En el caso de la inmersión de la papa en la solución de 0,1 g/ml de bisulfito de sodio durante 20 minutos resultó ser más adecuado porque se obtuvo una harina de muy buen color.

En cuanto al tratamiento de secado de las rodajas en la estufa a 70 °C, el agua fue eliminada en su totalidad a las 6 h, sin embargo, el color de la harina obtenida se oscureció notablemente.

Una vez que se obtuvieron las harinas, producto de cada ensayo del diseño factorial, a fin de seleccionar los niveles óptimos de cada variable, se realizó el análisis sensorial correspondiente, el cual se lo describe en un punto *posterior*.

#### 4.4 RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE TAMIZADO Y SELECCIÓN

El tamizado se lo realizó en un único ensayo, con mallas de 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm y 0,063mm en las cuales se desarrollaron pruebas con: harina de trigo, harina de maíz y maicena para determinar el rango de granulometría de las harinas utilizadas en panificación. Con estas mallas se tamizó la harina de papa obtenida, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla IV-5:Granulometría de harina de papa.**

Clase	M	Masa Retenida (g)	$\Delta x$ %Retenidos
1	2m/m	2,2	2,2
2	1m/m	76,8	76,8
3	0,25m/m	14,7	14,7
4	0,063	6,3	6,3
<b>Suma</b>		100,00	100,00

**Fuente: Elaboración propia,2015**

Los valores de la granulometría obtenidos de la harina de papa en la molienda, indica la uniformidad de la acción del molino de martillos utilizado, ya que la distribución de partículas finas, medianas y gruesas respectivamente, permiten establecer la

calidad del producto obtenido. La mayor parte de la harina de papa obtenida y la harina de trigo presentan una granulometría similar (0,1mm). Esta similitud es importante, ya que garantiza que las mezclas de estas harinas y en la sustitución a distinto nivel presenten una distribución homogénea de las partículas, lo cual, tomando en cuenta que la harina de papa y la harina de trigo no se diferencian notablemente en color, favorece para realizar las mezclas correspondientes.

#### **4.5 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO OBTENIDO**

Las harinas obtenidas mostraron características típicas de cada material, manteniendo su color y olor característicos, al tacto se perciben como un sólido suave fluido, sin aglomerados, propiedades tales que mantienen relación con tamaño de partícula, porcentaje de humedad y forma de conservación. Estas características son importantes al ser incorporados en una matriz alimentaria ya que influyen en los aspectos tecnológicos y sensoriales.

El análisis sensorial, se lo realizó mediante un panel de 12 jueces, docentes y estudiantes de la carrera de ingeniería química, quienes calificaron el grado de satisfacción de la harina de papa. Para tal finalidad, se emplearon los ocho productos obtenidos de acuerdo al diseño factorial, y ocho aplicaciones realizando puré de papa con los mencionados productos.

El modelo de test utilizado para la aceptabilidad general se encuentra en el anexo E. La prueba de preferencia se evaluó mediante el método de escala Hedónica donde se calificaron las siguientes características: apariencia, olor, color, textura y sabor; en la cual cada juez eligió entre las siguientes opciones y puntajes:

**Cuadro 4,1. Escala hedónica para la evaluación sensorial de los atributos de sabor, olor, color y textura.**

PUNTAJE	ESCALA EDÓNICA
---------	----------------

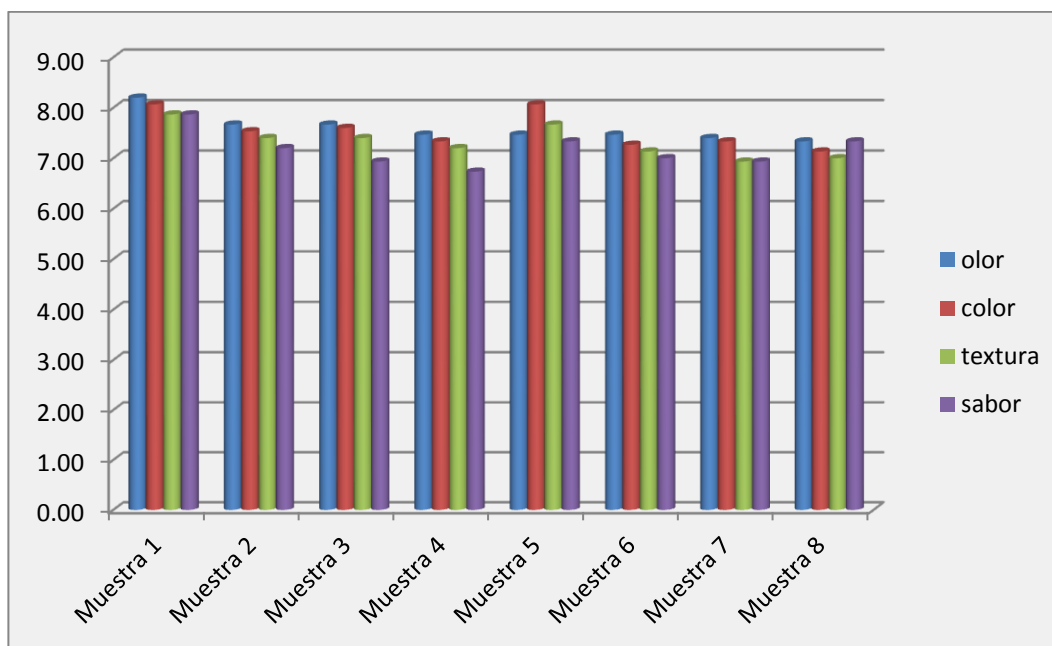
9	Me gusta extremadamente
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta levemente
5	No me gusta ni me disgusta
4	Me disgusta levemente
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta extremadamente

**Fuente: Elaboración propia, 2015**

La evaluación se realizó de forma individual con el objeto de no ejercer influencia sobre los demás. Las pruebas se realizaron en un lugar tranquilo, lejos de ruidos y olores extraños, con buena iluminación natural. A los panelistas se les pidió anticipadamente su aceptación a participar en esta prueba y se les explicó de antemano las características generales de la evaluación y la responsabilidad que ellos tenían como jueces.

Las evaluaciones se realizaron en fechas distintas, como se muestran en las encuestas aplicadas Anexo H y concluidas las mismas, se tabularon los resultados y con esta información obtenida se determinaron los promedios finales de cada característica en cada muestra, como se puede evidenciar en el anexo I. A continuación se muestra un gráfico resumen con los resultados finales obtenidos:

**Figura 3.5 Resultados del análisis sensorial de la harina de papa**



**Fuente: Elaboración propia,2015**

Tal como se puede observar en la gráfica anterior, la muestra 1 presenta promedios más elevados en las cuatro características (color, olor, textura y sabor) establecidas para la escala hedónica, *razón por la que la muestra 1 se estableció como la seleccionada*; en este sentido vale la pena resaltar que este producto de acuerdo a lo comentado por los panelistas el que poseía el color mas blanco en cuanto a su aspecto, para una mayor producción y su posterior aplicación en diversos productos.

Después de obtener estos resultados, estos fueron sometidos a un análisis de varianza de un solo factor, mismo que fue realizado en una planilla de cálculo de Excel (anexo J), demostrando que no existe varianza con respecto a los resultados obtenidos, es decir, que no existen diferencias significativas entre las valoraciones de olor, color, sabor y textura de cada muestra.

#### 4.6 VIDA ANAQUEL

El tiempo de vida útil del producto ha sido determinado mediante pruebas aceleradas de vida en anaquel, este método consiste en realizar experimentos de almacenamiento en condiciones extremas, para este caso 100% de humedad relativa y 40° C, el procedimiento utilizado se encuentra inserto en el anexo J. En este sentido Espinoza (1995), menciona que a medida que las condiciones ambientales se vuelven más agresivas habrá una reducción del tiempo de vida útil, por lo tanto los valores de vida útil hallados para la harina de papa y almacenado a condiciones extremas pueden ser extendidos si los productos se expenden a condiciones menos adversas como serían las condiciones ambientales de la ciudad de Tarija donde la temperatura y la humedad relativa son inferiores a lo experimentado (27° C y 60% Hr).

Tal como se puede apreciar en el procedimiento para la determinación de la vida anaquel de la harina de papa, es necesario determinar previamente tanto la humedad en equilibrio como la humedad crítica, datos que fueron obtenidos de bibliografía, tal como se muestra a continuación:

- **La humedad de equilibrio;** Se determinó que para la actividad de agua ( $A_w=1$ ) o 100% de humedad relativa la humedad en equilibrio, tiene un valor de 26,137.
- **La humedad crítica;** Se determinó que el punto de Humedad crítica en base a los límites permisibles para la comercialización de harina de papa, en donde se establece que el contenido de agua no debe sobrepasar del 12%, razón por la que para mantener un margen de seguridad la humedad crítica fue fijada en un 11%.

Conocidos estos datos se procedió a determinar la razón de transferencia de humedad a través de la membrana semipermeable en este caso el empaque o película plástica de polipropileno flexible; para determinar el contenido de humedad total encerrado en este material de empaque bajo condiciones ambientales controladas, se realizaron pruebas que involucran la cantidad de humedad absorbida a través de la película

plástica utilizada para el almacenamiento, hacia el interior del empaque donde se encuentra el producto. Las condiciones ambientales fueron creadas dentro de una estufa para mantener los 40° C de temperatura y la humedad relativa de 100% con agua en un desecador; a continuación se detallan los resultados obtenidos de dicho análisis.

En el anexo L se muestran los datos de cambio de peso de la harina de papa en el envase de polipropileno por 20 días (tiempo que tarda en alcanzar el equilibrio la harina de papa), determinado para condiciones extremas de 40° C y 100% de HR.

La determinación del coeficiente de permeabilidad del envase se lo realizo, en base a las siguientes características del envase:

**Tabla IV-6 Características del envase utilizado en la determinación del coeficiente de permeabilidad de vapor de agua**

<b>DIMENSIONES</b>	<b>POLIOPROPILENO FLEXIBLE</b>
<b>Densidad del producto g/cm<sup>3</sup></b>	0,657
<b>Volumen del envase (cm<sup>3</sup>)</b>	304,5
<b>Cantidad de producto (g)</b>	200
<b>Ancho (cm)</b>	14,5
<b>Largo (cm)</b>	21
<b>Área de una cara (cm<sup>2</sup>)</b>	304,5
<b>Área de permeación (ambas caras cm<sup>2</sup>)</b>	609

**Fuente: Elaboración propia,2015**

Las características de los envases juegan un rol importante ya que protegen la vida en anaquel de los alimentos. El área de permeación de los envases tendrá gran influencia en la transferencia de vapor de agua.

El objetivo fue medir la cantidad de vapor de agua que pasa a través del material de empaque hacia el producto. La unidad de medida es el vapor de agua que pasa por

1m<sup>2</sup> de material durante 24 horas a temperatura y humedad específica. El coeficiente de permeabilidad de vapor de agua fue obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{coeficiente de permeabilidad } P_{H_2O} = \frac{WVTRx^f}{\Delta P}$$

Donde:

WVTR= Tasa de transmisión de vapor de agua

Q/t = Pendiente entre el nuevo peso ganado en un tiempo t, g/día

f= Espesor de la película plástica expresada en la unidad mil. (1mil=25,4µm)

A= Área de la superficie de permeabilidad

ΔP= Diferencia de la presión parcial

**Tabla VI-7 Datos cálculo del Coeficiente de permeabilidad de vapor de agua del polipropileno flexible**

Q/T (g/día)	Área	WVTR	ΔP	Espesor envase	Coeficiente de permeabilidad
0,073	0,0609	1,204	55,3	1,57	0,034

**Fuente: Espinoza (1995)**

#### **4.7. PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL**

Para realizar la predicción de vida útil de la harina de papa envasada, primero se definen las condiciones ambientales extremas en que se trabajaron para el análisis (100% HR a 40°C). El valor de la presión a 100% HR es 36.66 mm Hg

De esta manera se obtiene que el tiempo de vida útil de la harina de papa es de 455 días, (del producto en conjunto con el empaque); los datos y el procedimiento de cálculo de la vida anaquel se encuentra inserto en el anexo P





**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 CONCLUSIONES

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

- La harina de papa es un producto que actualmente no está siendo elaborado en nuestro país, sin embargo por el gran potencial que posee, aportaría a la industria alimentaria un gran beneficio como sustituto parcial de la harina de trigo.
- De las pruebas y análisis fisicoquímicos realizadas a la papa variedad Marcela Ojosa, se determinaron los siguientes resultados: Valor energético: 377 Kcal/100g, **Humedad: 74,1 g/100g**, Proteína: 2,98 g/100g, Materia grasa (no se detecta), Carbohidratos: 88,79 g/100g, Fibra cruda: 0,46g/100g, y Cenizas 0,82g/100g. Asimismo se determinó que una papa de esta variedad presenta la siguientes características: **Peso:** 254,62 g, **Diámetro:** 8,40 mm, **longitud:** 7,66mm, **porcentaje utilizable** de **92,96%**, el porcentaje restante lo constituye la cáscara que se desecha durante el escaldado.
- En función al diseño factorial de tres variables a dos niveles cada una y luego de realizar los ensayos respectivos, se llega a la conclusión de que el producto debe ser elaborado bajo las siguientes condiciones:

Temperatura	60° C
Espesor	2mm
Concentración meta bisulfito de sodio	0,2g/ml

- Según las fracciones de harina obtenida posteriormente a su tamizado se obtuvo un 85% de la harina con una granulometría entre 0,20mm y 0,25mm similar a la harina de maíz y el 15% restante contenía granulometrías entre 0,20mm y 0,063mm similar al almidón de maíz.
- De acuerdo a los balances de materia y energía realizados en el proceso de la elaboración de la harina de papa, se determinó que: de 1706,7g de papa se obtiene 355,414g de harina de papa, habiendo la mayor pérdida de materia

prima al deshidratarse la papa en el proceso de secado con un 78,73% (agua). La energía en forma de calor requerida para el proceso de elaboración de la harina de papa es de 395,949

- Según las propiedades organolépticas y fisicoquímicas obtenidas de la harina de papa, se obtuvieron los siguientes resultados : -Valor energético 367 Kcal/100g, -Humedad 7,63g/100g, -Proteína 7,93g/100g, -Materia grasa (no se detecta), -Carbohidratos 81,63g/100g, -Fibra cruda 0,41g/100g, -Cenizas 0,81 g/100g y organolépticos son: coliformes totales < 10 (\*), Mohos y levaduras  $1,0 \times 10^1$
- La harina de papa obtenida puede ser conservada de acuerdo a los parámetros de calidad establecidos por un tiempo de 455 días.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Se sugiere continuar con las investigaciones de harina de papa debido a que es un producto nuevo, aplicable sobre todo en productos de panadería y otros productos en los cuales intervengan como materia prima la "Harina de papa".
- Se sugiere que se realice una investigación sobre la cuantificación de almidones en la harina de papa obtenida, por su considerable contenido de este compuesto y tomando en cuenta que actualmente en los laboratorios de nuestro medio no se realiza esta determinación.
- Se sugiere probar con otros tipos de reactivos en el pre tratamiento térmico para conservar de una mejor manera el color del producto final.
- Se sugiere investigar la influencia del material de otros envases (papel industrial, polipropileno rígido, etc.) en la determinación de la vida anaquel de la harina de papa.
- Se sugiere habilitar en los laboratorios de la U.A.J.M.S., más estufas adecuadas para la realización de investigaciones aplicadas que tengan como objeto el análisis del proceso de secado.

