

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

Este capítulo hace referencia a las generalidades del poroto y harina de poroto que se empleará para el desarrollo del presente proyecto toda información referente a la producción, taxonomía, propiedades nutricionales, etc.

### **1.1 El Poroto**

El poroto o frijol (*Phaseolus Vulgaris*) es cultivado tradicionalmente por pequeños y medianos agricultores, es un grano básico considerado uno de los componentes esenciales en la dieta de la población rural de los países más pobres o en vías de desarrollo. Es una fuente de proteína rica en lisina, aunque deficiente en aminoácidos azufrados, además es importante por la cantidad de hierro que aporta a la dieta especialmente en el sector rural. La diversificación de productos derivados de frijol incluye productos congelados y empacados al vacío en forma de pasta; sin embargo, varias empresas en E.E.U.U., El Salvador, Costa Rica, entre otras, han realizado procesos de secado ya sea al sol o mediante un deshidratador industrial, como un medio para alargar la vida útil del producto manteniendo sus características nutritivas (Rosas, 1998).

Según la revista CUBAHORA (2019), el poroto pertenece al grupo de las legumbres secas y es rico en proteína vegetal, pues contiene 21,10 gramos por cada 100 del producto. Este alimento posee una alta cantidad de vitamina B9, 388 ug (microgramos) por cada 100 gramos.

Con 426 miligramos de fósforo y 140 miligramos de magnesio por cada 100 gramos es uno de los alimentos más ricos en minerales. Además, el poroto blanco es también un alimento muy rico en potasio y fibra. Como ventaja adicional, no contiene colesterol.

El poroto fresco cocido es utilizado en ensaladas, en la preparación de comidas tales como guisos, y una vez procesado se puede emplear como suplemento alimenticio en la elaboración de pan, queques, galletas, sopas.

En la **figura 1.1**, se muestra granos de poroto de la variedad blanco thebo.

**Figura 1.1**  
**POROTO DE LA VARIEDAD BLANCO THEBO**



Fuente: elaboración propia, 2019.

### **1.1.1 Origen del Poroto**

Los estudios arqueológicos revelan que el poroto, del género *Phaseolus*, se origina en el continente americano. Al respecto se han encontrado evidencias con antigüedad de 500 a 8 mil años en algunas regiones de México (Voysesst, 2000).

No obstante, existe un relativo acuerdo respecto a su origen: México, que es también el lugar donde se diseminaron las primeras semillas hacia el sur del continente americano, sitio en el que llega a cultivarse. Se destaca que es posible identificar a este país como lugar de origen por encontrar prototipos de especies silvestres de los cinco grupos más cultivados: *P. vulgaris* “frijol común”; *P. acutifolius*, “frijol tépari”; *P. lunatus*, “frijol lima”; *P. coccineus*, “frijol escarlata”; y *P. polyanthus*, “frijol anual”. En México existen evidencias arqueológicas de distintas especies de frijol, que van desde los 1200 hasta los 9000 años de antigüedad. Engleman (1991), por su parte, señala que en toda Mesoamérica se dieron cultivos de frijol, maíz, calabaza y chile que constituyeron la fuente alimenticia principal de las culturas que habitaban esta región, cuyos antecedentes se remontan a más de 8 mil años.

## 1.2 Variedades de Poroto en el Departamento de Tarija

Existe una amplia variedad de poroto en el mundo, pero en el departamento de Tarija se conocen dos variedades que son comercializados en los diferentes mercados, estos son: poroto blanco thebo más conocido en el departamento como poroto blanco, presenta una forma ovalada ligeramente aplanada.

Poroto carioca perla más conocido en el departamento como poroto cumanda, presenta una forma ovalada, es una de las variedades de porotos más pequeñas.

En la **figura 1.2** se muestra las variedades más comunes de poroto en el departamento de Tarija.

**Figura 1.2**  
**POROTO VARIEDAD CARIOCA PERLA, POROTO VARIEDAD BLANCO THEBO**



Fuente: Elaboración propia, 2019

### 1.2.1 Comparación de las Variedades de Poroto en el Departamento de Tarija

Como ya se había mencionado en el departamento de Tarija existen dos variedades de poroto el poroto de la variedad cumanda y el poroto de la variedad blanco.

En el **cuadro I-1** se realiza una comparación entre las dos variedades de poroto más comunes en el departamento de Tarija.

**Cuadro I-1**  
**Comparación entre Poroto Cumanda y Blanco**

<b>Cumanda</b>	<b>Blanco</b>
Solo se encuentra en estado seco en el mercado.	Se encuentra tanto estado seco como en fresco en los mercados.
1 kg tiene un valor de 15 bs.	1 kg tiene un valor de 10 bs.
Es producido en el departamento de Santa Cruz.	Es producido en la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.
Se ofertan solo en grano.	Se ofertan en grano y vaina.
Se requiere de 4060 semillas para obtener 1 kg de poroto seco.	Se requiere de 3680 semillas para obtener 1 kg de poroto seco.

Fuete: Elaboración propia, 2020.

El poroto que se seleccionó para la elaboración de harina de poroto, es el poroto de la variedad blanco thebo ya que este es de mayor rendimiento, son grandes, con una piel fina y un sabor sutil. Además, que este poroto se encuentra con mayor facilidad en estado fresco en los mercados en grandes cantidades y es de más bajo costo con relación al poroto carioca perla.

### **1.3 Generalidades del Poroto Blanco Thebo**

#### **1.3.1 Taxonomía del Poroto Variedad Blanco Thebo**

Aguilar, G. (2015), menciona que el poroto blanco es una planta de consistencia herbácea, posee hojas simples y compuestas, insertadas en los nudos del tallo y ramas.

El poroto blanco es una planta anual, herbácea, termófila, es decir, no soporta heladas, cultivada en el trópico hasta las zonas templadas. Se cultiva especialmente para obtener granos, los cuales pueden ser consumidos, secos e inmaduros, también la vaina verde es apreciada para consumo humano y el follaje para forraje.

**Figura 1.3**  
**PLANTA DE POROTO BLANCO THEBO**



Fuente: Grupo Sacsá, 2016.

La taxonomía del poroto de la variedad blanco thebo, debe ser elaborado por un profesional del área a fin de constatar las características taxonómicas del poroto utilizado en el proyecto.

### **1.3.2 Propiedades del Poroto Variedad Blanco Thebo**

Según la publicación del diario Uno (2016), estas legumbres están llenas de antioxidantes que proporcionan un buen suministro de molibdeno (un desintoxicante natural). También son una buena fuente de fibra y proteína y ocupan puestos bajos en el índice glicémico.

Debouck e Hidalgo (1985), mencionan que dentro del grupo de las leguminosas comestibles, el frijol blanco es una de las más importantes por ser complemento indispensable en la dieta alimentaria; se cultiva esencialmente para obtener las semillas, las cuales tienen un alto contenido de proteínas, alrededor de 22%.

De acuerdo a Waaijenberg et al., (2000), el frijol contiene más proteínas y hierro que la papa (2% de proteínas y 1 mg de hierro) y el maíz (3,3% de proteínas y 89 mg de hierro), es tan nutritivo como la carne, pero es mucho más barata.

### 1.3.3 Composición Físicoquímica del Poroto Variedad Blanco Thebo

El poroto blanco es una buena fuente de proteínas y son una excelente fuente de carbohidratos complejos, son bajos en sodio una buena fuente de vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B6 y ácido fólico), ciertos minerales (Ca, Fe, Cu, Zn, P, K, y Mg) y son una excelente fuente de ácidos grasos libres polinsaturados (Augustin y Klein, 1989).

En la **tabla I-1** se muestra la composición físicoquímica del poroto blanco.

**Tabla I-1**

**Tabla de Composición Química del Poroto Blanco Thebo por cada 100 g**

<b>CONSTITUYENTE</b>	<b>CANTIDAD</b>
Calorías	332Kcal
Fibra	4.3 g
Grasas	1.8 g
Proteínas	19.2 g
Carbohidratos	61.5 g
Grasas totales	1.8 g
Colesterol	0.0 mg
Saturados totales	0.12 g
Monoinsaturados	0.06 g
Poliinsaturados	0.18 g

Fuente: SCRIBD, Tabla Del Valor Nutricional Del Frijol, 2017.

### 1.3.4 Contenido en Nutrientes del Poroto Variedad Blanco Thebo

Las propiedades nutritivas que posee el poroto están relacionadas con su alto contenido proteico y en menor medida a su aportación de carbohidratos, vitaminas y minerales (Armando et al., 2011). El mismo autor menciona, que, dependiendo del tipo de poroto,

el contenido de proteínas varía del 14 al 33%, siendo rico en aminoácidos como la lisina (6,4 a 7,6 g/100 g de proteína) y la fenilalanina más tirosina (5,3 a 8,2 g/100 g de proteína), pero con deficiencias en los aminoácidos azufrados de metionina y cisteína. Sin embargo, de acuerdo a evaluaciones de tipo biológico, la calidad de la proteína del frijol cocido puede llegar a ser de hasta el 70% comparada con una proteína testigo de origen animal a la que se le asigna el 100%.

En la **tabla I-2** se muestra los aminoácidos del poroto por cada 100 g.

**Tabla I-2**  
**Tabla de Aminoácidos del Poroto por cada 100 g**

<b>AMINOÁCIDOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Isoleucina	927 mg
Leucina	1685 mg
Lisina	1593 mg
Metionina	234 mg
Fenilalanina	1154 mg
Treonina	878 mg
Triptófano	223 mg
Valina	1016 mg
Arginina	1257 mg
Histidina	627 mg

Fuente: SCRIBD (Tabla Del Valor Nutricional Del Frijol).

#### **1.4 Producción del Poroto**

De acuerdo a estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el frijol, es la leguminosa alimenticia más importante en el consumo humano en el mundo. Este cultivo es producido en sistemas, regiones y

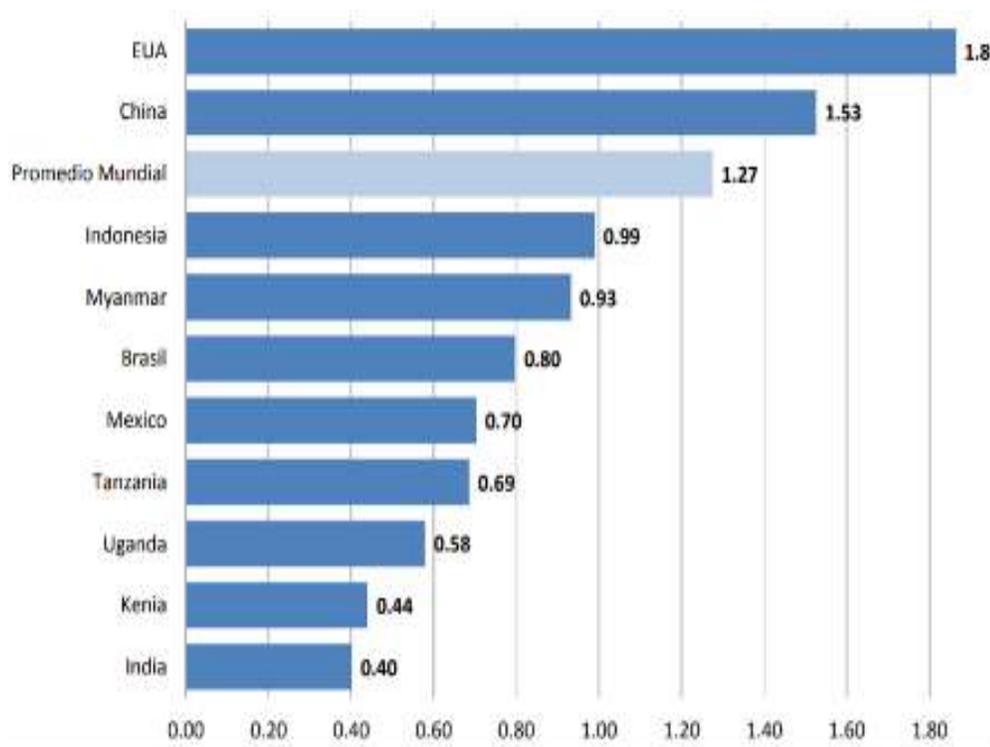
ambientes tan diversos como América Latina, África, el Medio Oriente, China, Europa, los Estados Unidos, y Canadá. En América Latina, es un alimento tradicional e importante, especialmente en Brasil, México, América Central y el Caribe. No obstante, su importancia en la dieta de algunos países, en el escenario mundial, el volumen de producción el frijol respecto a granos como el maíz, el trigo y el arroz representa solamente el 1%.

El rendimiento promedio mundial durante 2000-2009 de frijol se situó en 1.27 toneladas por hectárea (ton/ha). De los principales países productores del mundo, sólo Estados Unidos y China obtuvieron un rendimiento superior de 1.86 y 1.53 toneladas por hectárea, respectivamente.

Países como Indonesia, Brasil, India, Myanmar y México, obtuvieron un rendimiento promedio inferior al promedio mundial, es decir, de menos de una tonelada de frijol por hectárea. Para precisar lo anterior, por ejemplo, Brasil el principal productor del mundo, obtuvo un rendimiento de 0.8 toneladas por hectáreas, India un rendimiento de 0.4 toneladas por hectárea, Myanmar con 0.93 ton/ha, y México con 0.7 ton/ha.

En la **figura 1.4** se muestra el rendimiento de producción de poroto de los principales países productores en el mundo.

**Figura 1.4**  
**RENDIMIENTO DEL POROTO EN LOS PRINCIPALES PAÍSES**  
**PRODUCTORES (TONELADAS POR AÑO)**



Fuente: FAO, 2010.

#### **1.4.1 Producción de Poroto en Bolivia**

En Bolivia el poroto como arbustivo arbolito y voluble trepador es posible producir en todo el país, por las características biogeográficas y las zonas agroecológicas que tiene, para una mejor comprensión es posible dividir entre zonas agroecológicas que son el altiplano, valles interandinos y los llanos. Choque (2013).

El mismo autor indica que gracias al trabajo realizado por el vallecito de las UAGRM, Programa de frejol conjuntamente con el CIAT de Colombia y la COSUDE en Bolivia, el área sembrada de frijol (arbustivo y voluble) en toda Bolivia, actualmente se estima en 58,000 ha, de esta superficie aproximadamente el 85% en el departamento de Santa cruz y el resto en Tarija, Chuquisaca, Cochabamba y muy poco en La Paz, Beni y

Pando. Agronomía (2014) menciona que el aumento de la demanda de grano y los altos precios que rigen en el mercado global la tonelada vale de \$us 800 a 1,000, motivo la expansión de la frontera agrícola de frejol que de 2010 a 2013 trepo de 56,522 a 60,00 hectáreas en el país. Un 85% (51,00 hectáreas) se producen en Santa Cruz, según registros del instituto de investigaciones agrícolas (IIA) El Vallecito, dependientes de la Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno.

En la zona de los valles interandinos de Bolivia, es posible la producción de frijol a nivel comercial, tanto de frijol arbustivo como voluble, las zonas más destacadas en los valles de Cochabamba incluyen a Mizque, Totora y otros, en los valles de Chuquisaca, se tiene referencia de Monteagudo, Padilla, Guacareta, Supachuy, Tarabuco, Villa Serrano, Camargo entre otros, en los valles de Tarija, Yacuiba, Entre Ríos, Palos Blancos, Caraparí y otros; en los valles del departamento de La Paz; en los valles del departamento de Santa Cruz, prácticamente es posible la producción comercial de frejol arbustivo y voluble en todos los valles.

En la **tabla I-3** se muestra la producción de poroto por departamentos en Bolivia en los años 2004 al 2011.

**Tabla I-3**  
**Producción de Poroto por Departamento en Bolivia (toneladas por año)**

<b>AÑO</b>	<b>2014-2015</b>	<b>2015-2016</b>	<b>2016-2017</b>	<b>2017-2018</b>	<b>2018-2019</b>
Santa cruz	93.753	66.983	95.460	98.042	97.823
Cochabamba	3.313	3.396	2.992	3.194	3.185
La paz	505	515	506	506	527
Tarija	568	582	585	566	541
Chuquisaca	4.708	4.640	4.560	4.639	4.649
Beni	492	504	512	497	519
Pando	247	248	248	246	290
Oruro	0	0	0	0	0
Potosí	25	26	19	19	16
<b>Total</b>	<b>103.611</b>	<b>76.894</b>	<b>104.882</b>	<b>107.709</b>	<b>107.550</b>

Fuente: INE, 2019.

#### **1.4.2 Producción de Poroto en el Departamento de Tarija**

En la **tabla I-4** se muestra la producción de poroto en la provincia Gran Chaco ya que son los mayores productores de poroto del departamento de Tarija.

**Tabla I-4**  
**Cultivo de Poroto en el Departamento de Tarija**

<b>Municipio</b>	<b>Superficie (Ha)</b>	<b>Producción (qq/año)</b>	<b>Rendimiento (qq/Ha)</b>
Yacuiba	170,22	329,46	1,94
Villamontes	73,02	795,13	10,89

Fuente: INE-Censo Agropecuario 2013.

## 1.5 Generalidades de la Harina de Poroto blanco

El sabor de los porotos blancos, la fibra y las proteínas son ricos, al molerlos pueden alimentar siendo parte de recetas, incluir la harina de porotos es saludable además agrega sabor, la mayoría de las recetas usan harina de trigo y en lugar de esta se puede implementar el uso de harina de poroto blanco que también proporciona un buen sabor y textura al ser usada como elaboración de productos panaderos o pasteleros llevados a horno, este tipo de harina no contiene gluten por lo que es deseable utilizarla en recetas para personas que sufren alergia al trigo y sensibilidad, o personas celiacas.

Se considera que sustituir la harina de trigo por harina de poroto resulta benéfico ya que se puede obtener un producto con mayor calidad nutritiva y valor proteico. Los porotos blancos son de buen sabor y al molerlos se transforman en harina siendo un ingrediente ideal en recetas que no contengan gluten e importante en la dieta para celiacos (Pérez, 2017).

### 1.5.1 Composición de la Harina de Poroto

Este tipo de harina no contiene gluten, y es rica en vitaminas, proteínas, carbohidratos, dicha harina es ideal para la elaboración de galletas, cupcakes y con sustitución parcial de la harina de trigo se emplea en la panificación.

En la **tabla I-5** se muestra la composición química (%) en 100 gr de harina de poroto.

**Tabla I-5**  
**Composición Química de la Harina de Poroto**

<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Proteína	16 - 33
Grasa	1,5 - 6,2
Carbohidratos	52 - 75
Fibra	14 - 19
Cenizas	2,9 - 4,5
Minerales	0
Calcio	0

Fuente: Guzmán Maldonado, 2002

### **1.5.2 Producción de Harina de Poroto Blanco en el Departamento de Tarija**

Como ya se mencionó anteriormente no se cuenta con información acerca de procesos de producción y transformación de ninguna variedad de poroto o elaboración de harina de poroto a nivel departamental y nacional, la poca información que se obtuvo para desarrollar el presente proyecto se obtuvo de páginas web de investigaciones realizadas en Ecuador y México donde utilizan la harina de poroto para repostería haciendo más referencia en la repostería y no así en la elaboración de harina de poroto.

### **1.6 Selección de Materia Prima**

El desarrollo de variedades para el tratamiento industrial de los alimentos requiere considerar todos aquellos atributos de las materias primas que se reflejan luego en la calidad de los productos acabados. Los atributos importantes son: color, forma, textura y características de maduración. Por lo que la selección puede hacerse por las siguientes pautas:

- Selección según las características de color.
- Selección según las características de forma.

- Selección según las características de sabor.
- Selección según las características de maduración.

### **1.7 Selección del Tipo de Secado**

El secado constituye uno de los métodos que permite separar un líquido de un sólido. En general, entendemos por secado la separación de la humedad de los sólidos (o de los líquidos) por evaporación en una corriente gaseosa; en consecuencia, en cualquier proceso de secado hemos de tener en cuenta los mecanismos de transmisión de calor y transporte de materia en la mayor parte de los problemas prácticos de secado, la humedad (o líquido a separar) suele ser vapor de agua, y el gas empleado para el secado suele ser aire. En todas nuestras consideraciones nos limitaremos a este caso, a no ser que indiquemos lo contrario, aunque las relaciones empleadas son aplicables a cualquier sistema Ocon J. y Tojo G. (1980).

#### **1.7.1 Métodos para el Secado de Poroto**

##### **1.7.1.1 Secado Solar**

El secado mediante la exposición al sol es ampliamente practicada en los trópicos y subtropicos. La variante más común y económica de este método consiste en colocar el alimento sobre la tierra (acondicionada o alfombrada) o piso de concreto, quedando expuesto directamente al sol.

La desventaja de esta variante radica en la vulnerabilidad del alimento a la contaminación por polvo, infestación por insectos y hongos productores de aflatoxinas, pérdidas por animales y baja calidad de los productos obtenidos. El proceso de deshidratación mediante la exposición directa al sol puede requerir de 106 a 120 h (Saciliket *al.*, 2006).

Las ventajas de la deshidratación solar radican en los bajos costos de operación y en ser ecológicos, puesto que generalmente no utilizan energía eléctrica o derivada de combustibles fósiles. Se han diseñado e instalado diferentes tipos de deshidratadores

solares en diferentes regiones del mundo. En términos generales, los deshidratadores solares se pueden clasificar en dos tipos: los deshidratadores que utilizan exclusivamente fuentes de energía renovables y los deshidratadores que incluyen además fuentes de energía no renovable, ya sea como fuente suplementaria de calor o para favorecer la circulación de aire (Bala, 1998).

### **1.7.1.2 Secado Osmótico**

El secado osmótico consiste en colocar el producto en contacto con una solución de azúcar y/o sal, a la cual se le denomina solución osmótica. Durante la deshidratación osmótica disminuye continuamente el contenido de agua en el poroto mientras el agente osmótico penetra en él.

El secado osmótico tiene la ventaja de mantener de mejor manera las características organolépticas (color, textura, sabor y aroma) y nutricionales (vitaminas, minerales y compuestos protectores) del poroto, lo cual no se logra con la deshidratación térmica (Jiokapet *al.*, 2001). La deshidratación osmótica también permite reducir los costos de producción, empaque y distribución de esta legumbre.

### **1.7.1.3 Secado en Microondas**

Las microondas causan la polarización de moléculas y una movilidad intensa de sus electrones, debido a la conversión de energía electromagnética en energía cinética. A causa de este movimiento, los electrones chocan entre sí, generando calor como resultado de la fricción. La aplicación de microondas genera un calentamiento interno y una presión de vapor dentro del producto que suavemente “bombea” la humedad hacia la superficie, reduciendo la resistencia interna del alimento al movimiento de agua y causando su deshidratación. La alta presión de vapor de agua que se genera en el interior del alimento expuesto a microondas puede inducir la formación de poros en el producto, lo cual facilita el proceso de secado. Este método de deshidratación se ha vuelto común, porque previene la disminución de la calidad y asegura una distribución

rápida y eficiente del calor en el alimento. Con este método el tiempo de secado se reduce significativamente y se obtienen grandes ahorros de energía (Feng, 2002).

#### **1.7.1.4 Secado por Liofilización**

Es un proceso industrial empleado para asegurar la estabilidad a largo plazo y para preservar las propiedades originales de los productos farmacéuticos y biológicos. Este proceso se aplicó recientemente para mejorar la estabilidad a largo plazo de las nano partículas. El liofilizado requiere la eliminación de agua de más de 99 % de una solución diluida inicialmente. La concentración de soluto total aumenta rápidamente y es una función de la temperatura solamente, es por lo tanto independiente de la concentración de la solución inicial. El estado sólido del agua durante la liofilización protege la estructura primaria y la forma de los productos con una reducción mínima de volumen. Los compuestos volátiles, sales o electrolitos, sino forman una clase especial de excipientes, sales, acetato o bicarbonato, se eliminan fácilmente durante la etapa de sublimación del hielo y por lo tanto no permanecen en el producto deshidratado (Franks, 1998).

#### **1.7.1.5 Secado con Aire Caliente Forzado**

El secado con aire caliente forzado es el método más común para secar productos alimenticios, incluyendo porotos. En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos (Schiffmann, 1995).

El secador de bandejas, o secador de anaqueles, consiste en un gabinete, de tamaño suficientemente grande para alojar los materiales a secar, en el cual se hace correr suficiente cantidad de aire caliente y seco. En general, el aire es calentado por vapor, pero no saturado, de modo que pueda arrastrar suficiente agua para un secado eficiente. Es necesario hacer notar una situación interesante de optimización de secadores. En este caso, cuando se calienta el aire con vapor, debe tomarse en cuenta varios aspectos, si nos situamos en la carta psicométrica, el aire a utilizar, debe poseer una temperatura de bulbo húmedo alta, una entalpía alta, pero una humedad relativa baja. Puesto, que la operación

de secado, como cualquier operación de transferencia, depende del tiempo de contacto interfacial (el cual no varía notablemente en este tipo de secador debido a la variación de la velocidad del aire), el área de contacto interfacial (que para nuestro caso requerimos que sean sólidos en terrones, o granos, para aumentar esta relación), el gradiente de temperatura y de humedad y la resistencia. En general, en este tipo de secadores, las variables que pueden fijarse o variarse son los gradientes, he allí la importancia que el aire no entre frío ni húmedo, puesto que esto minimiza el gradiente y elimina la eficiencia del secador. Esto último es cierto para todos los tipos de secadores, no obstante, es más marcado en este tipo de secador, puesto que, en los siguientes, las otras variables no son tan rigurosamente fijas.

### **1.7.2 Comparación de los Tipos de Secadores**

En el siguiente cuadro **I-2** se muestra la comparación de ventajas y desventajas de los distintos tipos de secadores para secado de alimentos.

**Cuadro I-2**  
**Ventajas y Desventajas de Secadores utilizados para Alimentos**

<b>Tipo de Secador</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Solar	Proceso económico. Ecológicos.	Vulnerabilidad del alimento a la contaminación por polvo, infestación por insectos y hongos. Requiere de 106 a 120 horas.
Osmótico	Mantiene de mejor manera las características organolépticas y nutricionales.	Se emplea solo para secado de algunas frutas.
Microondas	Desarrollo de gradientes internos de humedad que aumenta la velocidad de secado. Posibilidad de trabajar a menores temperaturas superficiales.	Calentamiento no uniforme del producto. Altos costos de instalación.
Liofilización	Conserva las características organolépticas del alimento.	Requiere de mucho tiempo para el proceso de secado. Altos costos energéticos.
Bandejas	El secado puede acelerarse. Secado más homogéneo. El aire caliente se dispersa de manera más homogénea. Reduce el peso hasta su quinta parte y hasta quince veces menos masa. Efecto conservador por varios meses. Se puede realizar a pequeña escala. Aumenta la eficiencia en el transporte y almacenaje del producto. Económico en adquisición y funcionamiento.	La eliminación del agua debe hacerse de modo que el perjuicio sobre su calidad sea el mínimo. Solo se usan en pequeñas instalaciones.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El secador seleccionado para el presente proyecto es el secador de bandejas, de acuerdo a las características y ventajas que presenta es el más indicado para realizar un secado homogéneo, calidad de producto y a bajo costo.

### 1.7.3 Cinética de Secado

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

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación (Ocon J., García T., 1963)

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

SS = Peso de sólido seco

A = Área de la superficie expuesta

W = Velocidad de secado

El secado disminuye peso y volumen de los productos de ahí bajos costes de transporte y almacenamiento. Sin embargo, el secado conlleva algunas pérdidas en el valor nutricional de los productos, por ejemplo, pérdida de vitamina C, y cambios de color y apariencia que no pueden ser deseables (Kendallet al., 2004).

Los alimentos deben ser secados rápidamente, pero no tan rápido ya que la superficie se vuelve dura antes de que la humedad interna se haya evaporado. El secado no debe interrumpirse, una vez iniciado el proceso, los alimentos no deben ser enfriados para volver a iniciar el secado posteriormente.

Los mecanismos de remoción de agua por el secado involucran dos procesos simultáneos a saber, transferencia de calor hacia el alimento para la evaporación de agua y transporte de eliminación del vapor de agua formado en el alimento. Por ello el secado es una operación basada en transferencia de calor y masa simultáneamente (Fellows, 2000; Jongen, 2002; Smith & Hui, 2004). Cuando el aire caliente circula

sobre el alimento húmedo, el vapor de agua se difunde a través de la capa de superficie al aire circundante del alimento y es arrastrado por el aire en movimiento.

### **1.7.3.1 Conceptos básicos empleados para el Secado**

El contenido de humedad de una materia suele expresarse como porcentaje en peso respecto al material seco. Un sólido expuesto al aire a una determinada humedad y temperatura pierde o gana agua hasta alcanzar condiciones de equilibrio; el grado de humedad, en el equilibrio, depende de las características del material.

#### **1.7.3.1.1 Humedad de un Sólido**

Es el peso de agua que acompaña a la unidad de peso de sólido seco.

#### **1.7.3.1.2 Humedad de Equilibrio**

Es la humedad alcanzada por un sólido en equilibrio con una masa de aire a una determinada temperatura y humedad. También, es el límite de humedad que puede alcanzar un sólido en contacto con una masa de aire. Si la humedad del sólido es mayor que la humedad de equilibrio, el sólido se seca; si es menor, el sólido capta agua hasta la humedad de equilibrio.

La humedad de equilibrio, es la humedad que existe cuando la presión de vapor del agua en el alimento está en equilibrio con la presión parcial del vapor de agua en el aire. Si el aire se satura totalmente durante el secado, entonces el equilibrio se establece con la presión de vapor del agua en el aire ya que esta presión es igual a la presión parcial del vapor de agua bajo esas condiciones. La humedad de equilibrio se expresa en base seca, en unidades del Sistema Internacional kg agua/kg sólido seco (kga/kgss).

#### **1.7.3.1.3 Humedad Crítica**

Es el contenido de humedad que posee el producto a secarse en el momento que hay una transición de velocidad de secado, es decir, del momento de secado a velocidad constante pasa a velocidad decreciente. El punto en el cual termina la intensidad constante y empieza a disminuir la intensidad de la desecación se denomina contenido

crítico de humedad (Perry & Chilton, 1981). La humedad crítica, es el nivel de humedad que en la mayoría de los casos se alcanza después de haber pasado una etapa de velocidad de secado constante a temperatura también constante. A partir de este nivel de humedad la velocidad de secado descenderá considerablemente.

#### **1.7.3.1.4 Período Anticrítico**

Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado es constante, desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.

#### **1.7.3.1.5 Período Poscrítico**

Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado disminuye hasta llegar a un valor de cero. Este período empieza con la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio.

#### **1.7.3.1.6 Humedad Libre**

Es el exceso de humedad de un sólido, respecto a la humedad de equilibrio, en contacto con una determinada masa de aire. Es la humedad que puede perder un sólido después de un contacto prolongado con el aire.

#### **1.7.3.1.7 Humedad Ligada**

Es la humedad de equilibrio de un sólido en contacto con una masa de aire de humedad relativa del 100%. También, la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico.

#### **1.7.3.1.8 Humedad en Base Seca y Base Húmeda**

La industria mide convencionalmente el contenido de humedad de un producto como la relación de masa de agua a la masa total del producto. Por ejemplo, para un producto que contiene 40 Kg por cada 100Kg, el contenido de humedad es expresado como 40%. Esta base de medida es conocida como base húmeda (BH). Para el análisis de secado sin embargo es más conveniente medir el contenido de humedad en base seca (BS) (la

relación de masa de agua a la masa de sólido seco). En el ejemplo anterior existe 40Kg de agua por cada 60Kg de sólidos seco, el contenido de humedad en base seca es 40/60 o 60% BS. Así el contenido de humedad en el producto es la concentración de agua en el producto (Geankoplis, 2007).

### **1.7.3.2 Variables que influyen en la Cinética de Secado**

De acuerdo a Kneule (1990), cuando un sólido se seca ocurren dos procesos fundamentales y simultáneos:

Transferencia de calor para evaporar el líquido.

Transferencia de masa en forma de líquido o vapor.

Los factores que regulan las velocidades de estos procesos determinan la rapidez o el índice de secado.

Entre las variables de secado tenemos:

#### **1.7.3.2.1 Temperatura del Aire**

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. Conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. La elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se va a someter al proceso. Andritsos et al., (2003) afirman que las temperaturas de secado de alimentos ideales están entre 45 y 55 °C. Esto permite al producto retener sus nutrientes.

Cuando el secado se realiza muy rápido a altas temperaturas, se producirá “causa endurecimiento”; esto significa que las células en la parte exterior de la pieza alimentaria perderán la humedad rápidamente que las células del interior. La superficie se vuelve dura, evitando la salida de la humedad interna. Por esta razón, debe haber una adecuada ventilación alrededor del secador de alimentos (Fellows, 2000; Keith, 1984).

#### **1.7.3.2.2 Tiempo de Secado**

El tiempo de secado depende de varios factores. Los más importantes son:

Tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo).

Tamaño de los trozos del producto (más grande, mayor tiempo).

Temperatura del aire (más elevada, menor tiempo).

Humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo).

Velocidad del aire (más elevada, menor tiempo).

### **1.7.3.2.3 Velocidad de la circulación del aire de Secado**

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 alimento facilitando su evaporación. En segundo lugar, ayuda a transportar la humedad saliente del material. La velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre el alimento (Foust, 1990). A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado. La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de la capa límite, más rápida será la remoción de humedad. Por otra parte, el flujo de aire es importante, uno turbulento es mucho más eficaz que uno laminar. El deshidratado a nivel industrial se lleva a cabo empleando velocidades de aire entre 1.5 y 2.5m/s

### **1.7.3.3 Influencia del Secado en el Valor Nutritivo de los Alimentos**

El secado, como todos los métodos de preservación, puede resultar en la pérdida de algunos nutrientes. Los efectos del secado en el valor nutritivo de los alimentos incluyen:

Contenido calórico: No cambia, pero es concentrada dentro de una pequeña masa como la humedad que es removida.

Fibra: No cambia.

Tiamina, riboflavina, niacina: Algunas pérdidas durante el escaldado, pero bastante buena retención si el agua utilizada para la rehidratación es consumida.

Minerales: Algunos se pueden perder durante la rehidratación si el agua de remojo no se utiliza. El hierro no es destruido por el secado.

Vitamina A: Es bien retenida si se controla la fuente de calor.

Vitamina C: Mayormente destruido durante el escaldado y el secado de alimentos.

#### **1.7.3.4 Secado Exitoso**

Secar los alimentos de modo uniforme para alcanzar un secado exitoso necesita un esfuerzo y atención extra. Moviendo las muestras con frecuencia y cambiando las bandejas en el secador son esenciales ya que el calor no es la misma en todas las partes del secador. Para los mejores resultados, extender delgadas capas de tamaños uniformes de alimento en las bandejas del secador (Ayorkor, 2009).

#### **1.7.4 Curvas de Velocidad de Secado**

Según Geankoplis (2007), para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso, por lo general se estima el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad y la temperatura del aire empleado, y el tiempo necesario para lograr el grado de secado. No es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales, por lo que es necesario determinarlo por vías experimentales. De la misma manera, puesto que el conocimiento de mecanismos básicos de las velocidades de secado es bastante incompleto, en muchos casos es indispensable obtener algunas mediciones experimentales de las velocidades de secado.

##### **1.7.4.1 Determinación Experimental de la Velocidad de Secado**

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procede a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido se debe llenar por completo la base de la bandeja, de manera que solo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida de peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja de una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes.

#### 1.7.4.2 Curvas de Velocidad de Secado para Condiciones de Secado Constante

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes, generalmente se expresa como peso total “P” del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de “t” horas en el periodo de secado. Estos datos se pueden convertir a datos de velocidad de secado por los siguientes procedimientos, donde primero se recalculan los datos: Si “P” es el peso del sólido húmedo en kilogramos totales de agua más sólido seco y “Ps” es el peso del sólido seco en kilogramos.

Después de haber establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio  $X^*$  Kg de humedad de equilibrio/Kg de sólido seco. Con él se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre X en Kg de agua libre/Kg de sólido seco

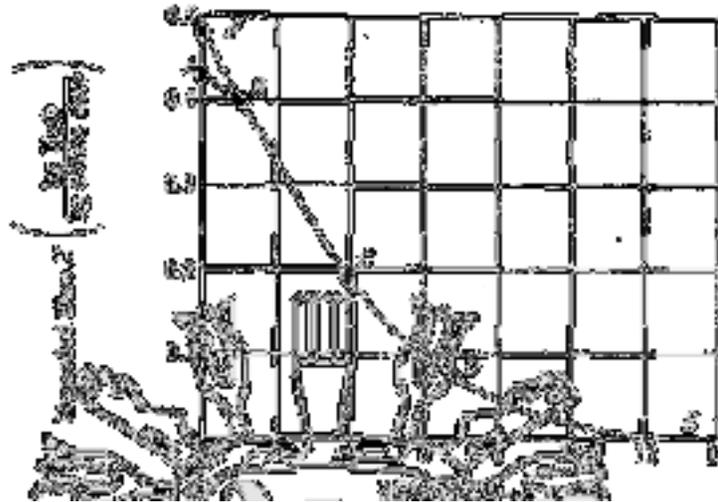
Se traza una gráfica del contenido de humedad libre X en función del tiempo t en horas. Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona Valores de  $dX/dt$  para ciertos valore de t. se calcula entonces la velocidad para cada punto.

#### 1.7.4.3 Gráfica de la Curva de Velocidad de Secado

La eliminación de agua ocurre generalmente en una serie de etapas diferenciadas por la velocidad de secado, después de un corto periodo de estabilización lineal donde el sólido está a baja temperatura y la velocidad de evaporación aumenta a medida que sube la temperatura, se registra una etapa de velocidad de deshidratado constante, donde la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio (temperatura de bulbo húmedo del aire), lo que provoca una reducción importante del contenido de agua a temperatura y velocidad de secado constante, mientras la superficie del solido se mantiene saturada de agua que migra desde el interior a la misma velocidad que ocurre la evaporación en la superficie (Singh & Heldman, 1998). En la **figura 1.5** se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando en el tiempo cero, el contenido de humedad libre corresponde al punto A al principio, el

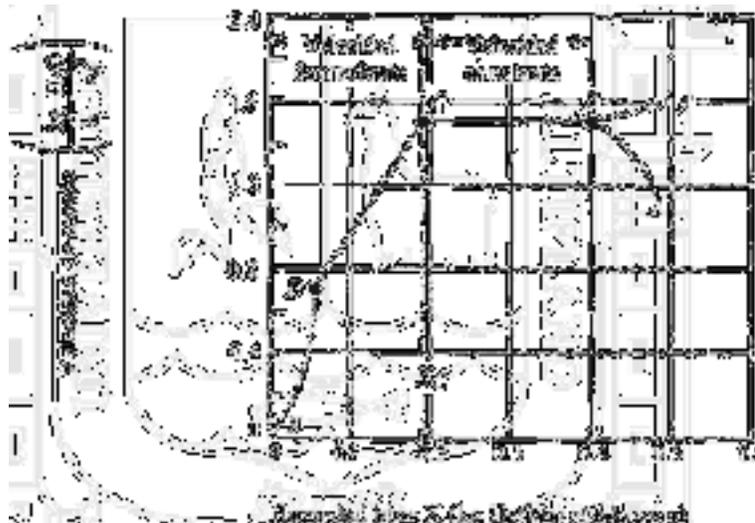
sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principio de la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en el punto A'. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado. En la recta entre los puntos B y C de la **Figura 1.5**, indica que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la **Figura 1.6**. En el punto C de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la **Figura 1.6** y por lo general es lineal. En el punto D la velocidad de secado disminuye con más rapidez aun, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio es  $X^*$ , y  $X=X^*-X^*=0$ . En el secado de algunos materiales, la región CD no existe, o bien; constituye la totalidad del periodo de velocidad decreciente.

**Figura 1.5**  
**CONTENIDO DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO**



Fuente: Paquita, 2015.

**Figura 1.6**  
**VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**



Fuente: Paquita, 2015.

### 1.8 Selección de Molienda

La molienda es una operación unitaria que tiene como objetivo reducir el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida, existiendo así la transferencia de movimiento exclusivo de los sólidos.

A pesar de que solo implica una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, es de suma importancia en diversos procesos industriales, ya que el tamaño de las partículas representa en forma indirecta áreas, que a su vez afectan las magnitudes de los fenómenos de transferencia entre otras. Considerando lo anterior, el conocimiento de la granulometría para determinado material es de importancia, consecuentemente.

La reducción se lleva a cabo dividiendo o racionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Existen diversas razones por la que es conveniente reducir el tamaño (molienda) de los alimentos en la industria alimentaria como ser el incremento de los usos del producto.

**Figura 1.7**  
**HARINA DE POROTO BLANCO**



Fuente: Bingo Biotech, 2015

Para la selección de molienda tomamos en cuenta el tipo de alimento que se tenga, en este caso tenemos poroto seco. Por lo tanto, se realiza un estudio y selección de molinos para tener un óptimo rendimiento en la molienda.

A continuación, tenemos la descripción de los molinos y la selección de los mismos según el tipo de fuerza que se aplica para cada tipo de alimentos.

### **1.8.1 Tipos de Fuerzas**

El tipo de fuerza a emplear para lograr una reducción de tamaño depende del tipo de alimento que se tenga.

Para la reducción de tamaño se pueden emplear estos tipos de fuerzas:

- Fuerza de compresión: se utiliza para reducir sólidos duros a tamaños más o menos grandes.
- Fuerza de impacto: se utiliza para reducir sólidos a tamaños gruesos, medianos y finos.
- Fuerza de frotación, rozamiento o cizalla: se utiliza para producir partículas finas.

Fuerza de corte: se utiliza para obtener tamaños y formas definidos o eliminar partes sólidas (Ramon Cruz, 2009).

### **1.8.2 Tipos de Molinos**

Existen gran variedad de tipos de molinos, entre los que se encuentran:

- Molino de Bolas
- Molinos de Martillos
- Molinos de Discos
- Molinos de Rodillos

#### **1.8.2.1 Molino de Bolas**

El molino de bolas es un tipo de molino utilizado para moler y mezclar materiales por uso en procesos de adobado de minerales, pinturas, pirotecnia, cerámicos y sinterización de laser selectivo. Funciona por el principio de impacto y atrición: la reducción de medida se obtiene por impacto al caer las bolas desde arriba del cilindro.

Un molino de bolas consiste de un recipiente cilíndrico vacío que gira sobre su eje. El eje del cilindro puede ser tanto horizontal como tener un ángulo pequeño con la horizontal. Es parcialmente lleno de bolas las que pueden ser hechas de acero, acero inoxidable, cerámico, o goma.

#### **1.8.2.2 Molino de Martillos**

Los molinos de martillo consisten en una cámara circular en la cual se instalan martillos fijos a giratorios que rotan a alta velocidad molienda en grano. El grano molido pasa a través de un cernidor removible colocado en la base inferior de la cámara a un saco, o puede ser aspirado por un ventilador ubicado en la parte superior del canal de salida. La abertura de la malla en el cernidor determina el tamaño de las partículas: los agujeros de 1mm son apropiados para el consumo humano; los de 3mm, para la alimentación animal

#### **1.8.2.3 Molino de Discos**

Los molinos de discos son ideales para la trituración fina en el rango medio de tamaño de partículas de sólidos blandos a duros, viscosos y sensibles a la temperatura. El material se tritura mediante presión y cizallamiento entre dos discos de molienda con un grueso dentado interno que actúan en sentido opuesto.

El molino oscilante de discos es ideal para la molienda extremadamente rápida de materiales blandos a duros, quebradizos, viscosos, fibrosos y húmedos a una granulometría para el análisis. La molienda se realiza mediante oscilaciones circulares del juego de la molienda sobre un plato oscilante con una presión extremadamente alta, impactos y abrasión. Para evitar el molesto desgaste, los juegos de molienda se presentan en acero de diferentes durezas, metal duro de carburo de tungsteno y óxido de circonio.

#### **1.8.2.4 Molino de Rodillos**

Un molino de rodillo consiste en un par de rodillos que giran en sentido opuesto. Uno de ellos gira más rápidamente que el otro, para permitir que las cascarras se retire del grano. Un rodillo esta sostenido por un soporte fijo, el otro se coloca en paralelo por medio de

un resorte ajustable, de modo que la separación y, por lo tanto, la textura de molienda puede ser adaptada. Los molinos de rodillo por lo general operan en serie: cada uno produce una harina de grano más fino. Existe una distinción entre los elementos que intervienen en cada etapa. Si bien los pequeños molinos de rodillo se hallan disponibles, la tecnología utilizada resulta demasiado sofisticada y costosa para el área rural y, por lo general, se encuentra en las áreas urbanas para la producción de harina de trigo y maíz.

### 1.8.3 Comparación de los tipos de Molinos

En el siguiente cuadro I-3 se muestra la comparación de ventajas y desventajas de los distintos tipos de molinos para la trituración de granos.

**Cuadro IA-3**  
**Ventajas y Desventajas de Molinos**

<b>Tipo de Molino</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Bolas	Apto para obtener producto fino. Útil para moliendas finas y vía húmeda. Para la industria cementera	Contaminación del producto por las bolas de aceros. Desgaste de la superficie por cizallamiento del producto fracturado. Bajo volumen procesado.
Martillos	Alta capacidad de producción, alta proporción de trituración. Bajo consumo de energía. Tamaño de partícula uniforme. Estructura simple y fácil de operar. Permite reducción de material seco. Bajo costo de inversión. Para la industria alimentaria en elaboración de harinas.	No es eficiente para material húmedo. Atascamiento entre martillos y la carcasa. Desgaste a causa de materiales abrasivos o muy duros.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Cuadro IB-3**  
**Ventajas y Desventajas de Molinos**

	Fácil acceso a la cámara de molienda. Es de fácil manipulación y mantenimiento.	Es difícil regular el tamaño de partícula de acuerdo a la alimentación y separación de los discos. Su costo es elevado por la complejidad en su construcción.
Rodillos	Poco desgaste de los rodillos. Vida útil grande. Poco consumo de energía. Para la industria minera.	Sistema de alimentación complejo. Deterioro de la calidad del material.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El molino seleccionado para el presente proyecto es el molino de martillos, de acuerdo a las características y ventajas que presenta frente a los demás molinos es el más indicado para realizar un triturado uniforme, de fácil manejo, rápido, de bajo costo y es el más recomendado para emplearlo en alimentos.

### **1.9 Tamizado**

El tamizado es uno de los métodos más antiguos para clasificar los polvos y los granulados mediante la distribución del tamaño de partícula. El tamizado consiste básicamente en clasificar las partículas según su tamaño intermedio, es decir, su ancho o amplitud, utilizando cribas (tamiz) preferentemente de acero inoxidable.

Debido a la amplia gama de tamaños que se pueden dar en esta operación, es importante clasificarlas, para ello se utiliza el término de apertura de malla.

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 estos y para el 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.

### **1.10 Evaluación Sensorial**

El análisis sensorial es una disciplina científica que permite la medición, análisis e interpretación de la reacción ante las características de los alimentos que son percibidas a través de los sentidos (Ibáñez & Barcina, 2001; Ramírez, 2012).

Las pruebas orientadas al consumidor permiten la medición del agrado de un producto, así como la determinación del grado de aceptación. Estas pruebas tienen como requisito que los panelistas sean los consumidores del producto en estudio (Espinosa et al., 1998; Ramírez, 2012) y no se puede utilizar un panel entrenado debido a que una vez que una persona ha sido entrenada para identificar y cuantificar atributos deja de ser consumidor típico (Clark et al., 2009).

Las pruebas de aceptación se conocen también como pruebas hedónicas y se centran en solicitar al consumidor que indiquen el nivel de agrado de un producto mediante el uso de una escala y, por consiguiente, son conocidas como pruebas de nivel de agrado. Para realizar las pruebas de aceptabilidad se pueden utilizar pruebas de ordenamiento, escalas categorizadas y pruebas de comparación (Ramírez, 2012).

Las categorías de esta escala se nombran con frases o números que representan diferentes niveles de agrado con continuidad en cuanto a gusto y disgusto (Pimentel et al., 2016).

En este caso se utiliza un Test descriptivo donde se evalúa si el producto es aceptable o no y se valoran las muestras de acuerdo a una escala de calidad que va de excelente a malo (Parada, 2015).

### **1.11 Microbiología en Alimentos**

Los análisis microbiológicos consisten en una inspección de alimentos o sustancias por medio de pruebas que permiten detectar si se presentan o no elementos patógenos. De

acuerdo con la cantidad de agentes patógenos encontrados y el grado de contaminación que tengan los alimentos o sustancias analizadas, se puede determinar si es apto o no para su posterior procesamiento y consumo en humanos.

Los microorganismos son utilizados para obtener una gran variedad de alimentos, son causa de su deterioro y pueden provocar enfermedad en el hombre. Producir, distribuir y consumir alimentos de buena calidad sanitaria, crudos, preparados para consumo inmediato o procesado, forma parte de los intereses de cualquier comunidad. Este objetivo se satisface en relación directa con el desarrollo social, económico y cultural de un país. Diversas circunstancias han hecho necesario el control microbiológico de los alimentos: el aumento del comercio internacional de estos productos, el posible riesgo derivado del empleo de nuevas técnicas en su producción en masa, su rápida y amplia distribución y el consumo en ciertas áreas o países de alimentos procedentes de zonas en las que prevalecen las enfermedades entéricas. La presencia de microorganismos en los alimentos no significa necesariamente un peligro para el consumidor o una calidad inferior de estos productos. Si se exceptúa el número reducido de productos esterilizados, cada bocado de alimentos contiene levaduras inocuas, mohos, bacterias y otros microorganismos. La mayor parte de los alimentos se convierten potencialmente patógenos para el consumidor después que han sido violados los principios de higiene, limpieza y desinfección durante el proceso de elaboración, transporte y conservación. Si los alimentos han estado sometidos a condiciones que pudieran haber permitido la llegada a los mismos y/o la multiplicación de agentes infecciosos o toxigénicos, pueden constituir un vehículo de transmisión de enfermedades, tales como salmonelosis o la intoxicación estafilocócica. Una deficiente calidad sanitaria de los alimentos se traduce en daños de variada naturaleza para las poblaciones implicadas. Los daños incluyen presentación de enfermedades, gastos de atención médica, menoscabo de la calidad de vida, pérdidas económicas por deterioro de los alimentos, daño al turismo y causa de muerte. Según la Organización Mundial de la Salud las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) constituyen el problema de salud pública más extendido en el mundo actual.

**CAPÍTULO II**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

El desarrollo del presente estudio se realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) y en el laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

## **2.1 Descripción y Análisis de Materia Prima**

La materia prima que se utilizó para el presente proyecto de investigación es el poroto de la variedad Blanco Thebo, este es producido en la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija. Este poroto tiene un gran rendimiento, se encuentra con mayor facilidad en estado fresco en el mercado en grandes cantidades y es de más bajo costo.

La selección del poroto de la variedad blanco thebo a fin de elaborar harina, se realizó tomando en cuenta el grado de madurez, el tamaño promedio y limpieza del grano.

El grado de madurez es muy importante porque es lo que va permitir obtener un producto de buena calidad. Un poroto muy maduro provoca el deterioro rápido del producto, mientras que un poroto con falta de madurez provoca bajo rendimiento, color y sabor por debajo de lo esperado.

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito se escogió un poroto fresco que no presente manchas negras que lo caracterizan como muy maduro, ni presente colores blancos con rasgos verduscos caracterizándolo como falto de madurez, el poroto de madurez ideal fue de color blanco puro.

### **2.1.2 Análisis Físicoquímico del Poroto Blanco Thebo**

Para determinar los parámetros físicoquímicos del poroto blanco thebo destinado para la elaboración de harina de Poroto se realizó un muestreo del mismo para posteriormente llevarlo a analizar en el CEANID – Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

## **2.2 Descripción del Método de Investigación**

### **2.2.1 Método Seleccionado para el Chancado o Premolienda del Poroto Blanco**

Este es un proceso previo al secado del poroto, se lo realizó con la finalidad de facilitar la molienda del poroto posterior al secado ya que los granos enteros de poroto secos presentan mayor dificultad de molienda debido a su dureza que adquieren por la pérdida de agua. De esta manera se vio por conveniente reducir su tamaño mediante un chancado o premolienda en una moledora de discos.

### **2.2.2 Método Seleccionado para el Secado del Poroto Variedad Blanco Thebo**

El secado se realizará en un secador de bandejas ya que es el equipo más común para secar productos alimenticios.

El proceso de secado se lo realizó en un secador de bandejas, mismo que se dispone en el Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU y el CEANID.

### **2.2.3 Método seleccionado para la Molienda de Poroto Deshidratado**

El tipo de molienda que se seleccionó para el poroto deshidratado es el molino de martillos ya que es un molino de impacto lo cual están indicados para los procesos de molienda de productos de dureza media, que no sean muy abrasivos y permitirá obtener un tamaño de partícula fina. De igual manera se tiene fácil accesibilidad a este equipo ya que se cuenta con el mismo en el laboratorio de Química y el CEANID.

### **2.2.4 Método seleccionado para el Tamizado de Harina de Poroto**

Para el tamizado del producto se utilizó un tamiz marca Tyler, este tamiz presenta una serie de tamices para diferentes diámetros de granulometría que van desde los 0.063 mm hasta 2 mm. El cual se encontró disponible en el LOU (Laboratorio de Operaciones Unitarias) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

En la **tabla II-1** se muestra los distintos diámetros de abertura de malla de tamices para la determinación de granulometría o tamaño de partícula de la Harina de Poroto.

**Tabla II-1**  
**Diámetro de abertura de malla de tamiz**

<b>Malla</b>	<b>Abertura de Tamiz (mm)</b>	<b>Número de Malla de Tyler (malla/pulg)</b>
1	2	9
2	1.5	11
3	1	16
4	0.5	32
5	0.25	60
6	0.063	250

Fuente: Elaboración propia, 2019.

### **2.3 Equipos y Materiales**

La selección de equipos y materiales se detalla a continuación:

#### **2.3.1 Molino de Discos**

Se empleó el molino de discos para el triturado del poroto el mismo que se observa en la **figura 2.1**.

Modelo: tradicional

Diámetro de la tolva: 13,5 cm aprox.

Alto total: 41cm aprox.

Origen: Brasil

**Figura 2.1**  
**MOLINO DE DISCOS**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### **2.3.2 Secador de Bandejas**

Se utilizó el secador de bandejas que se encuentra en el laboratorio del CEANID para el secado de poroto y se observa en la **figura 2.2**.

Marca: Binder

Modelo: FD 53

Temperatura: 0-300°C

Tensión: 220-230 V

Potencia total: 1,20 K

Altura, ancho, profundidad: 0,62 m; 0,635m; 0,575m

**Figura 2.2**  
**SECADOR DE BANDEJAS**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### **2.3.3 Molino de Martillo**

En la figura 2.3 se muestra el molino de martillos que se utilizó para la molienda del poroto que se encuentra en el laboratorio del CEANID.

Marca: Perten

Potencia: 750 W

Tensión: 220 -240 V

Intensidad de Corriente: 6 A

Velocidad: 2700 RPM

Frecuencia: 50 Hz

**Figura 2.3**  
**MOLIENDA DEL POROTO EN MOLINO DE MARTILLO**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

#### **2.3.4 Tamiz**

En la **figura 2.4** se muestra el tamiz que se utilizó para tener un producto homogéneo, este equipo se encontró en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química dependiente de la UAJMS.

Marca: ORTO - ALRESA

Modelo: VIBRO

Rango de tiempo: 5 – 60 min

Velocidad: 1 – 10 pulsaciones

Capacidad: 6 platos

Diámetro de malla: 0,063 – 1 mm

**Figura 2.4****TAMIZ**

Fuente: Elaboración propia, 2019.

## 2.4 Diseño Factorial

Para determinar el tiempo y temperatura de secado óptimo se utiliza un diseño experimental completamente al azar con un modelo factorial  $3^2$  en el cual se tienen 2 factores que son Tiempo y Temperatura y cada uno de ellos tiene tres variables.

En la siguiente **Tabla II-2** se muestra las variables del diseño experimental para la presente investigación.

**Tabla II-2****Variabes del Diseño Experimental**

	<b>FACTORES</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>A</b>	TEMPERATURA	45 °C
		50 °C
		55 °C
<b>B</b>	TIEMPO	1 h
		1.5 h
		2 h

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como variable respuesta se tiene la humedad % H.

En la **Tabla II-3**, se muestran las combinaciones de las variables del diseño experimental para la elaboración de este proyecto de investigación.

**Tabla II-3**  
**Diseño Factorial**

<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo</b>	<b>% Humedad</b>
-1	-1	%
-1	0	%
-1	1	%
0	-1	%
0	0	%
0	1	%
1	-1	%
1	0	%
1	1	%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

**Nota.** - Se modificó el tiempo de secado alargando el mismo a 1,5 hora, 2 horas y 2,5 horas, esto debido a que en la parte práctica del presente proyecto se determinó que se necesitaba más tiempo de secado y de acuerdo a la gráfica de secado se necesita más tiempo para estabilizar la curva de secado.

## **2.5 Procedimientos y Técnicas empleados para la Obtención de Resultados**

Toda la parte experimental del presente proyecto de investigación “Elaboración a nivel experimental Harina de Poroto para la elaboración de productos alimenticios en el departamento de Tarija” se realizó en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo – CEANID, y en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química ambos pertenecientes a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima y del producto final se realizó en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo – CEANID dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

## **2.5.1 Procedimiento para la Elaboración de Harina de Poroto**

### **2.5.1.1 Selección de Porotos Óptimos para Procesar**

Se seleccionó cuidadosamente de manera manual los granos de poroto tomando en cuenta el grado de madurez, tamaño y que no estén dañados. Una vez cosechados deben ser inmediatamente transportados en canastas para ser procesados. Es importante recalcar el grado de madurez ya que esto permitirá obtener una harina de gran calidad, rendimiento y con el color característico de la misma.

En la **figura 2.5** Se muestra granos de poroto de la variedad blanco thebo con el grado de madurez seleccionado para ser procesado en harina de poroto.

**Figura 2.5**

#### **POROTO BLANCO THEBO CON LA MADUREZ SELECCIONADA**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### **2.5.1.2 Pesado de Poroto Blanco Thebo**

El poroto seleccionado se llevó a pesar en una balanza electrónica con el fin de determinar la cantidad en peso que será procesada.

### 2.5.1.3 Trituración

Antes de secar los porotos estos fueron llevados a trituración, esto con el fin de facilitar la molienda ya que los porotos enteros y secos son más duros de moler. Para la trituración se requirió de una moledora de discos donde los porotos fueron triturados en trozos pequeños favoreciendo también posteriormente para el secado.

En la **figura 2.6** Se muestra la trituración de los granos de poroto de la variedad blanco thebo en un molino de discos.

**Figura 2.6**  
**TRITURACIÓN DE POROTO**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### 2.5.1.4 Análisis de Humedad del Poroto

Se determinó la humedad del poroto triturado para cada ensayo, donde la humedad promedio es de: %H = 56,4 %.

Se determina la humedad con el fin de tener datos para realizar los posteriores cálculos necesarios en el presente trabajo de investigación.

### 2.5.1.5 Secado

Una vez triturado el poroto, se colocó en bandejas de secado fabricadas de alambre y malla milimétrica adecuadas para el mismo. Se consideró esparcir el poroto de manera uniforme en toda el área de la bandeja en una sola capa y a un mismo nivel para que haya una mejor superficie de contacto entre el paso del flujo de aire caliente y el poroto y el secado también sea más homogéneo.

El poroto fue colocado en dos bandejas de igual tamaño siendo este el número de bandejas para el cual tiene capacidad el secador.

Se secó el poroto para las temperaturas y tiempos ya planteados, pesando las bandejas con muestra cada 15 minutos y registrando el dato para posteriormente realizar el cálculo necesario. Se sacó las bandejas del secador y se dejó enfriar por un tiempo aproximado de 5 minutos. El poroto seco se recogió tratando de tener el mínimo contacto posible con el mismo y fue puesto en bolsas de cierre hermético y almacenado en un lugar fresco hasta tener la cantidad necesaria para luego ser molido.

En la **figura 2.7** observamos el secado de poroto en un secador de bandejas.

**Figura 2.7**

#### **SECADO EN SECADOR DE BANDEJAS**



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

El contenido de humedad final de la harina de poroto se hará una comparación con la harina de yuca de acuerdo a la Norma del Codex para la Harina de Yuca Comestible (Codex Stan 176 -1989, Rev. 1-1995) que se encuentra en el Anexo 9 para determinar si está dentro de los parámetros de harinas de calidad.

#### **2.5.1.6 Molienda**

Una vez se obtuvo la cantidad necesaria de poroto seco se envasó en bolsas herméticas para que no sea afectado por la humedad del aire y se procedió a su molienda. Para esta operación se requirió de un molino de martillo disponible en el laboratorio del CEANID de marca Perten donde se pusieron 1000 gr de poroto deshidratado y en un tiempo de 1,15 minutos se obtuvo un producto totalmente pulverizado.

En la **figura 2.8**, se muestra el molino de martillos empleado para la molienda del poroto secado.

**Figura 2.8**  
**MOLIENDA DEL POROTO EN MOLINO DE MARTILLO**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### 2.5.1.7 Tamizado

El tamizado se llevó a cabo en ambientes del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) y se realizó en un tamiz vibratorio. El tamizado se realizó para obtener una harina fina y pareja de igual tamaño de granulometría.

En la **figura 2.9**, se muestra el tamiz vibratorio utilizado en la elaboración de harina de poroto.

**Figura 2.9**  
**TAMIZ VIBRATORIO MARCA PERTEN**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### 2.5.1.8 Envasado

Una vez obtenida una harina de poroto fina de granulometría adecuada, esta se almacenó en bolsas de polipropileno con cierre hermético para que el producto se conserve mejor evitando el contacto con la humedad del medio ambiente.

En la **Figura 2.10** se muestra “Harina de Poroto” lista para el consumo almacenada en bolsas de polipropileno con cierre hermético.

**Figura 2.10****HARINA DE POROTO ENVASADA EN BOLSA CON CIERRE HERMÉTICO**

Fuente: Elaboración propia, 2019.

**2.6 Análisis del Producto Obtenido**

El producto obtenido es harina de poroto, su análisis es muy importante para determinar la calidad, propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

**2.6.1 Análisis Fisicoquímico**

El análisis fisicoquímico de la “Harina de Poroto” como producto final representa gran importancia ya que determina las propiedades nutritivas de la misma y respalda de igual manera su calidad. El análisis fisicoquímico se realizó en el CEANID (Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo), donde se envió una muestra de 500gr.

### 2.6.2 Análisis Microbiológico

Con el análisis microbiológico se determina el grado de contaminación de la harina de poroto por lo que se realizó dicho análisis en el CEANID (Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo), donde se envió una muestra de 300gr.

### 2.7 Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial para el presente proyecto se realiza en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias donde se evaluó el grado de aceptabilidad de la harina de poroto y sus aplicaciones. La evaluación sensorial se realiza seleccionando jueces al azar los cuales evaluarán la harina de poroto y aplicaciones de la misma, esta evaluación consiste en valorar su sabor, olor, color, textura, mediante una encuesta la misma que se encuentran en el Anexo 7.

En la **figura 2.11** se muestra los prototipos en evaluación para determinar su grado de aceptabilidad.

**Figura 2.11**  
**HARINA DE POROTO Y SUS APLICACIONES**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la **figura 2.11** se observa tres muestras, la muestra 1 que corresponde a harina de poroto, la muestra 2 corresponde a un queque elaborado con harina de poroto, la muestra 3 que corresponde a galletas elaborados con harina de poroto.

En la **figura 2.12** se muestra jueces escogidos al azar realizando la evaluación sensorial para determinar el grado de aceptabilidad de las muestras anteriormente nombradas.

**Figura 2.12**  
**JUECES EN EVALUACIÓN DE LA HARINA DE POROTO Y SUS**  
**APLICACIONES**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se detallan los resultados de las pruebas experimentales y análisis fisicoquímicos obtenidos de la elaboración de Harina de Poroto. Para la obtención de harina de poroto se realizaron análisis de materia prima y producto final, pruebas de secado, molienda, tamizado, rendimiento del proceso. Los resultados de estas pruebas están reflejados en el presente capítulo mediante tablas y gráficas para un mejor análisis.

### 3.1 Resultado de la Taxonomía del Poroto de la Variedad Blanco Thebo

A continuación, se muestra la taxonomía del poroto blanco thebo que realizó una Ingeniera Agrónoma en el departamento de Tarija, dicha taxonomía se refleja en el siguiente **cuadro III-1**:

**Cuadro III-1**  
**Taxonomía del Poroto**

Reino	Vegetal
División	Magnoliophytae
Clase	Angiospermae
Orden	Fabales
Familia	Fabacea
Género	Phaseolus
Especie	Vulgaris
Nombre científico	Phaseolus Vulgaris L.
Nombre común	Poroto

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los datos del **cuadro III-1** se obtienen del estudio realizado por un profesional en el área de agronomía, dicho estudio revela que la taxonomía corresponde al poroto blanco thebo, los resultados se pueden observar en el Anexo 1.

### 3.2 Resultado de los Análisis de la Materia Prima

En la siguiente **tabla III-1** se muestra el resultado del análisis fisicoquímico del poroto de la variedad blanco thebo realizado en el CEANID. Los resultados de este análisis se pueden observar de manera más detallada en el Anexo 2.

**Tabla III-1**  
**Análisis fisicoquímico del poroto blanco thebo**

Componente	Unidad	Composición
Cenizas	%	4,71
Fibra	%	28,09
Materia grasa	%	0,09
Hidratos de carbono	%	0,17
Humedad	%	56,06
Proteína total	%	10,88
Valor energético	Kcal/100 g	45,01

Fuente: CEANID, 2019.

### 3.3 Resultados de la Variable Respuesta propuesto en el Diseño Factorial

En la **Tabla III-2**, se muestran los resultados de porcentaje de humedad dando respuesta al diseño factorial propuesto.

**Tabla III-2**  
**Resultado de la Variable Respuesta del Diseño Factorial**

T °C		t (h)		H (%)
45	-1	1,5	-1	31,6825
45	-1	2	0	23,3383
45	-1	2,5	1	16,4072
50	0	1,5	-1	21,0587
50	0	2	0	12,3369
50	0	2,5	1	7,6965
55	1	1,5	-1	13,1489
55	1	2	0	8,5674
55	1	2,5	1	2,3003

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el secado de poroto a una temperatura de 45°C se observó un elevado porcentaje de humedad en los tres tiempos propuestos de secado siendo estos mayor a 16%.

Para el secado de poroto a una temperatura de 50°C se observó que el primer tiempo propuesto de secado, el poroto todavía presenta un elevado porcentaje de humedad mientras que los siguientes dos tiempos de secado están dentro del porcentaje de humedad aceptable.

Para una temperatura de 55°C se observó que el porcentaje de humedad para los tres tiempos de secado propuestos está dentro de un rango aceptable y apropiado que se requiere para el siguiente proceso.

Haciendo un análisis del tratamiento a una temperatura de 55°C este presentó un color y olor más agradable que el tratamiento a temperatura de 50°C, además de presentar un secado más parejo y de mejor aspecto que se requiere para realizar el siguiente proceso.

### **3.4 Porcentaje de Pérdidas durante el proceso experimental de “Elaboración de Harina de Poroto”**

#### **3.4.1 Porcentaje de Pérdidas por Selección**

Hacemos referencia a porcentaje de pérdidas a aquella masa de poroto que se pierde en el proceso previo al chancado del mismo, ya que los granos frescos de poroto fueron seleccionados tomando en cuenta su grado de madurez, limpieza y ahí existe una pérdida de materia prima que se considera para cuestiones de cálculo.

En la **tabla III-3**, se muestra el porcentaje de perdidas por selección del poroto de la variedad blanco thebo.

**Tabla III-3**  
**Porcentaje de Pérdidas por Selección**

<b>Variedad de poroto</b>	<b>Masa de poroto (g)</b>	<b>Pérdidas por selección (g)</b>	<b>Pérdidas por selección (%)</b>
Blanco Thebo	204,0415g	2,0291g	0,9945 %

Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.4.2 Porcentaje de pérdida de masa de Poroto por Triturado

Hacemos referencia a porcentaje de pérdidas a aquella masa de poroto que se pierde en el proceso previo al secado del mismo, ya que los granos frescos de poroto fueron llevados a un chancado y ahí existe una pérdida de materia prima que se considera para cuestiones de cálculo.

Durante el proceso de elaboración de harina de poroto el pesaje se realizó en una balanza analítica (0,001 g de precisión).

En la **tabla III-4**, se muestra el porcentaje de pérdidas por premolienda del poroto de la variedad blanco thebo.

**Tabla III-4**  
**Porcentaje de Pérdidas por Triturado**

<b>Variedad de poroto</b>	<b>Masa de poroto (g)</b>	<b>Pérdidas por triturado (g)</b>	<b>Pérdidas por triturado (%)</b>
Blanco Thebo	202,0124	4,8901	2,42

Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.4.3 Porcentaje de Pérdidas de Agua del Poroto en el Secado

Durante el proceso de secado del poroto, después de cierto tiempo de secado este pierde humedad lo que se convierte en un porcentaje de pérdidas que también se considera para cuestiones de calcular el rendimiento del proceso.

En la **tabla III-5** se muestra el porcentaje de pérdidas de agua del poroto en el proceso de secado.

**Tabla III-5**  
**Porcentaje de pérdidas de agua del poroto**

<b>Variedad de poroto</b>	<b>Masa de poroto (g)</b>	<b>Pérdidas de agua (g)</b>	<b>Pérdidas de agua (%)</b>
Blanco Thebo	197,1223	103,792g	52,65

Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.4.4 Porcentaje de Pérdida de Poroto por Recolección después del Secado

Una vez realizado el proceso de secado del poroto de la variedad blanco thebo, este se recolectó de forma manual colocándolo en bolsas con cierre hermético, es en esta recolección donde produce pérdidas que se consideran para posteriores cálculos de rendimiento.

En la **tabla III-6**, se muestra el porcentaje de pérdidas por recolección manual del poroto de la variedad blanco thebo.

**Tabla III-6**  
**Porcentaje de Pérdidas por Recolección**

<b>Variedad de poroto</b>	<b>Masa de poroto (g)</b>	<b>Pérdidas por recolección (g)</b>	<b>Pérdidas por recolección (%)</b>
Blanco Thebo	93,3303	1.9245	2,06

Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.4.5 Porcentaje de Pérdida de masa de Poroto en Molienda

El poroto seco se sometió a molienda en un molino de martillos donde es pulverizado, en este proceso se produjeron pérdidas por molienda.

En la **tabla III-7**, se muestra el porcentaje de perdidas por molienda del poroto de la variedad blanco thebo.

**Tabla III-7**  
**Porcentaje de Pérdidas por Molienda**

<b>Variedad de poroto</b>	<b>Masa de poroto (g)</b>	<b>Pérdidas por molienda(g)</b>	<b>Pérdidas por molienda (%)</b>
Blanco Thebo	91,4058	0,2742	0,29

Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.4.6 Porcentaje de Pérdidas de Harina Poroto por Tamizado

El poroto pulverizado o harina de poroto se sometió a un tamizado en un tamiz vibratorio durante un cierto tiempo, dentro de este proceso se produjeron pérdidas por tamizado.

En la **tabla III-8**, se muestra el porcentaje de pérdidas por tamizado de la harina de poroto de la variedad blanco thebo.

**Tabla III-8**  
**Porcentaje de Pérdidas por Tamizado**

<b>Variedad de poroto</b>	<b>Masa de poroto (g)</b>	<b>Pérdidas por tamizado (g)</b>	<b>Pérdidas por tamizado (%)</b>
Blanco Thebo	91,1316	0,4283	0,47

Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.5 Resultados de la parte Experimental de “Elaboración de Harina de Poroto”

#### 3.5.1 Variación de la Masa en Peso de Poroto respecto del Tiempo

En la **Tabla III-9**, se observa la variación de la masa del poroto con respecto al tiempo de secado.

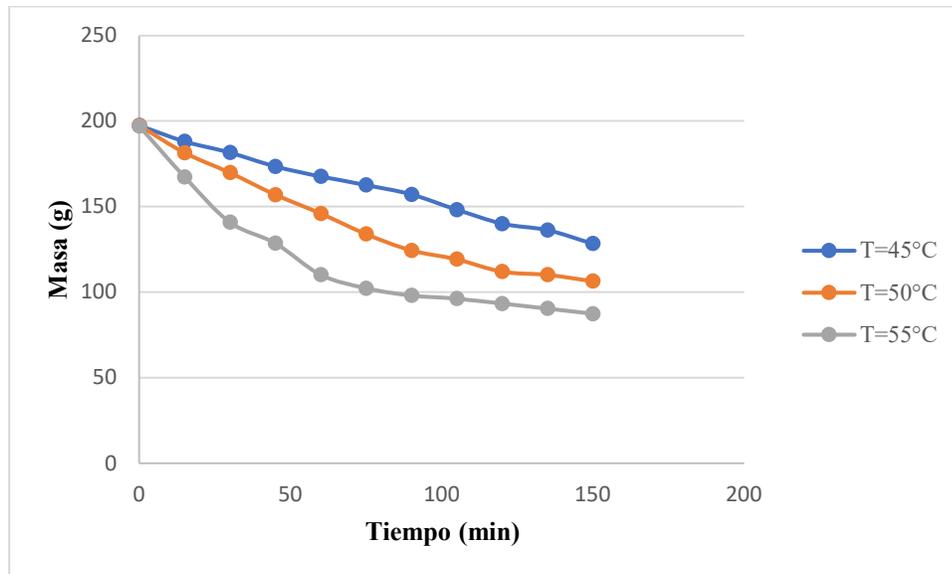
**Tabla III-9**  
**Variación de la Masa de Poroto vs Tiempo**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Masa (g) para una T=45°C</b>	<b>Masa (g) para una T=50°C</b>	<b>Masa (g) para una T=55°C</b>
0	197,3486	197,4565	197,1223
15	188,1234	181,4562	167,3121
30	181,6228	169,8231	140,8552
45	173,4561	156,9567	128,5432
60	167,6455	145,9772	110,1544
75	162,6122	133,9854	102,2553
90	157,1342	124,4101	98,1022
105	148,2130	119,2532	96,2242
120	140,0310	112,0323	93,3303
135	136,2440	110,1421	90,4033
150	128,4203	106,4001	87,3435

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

En la **Figura 3.1** se muestra la gráfica masa vs tiempo para una mejor apreciación.

**Figura 3.1**  
**VARIACION DE MASA VS TIEMPO**



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

En la gráfica de la **figura 3.1**, se observa la pérdida de masa en agua del poroto, debido a la evaporación a tres temperaturas diferentes. Tal como se esperaba, se observa una mayor velocidad de evaporación por la aplicación de una mayor temperatura, tal es el caso de la curva a 55 °C, lo que significa que eliminamos mayor cantidad de humedad en menor tiempo y eso luego de los análisis y valoraciones correspondientes podría significar un ahorro de los costos en el proceso de secado.

### 3.5.2 Variación de la Humedad del Poroto en función del Tiempo

La variación de la humedad de la materia prima con el tiempo se calcula aplicando la siguiente ecuación, la cual es extraída del libro “Problemas de Ingeniería Química” de Joaquino Ocon y Gabriel Tojo tomo II:

$$\%H = \frac{m_i - m_{ss}}{m_i} * 100 \quad (\text{Ec.: 3.1})$$

Donde:

% H = Porcentaje de humedad del sólido seco.

$m_i$  = masa inicial del sólido.

$m_{ss}$  = masa del sólido seco.

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utiliza los datos de pérdida de peso del poroto que se observa en el Anexo 4 tabla IV – 1A. Como ejemplo se tomaron los tiempos  $t_1$ ,  $t_2$  y  $t_3$  para  $T = 45^\circ\text{C}$ .

Para la prueba 2:  $T = 45^\circ\text{C}$   $t = 1$

$$\%H = \frac{188,1234\text{gr} - 107,3501\text{gr}}{188,1234\text{gr}} * 100\% = 42,9363\%$$

Para la prueba 3:  $T = 45^\circ\text{C}$   $t = 2$

$$\%H = \frac{181,6228\text{gr} - 107,3501\text{gr}}{181,6228\text{gr}} * 100\% = 40,8939\%$$

Para la prueba 1:  $T = 45^\circ\text{C}$   $t = 3$

$$\%H = \frac{173,4561\text{gr} - 107,3501\text{gr}}{173,4561\text{gr}} * 100\% = 38,1111\%$$

De esta manera se realiza el mismo procedimiento para todos los intervalos de tiempo y para las temperaturas de  $50^\circ\text{C}$  y  $55^\circ\text{C}$ .

En la **tabla III-10**, se muestra la variación de la humedad del poroto con relación a los intervalos de tiempo.

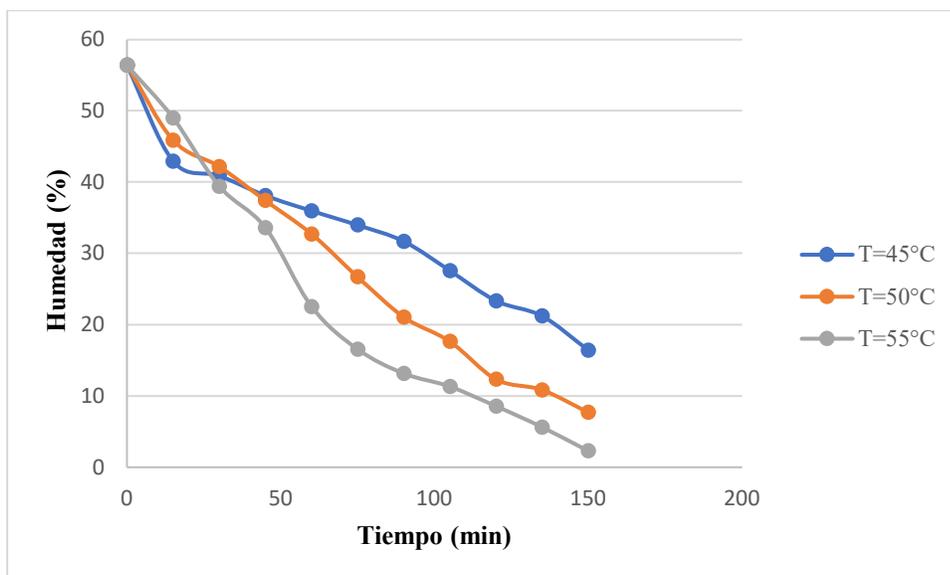
**Tabla III-10**  
**Variación de la Humedad del poroto con el Tiempo**

	<b>T = 45 °C</b>	<b>T = 50 °C</b>	<b>T = 55 °C</b>
<b>Tiempo (min)</b>	<b>%H</b>	<b>%H</b>	<b>%H</b>
<b>0</b>	56,4000	56,4000	56,4000
<b>15</b>	42,9363	45,8762	48,9969
<b>30</b>	40,8939	42,1686	39,4170
<b>45</b>	38,1111	37,4279	33,6143
<b>60</b>	35,9660	32,7217	22,5321
<b>75</b>	33,9839	26,7002	16,5478
<b>90</b>	31,6825	21,0587	13,1489
<b>105</b>	27,5704	17,6449	11,3172
<b>120</b>	23,3383	12,3369	8,5674
<b>135</b>	21,2075	10,8325	5,6071
<b>150</b>	16,4072	7,6965	2,3003

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la **figura 3.2** se muestra para un mejor análisis la curva de variación del porcentaje de humedad con respecto al tiempo para una temperatura de secado de 45 °C, 50 °C Y 55°C.

**Figura 3.2**  
**VARIACIÓN DE % HUMEDAD VS. TIEMPO**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los datos reflejados en la **figura 3.2**, nos muestra que en un tiempo de 150 minutos y 45 °C no se puede alcanzar la humedad requerida por el CODEX Alimentario que indica que la misma debe ser menor al 13%.

Para un tiempo de 150 minutos y 50 °C se observa una curva de secado donde los porcentajes de humedad final para harinas están de acuerdo a la norma CODEX Alimentarius, alcanzando un 7,6965 % de humedad.

Mientras que para un tiempo de 150 minutos y 55 °C se observa un descenso más rápido de la humedad obteniéndose valores de humedad finales muchos más bajos y que están de acuerdo a la norma CODEX Alimentarius, obteniéndose una humedad final de 2,3003%.

### 3.5.3 Contenido de Humedad en Base Seca

El contenido de humedad en base seca se calculó aplicando la siguiente ecuación, la cual también fue extraída del libro “Problemas de Ingeniería Química” de Joaquino Ocon y Gabriel Tojo tomo II:

$$X_{bs} = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (\text{Ec.: 3.2})$$

Donde:

X = Porcentaje de humedad del sólido seco (Kg de agua / Kg de sólido seco).

$m_i$  = masa inicial del sólido.

$m_{ss}$  = masa del sólido seco.

Para el cálculo del contenido de humedad en base seca se utiliza los datos de pérdida de peso de poroto que se observa en el Anexo 4 tabla IV – 1A. Como ejemplo se tomaron los tres primeros tiempos para  $T=45^\circ\text{C}$ :

Para la prueba 1:  $T = 45^\circ\text{C}$   $t = 0$

$$X = \frac{197,3486\text{gr} - 107,3501\text{gr}}{107,3501\text{gr}} = 0,8384$$

Para la prueba 2:  $T = 45^\circ\text{C}$   $t = 1$

$$X = \frac{188,1234\text{gr} - 107,3501\text{gr}}{107,3501\text{gr}} = 0,7524$$

Para la prueba 3:  $T = 45^\circ\text{C}$   $t = 2$

$$X = \frac{181,6228\text{gr} - 107,3501\text{gr}}{107,3501\text{gr}} = 0,6919$$

De esta manera se realiza el mismo procedimiento para todos los intervalos de tiempo y para las temperaturas de  $50^\circ\text{C}$  y  $55^\circ\text{C}$ .

En la **tabla III-11**, se muestra los resultados del contenido de humedad en base seca a distintas temperaturas y ciertos intervalos de tiempo propuestos en la parte experimental el cual se calculó mediante la ecuación 2.2.

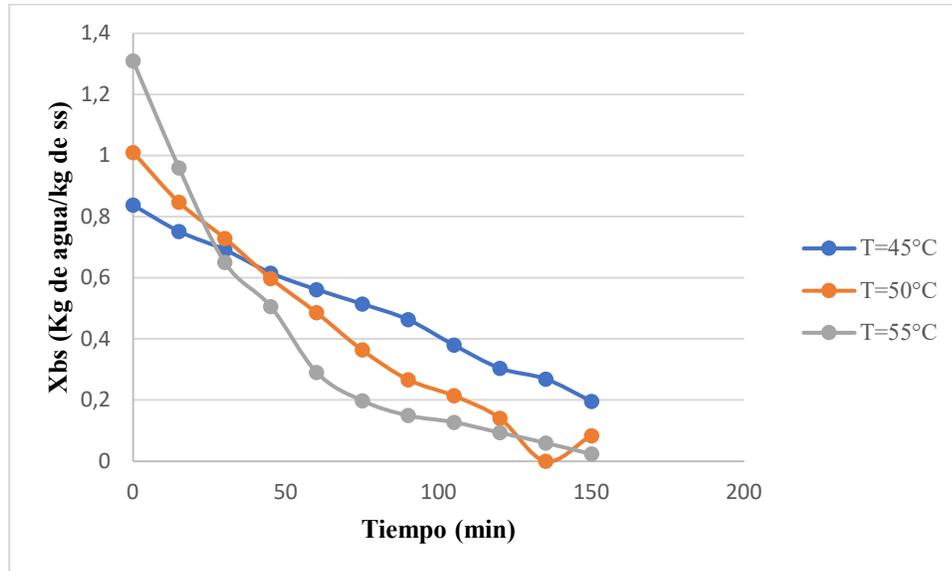
**Tabla III-11**  
**Variación del Contenido de Humedad en Base Seca respecto al Tiempo**

	<b>T = 45 °C</b>	<b>T = 50 °C</b>	<b>T = 55 °C</b>
<b>Tiempo (min)</b>	<b>X<sub>BS</sub></b> <b>(Kg de agua/kg</b> <b>de ss.)</b>	<b>X<sub>BS</sub></b> <b>(Kg de agua/kg</b> <b>de ss.)</b>	<b>X<sub>BS</sub></b> <b>(Kg de agua/kg</b> <b>de ss.)</b>
<b>0</b>	0,8384	1,0105	1,3100
<b>15</b>	0,7524	0,8476	0,9607
<b>30</b>	0,6919	0,7292	0,6506
<b>45</b>	0,6158	0,5982	0,5063
<b>60</b>	0,5617	0,4864	0,2909
<b>75</b>	0,5148	0,3643	0,1983
<b>90</b>	0,4637	0,2668	0,1496
<b>105</b>	0,3806	0,2143	0,1276
<b>120</b>	0,3044	0,1407	0,0937
<b>135</b>	0,2692	0,1215	0,0594
<b>150</b>	0,1963	0,0834	0,0235

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la **figura 3.3** se muestra para un mejor análisis la curva de variación del contenido de humedad con respecto al tiempo para temperaturas de secado de 45 °C, 50 °C Y 55°C.

**Figura 3.3**  
**VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA VS.**  
**TIEMPO**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la **figura 3.3**, se observa que a mayor temperatura menor porcentaje de humedad en base seca adquiere las muestras de poroto, tal es el caso en los ensayos a las temperaturas de 50 °C y 55 °C, lo cual son las más favorables para la construcción de la cinética de secado.

De igual manera se observa que a mayor temperatura menor será el tiempo que se necesita para el secado, lo cual beneficia en el ahorro de energía y costos de producción.

### **3.6 Cálculo de la Cinética de Secado para el Proceso de Elaboración de Harina de Poroto**

Mediante la cinética de secado determinamos la temperatura óptima para un secado más rápido analizando el comportamiento de la velocidad de secado, para lo cual se evaluó tres temperaturas de 45 °C, 50 °C y 55 °C, este análisis se puede observar en el Anexo 5.

En el análisis se determina que la temperatura óptima de secado es de 55 °C y el tiempo de 2 horas, tomando en cuenta que esta temperatura a diferencia de las demás se realiza un secado más rápido generando un ahorro de energía y obteniendo características organolépticas de buena calidad, por otro lado, haciendo una comparación con la Norma del Codex para la Harina de Yuca Comestible (Codex Stan 176 -1989, Rev. 1-1995) (norma de referencia) que se puede observar en el anexo 8, la humedad final que es del 8,56 % está dentro de los parámetros exigidos por dicha norma.

Por lo tanto, los cálculos de la cinética de secado se mostrarán en función a la temperatura de 55 °C.

La cinética de secado de un sólido relaciona la variación del contenido de agua del sólido y de la intensidad de evaporación con el tiempo.

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:

$$w = \frac{S}{A} \left( - \frac{dX}{d\theta} \right) \quad (\text{Ec.: 3.3})$$

Donde:

w = velocidad de secado

S = peso de sólido seco

A = área de la superficie expuesta

X = Humedad en base seca

El contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca y base húmeda. En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca, debido a que ésta permanece constante a lo largo del proceso de secado (Ocon J. y Tojo G., 1980).

Por lo tanto, para los siguientes cálculos en el presente proyecto, se utilizará los datos de humedad en base seca para el cálculo de la cinética de secado.

### 3.6.1 Método de los Tres Puntos

El método analítico de los tres puntos se emplea para determinar la velocidad de secado, el cual basa su análisis en la agrupación de tres puntos equidistantes.

Para realizar el cálculo de la cinética de secado por el método ya mencionado, se hizo el uso de tres ecuaciones fundamentales:

$$Y'_0 = \frac{-3Y_0 + 4Y_1 - Y_2}{2h} \quad (\text{Ec.: 3.4})$$

$$Y'_1 = \frac{-Y_0 + Y_2}{2h} \quad (\text{Ec.: 3.5})$$

$$Y'_2 = \frac{Y_0 - 4Y_1 + 3Y_2}{2h} \quad (\text{Ec.: 3.6})$$

Donde:

$Y_0^l$ ,  $Y_1^l$  y  $Y_2^l$ , son datos que se obtuvieron en el ensayo los cuales son representados por los distintos puntos de X para su respectivo cálculo.

Se plantea un modelo potencial para la representación de la humedad en función del tiempo, en el cual se relaciona la humedad de secado con la humedad del sólido en la siguiente ecuación:

$$y = ax^n \quad (\text{Ec.: 3.7})$$

Para determinar la velocidad de secado en base de los datos obtenidos en la práctica de humedad vs tiempo se toma como base que la pendiente del cambio de humedad es:

$$y = -\frac{dx}{dt} \quad (\text{Ec.: 3.8})$$

Ya con los datos obtenidos en la práctica de laboratorio, se utiliza el método de los tres puntos para determinar la cinética de secado del poroto variedad blanco thebo con la siguiente ecuación:

$$y = -\frac{dx}{dt} = kX^n \quad (\text{Ec.: 3.9})$$

Donde:

Y = velocidad de secado

X = humedad en base seca

k = constante para la cinética

n = orden de la cinética

En el cálculo de la cinética de secado, las pendientes deben correlacionarse con la variación de la humedad, linealizando la ecuación potencial planteada de la siguiente manera:

$$\ln\left(-\frac{dx}{dt}\right) = \ln k + n \ln x \quad (\text{Ec.: 3.10})$$

Donde:

n = B

A = ln k

k = e<sup>A</sup>

Como se menciona anteriormente los cálculos se realizarán en función al ensayo de temperatura 55 °C, por lo tanto, se reemplaza los datos del ensayo en las tres ecuaciones fundamentales del método de los tres puntos.

En la **Tabla III-12**, se muestra la aplicación de las ecuaciones fundamentales de los tres puntos utilizando los datos de contenido de humedad en base seca a temperatura de 55 °C.

**Tabla III-12**  
**Aplicación de las Ecuaciones Fundamentales de los Tres Puntos**

t (hora)	$X_{hbs}$	$x_1^l$	$x_2^l$	$x_3^l$	$x_4^l$	$x_5^l$	$x_6^l$	$x_7^l$	$x_8^l$	$x_9^l$
0	1,3100	-1,48								
0,25	0,9607	-1,32	-1,57							
0,5	0,6506	-1,16	-0,91	-0,44						
0,75	0,5063		-0,25	-0,72	-1,11					
1	0,2909			-1,003	-0,62	-0,46				
1,25	0,1983				-0,13	-0,28	-0,25			
1,5	0,1496					-0,11	-0,14	-0,064		
1,75	0,1276						-0,035	-0,11	-0,14	
2	0,0937							-0,16	-0,14	-0,13
2,25	0,0594								-0,14	-0,14
2,5	0,0235									-0,15

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la **Tabla III-13**, se muestra los resultados del cálculo de cinética de secado mediante el método de los tres puntos tomando los valores de la prueba experimental a una temperatura de 55 °C.

**Tabla III-13**  
**Resultados Obtenidos con el uso de las Ecuaciones Fundamentales de los Tres Puntos**

Tiempo (h)	$X_{bs}$	$Y^l = dx/dt$	$Y^l = -dx/dt$	$\ln X_{hbs}$	$\ln(Y^l = -dx/dt)$
0	1,3100	-1,48	1,48	0,27	0,39
0,25	0,9607	-1,32	1,32	-0,040	0,28
0,5	0,6506	-1,04	1,04	-0,43	0,039
0,75	0,5063	-0,92	0,92	-0,68	-0,083
1	0,2909	-0,81	0,81	-1,24	-0,21
1,25	0,1983	-0,265	0,265	-1,62	-1,33
1,5	0,1496	-0,14	0,14	-1,90	-1,97
1,75	0,1276	-0,14	0,14	-2,06	-1,97
2	0,0937	-0,13	0,13	-2,37	-2,04
2,25	0,0594				
2,5	0,0235				

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para la temperatura de operación de 55°C, en base a los datos de variación de la humedad en base seca respecto al tiempo, y de acuerdo a la ecuación y metodología planteada se obtiene:

$$A = 0,97$$

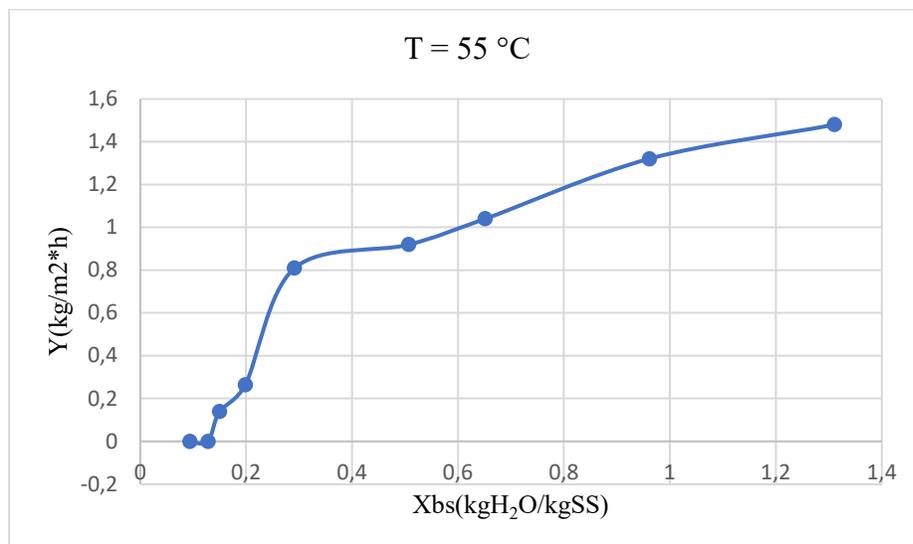
$$B = -0,46$$

Donde:  $n = B = -0,46$        $k = e^A = e^{0,97} = 2,64$  se reemplaza los datos en la Ec. (3.9):

$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = k X^n$$

$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = 2,64 X^{-0,46} \text{kg}/(\text{m}^2 \text{min}) \quad (\text{Ec.: 3.11})$$

**Figura 3.4**  
**VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para un mejor análisis en la **figura 3.4** se observa el comportamiento de la velocidad de secado que se tiene en función del contenido de humedad en base seca a una temperatura de operación de 55 °C, se va llamar periodo A al comprendido entre los puntos 1,31 y 0,96 de la humedad en base seca en el cual la velocidad decae de manera

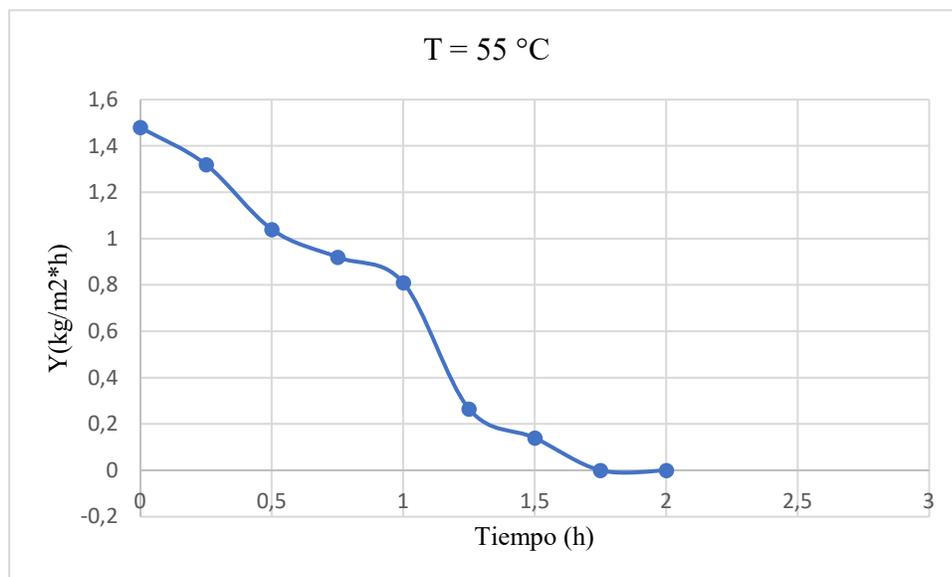
rápida desde 1,48 hasta 1,32, esto se produce ya que en este periodo la velocidad se ajusta a las condiciones que se presenta al comienzo del secado.

El siguiente periodo denominado B, donde se puede concluir que la velocidad se mantiene constante con un ligero descenso hasta llegar al punto 0,29 kg/h el cual se lo denomina punto crítico debido a que a partir de aquí la velocidad deja de ser constante para convertirse en decreciente.

El siguiente periodo denominado C, donde la velocidad es decreciente es decir decae lentamente a partir del valor de humedad 0,29 kg/h hasta que dicha humedad se anule conocido también como humedad de equilibrio.

**Figura 3.5**

**VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la **figura 3.5** se observa la misma situación que la anterior figura, solo que en esta figura está en función del tiempo, es otra forma de ver el comportamiento de la velocidad de secado ya que esta disminuye conforme pasa el tiempo. El periodo A comprendido entre los puntos 0 horas y 0,25 horas, periodo en el que la velocidad decae desde 1,48 hasta 1,32 pues en este periodo la velocidad se ajusta a las condiciones que se presenta al comienzo del secado.

Para el siguiente periodo denominamos B que indica que la pendiente y la velocidad son constantes hasta llegar al punto 1 h correspondiente al tiempo, el cual es denominado punto crítico, pues a partir de este punto la velocidad de secado comienza a disminuir.

El siguiente periodo denominado C, que empieza en el valor de tiempo 1 h es un periodo de velocidad decreciente donde la velocidad disminuye hasta anularse.

### 3.6.2 Cálculo del Tiempo de Secado

Para el cálculo del tiempo de secado se emplea la ecuación 3.11, la cual se obtiene de la cinética de secado, y reemplazando valores se tiene lo siguiente:

$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = k X^n$$

$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = 2,64 X^{-0,46} \text{kg}/(\text{m}^2 \text{min})$$

$$dt = -\frac{dx}{kX^n} \quad \Rightarrow \quad t = -\int_{x_0}^{x_f} \frac{dx}{kx^n}$$

Donde:

$x_f$  = fracción de contenido de humedad en base seca final.

$x_0$  = fracción de contenido de humedad en base seca inicial.

$t$  = tiempo óptimo de secado

$$t = -\frac{1}{k} \int_{x_0}^{x_f} \frac{dx}{x^n} \quad \Rightarrow \quad t = -\frac{1}{(2,64 * 1,46)} (0,0235^{1,46} - 1,3100^{1,46})$$

$$t = 0.88 \text{ h}$$

### 3.7 Resultados de la Molienda

Mediante la molienda del poroto seco se obtuvo una harina muy fina de color blanquecino. En la **tabla III-14**, se muestra los resultados del proceso de molienda realizada en un molino de martillo.

**Tabla III-14**  
**Resultados del Proceso de Molienda**

<b>Masa de poroto seco (g)</b>	<b>Tiempo de molienda (min)</b>	<b>Masa de Harina de poroto (g)</b>	<b>Pérdidas en Molienda (g)</b>	<b>Pérdidas en Molienda (%)</b>
100	1,15	99,69	0,31	0,31

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la **tabla III-14**, se puede observar que para la molienda de 100 gr de poroto seco y un tiempo de 1,15 minutos se obtiene un rendimiento del 99,69 %. Se genera un porcentaje de pérdidas del 0,31 % que se debe a que, en el momento de realizar el proceso, existen partículas en suspensión ocasionados por el impacto de los martillos hacia el poroto seco, lo cual estas partículas en suspensión pasan al ambiente convirtiéndolas en pérdidas.

### 3.8 Resultados de Tamizado

Para obtener una harina de calidad con el tamaño de partícula adecuado se debe hacer la comparación con un patrón de referencia. Es por tal motivo que se toma como referencia la Norma del Codex para la Harina de Yuca Comestible (Codex Stan 176 - 1989, Rev. 1-1995) que se observa en el Anexo 8, la cual menciona que para una harina fina el 90 % deberá pasar por un tamiz de 0,60 mm.

En la **tabla III-15**, se muestra los resultados de la clasificación granulométrica en masa y porcentaje de la harina de poroto. Pues se observa que se tiene mayor cantidad de masa de harina de poroto en el número de malla 0,25 mm con un contenido de 80,644

g, también se debe considerar que el 94,318 % de la harina pasó a través del tamiz número 0,60 mm, lo cual cumple con los parámetros de la norma de referencia.

**Tabla III-15**

**Clasificación Granulométrica de la Harina de Poroto**

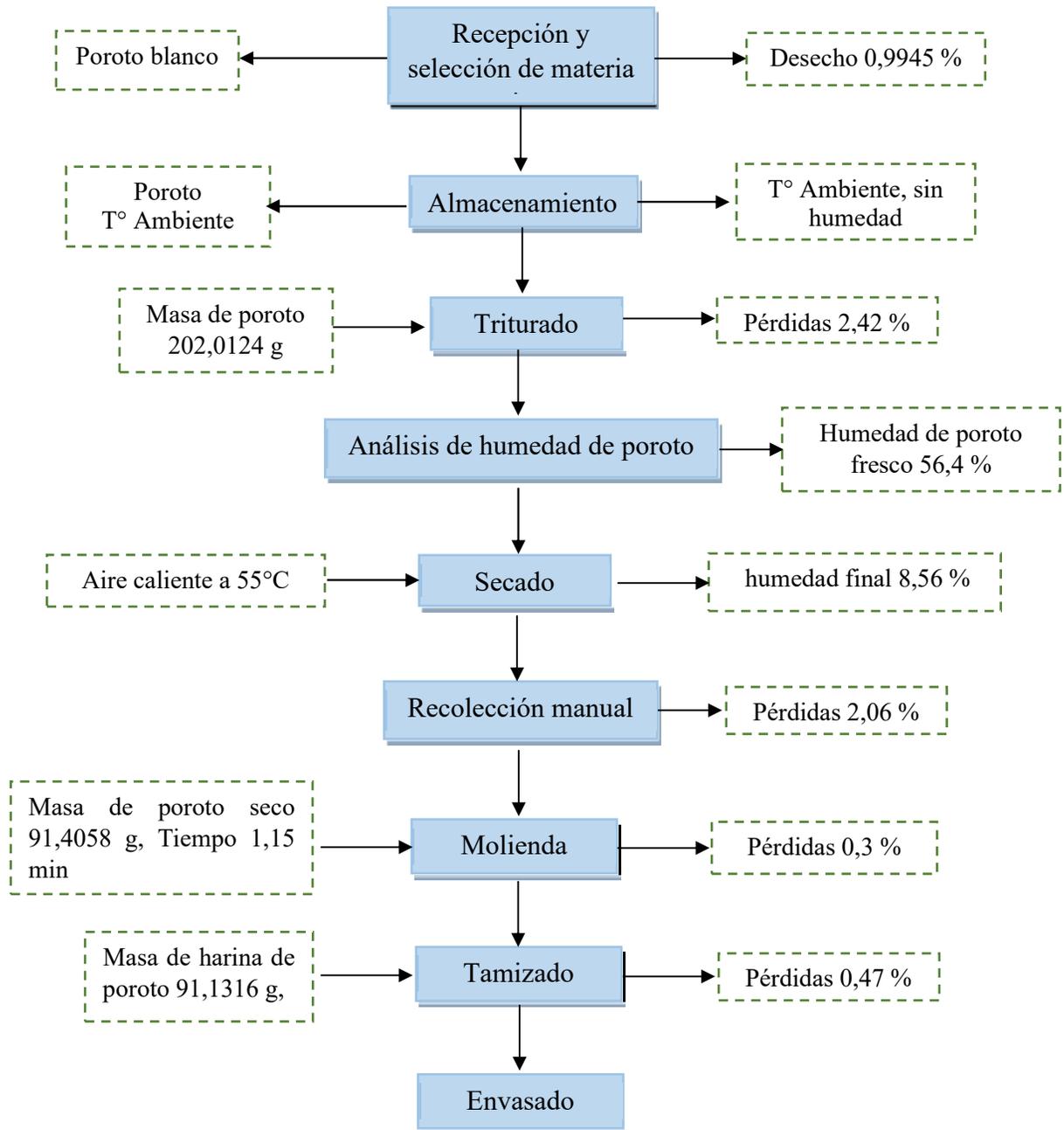
Harina de Poroto	Inicial	N° de Malla de Tamiz				Perdidas en el Tamizado	Rendimiento en el Tamizado
		1 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,063mm		
Masa(g)	100	0	5,213	80,644	13,674	0,469	99,53
%	100	0	5,213	80,644	13,674	0,469	99,53

Fuente: Elaboración propia, 2020.

**3.9 Diseño Final del Proceso de “Elaboración de Harina de Poroto”**

De acuerdo al proceso experimental desarrollado, se propone que para la producción de Harina de poroto se siga el siguiente proceso de producción.

**Figura 3.6**  
**FLUJOGRAMA DE LA ELABORACIÓN DE HARINA DE POROTO**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

### **3.9.1. Recepción y Selección de Poroto Blanco Thebo**

El poroto de la variedad blanco thebo fresco se recibió en canastas a temperatura ambiente, al mismo tiempo se hizo una preselección de los mismos desechando los porotos en mal estado.

Una vez recibido el poroto se procedió a la selección del mismo el cual debe cumplir con ciertos requisitos tales como color y grado de madurez ya que esto influye al momento de ser procesados para obtener un rendimiento aceptable.

### **3.9.2 Almacenamiento de Poroto Blanco**

El almacenamiento de poroto blanco se lo realizó en canastas a temperatura ambiente para su posterior procesamiento. El almacenamiento del poroto no debe exceder de cuatro a cinco días después de su cosecha.

### **3.9.3 Triturado del Poroto Blanco**

El poroto seleccionado fue pesado en una balanza analítica, seguidamente fue triturado en un molino de discos. En esta parte del proceso se quiere que los granos de poroto sean partidos en pequeños trozos esto con el fin de que tenga un secado homogéneo, además de facilitar su posterior molienda ya que los granos enteros de poroto después de ser sometidos a secado presentan un estado físico duro.

### **3.9.4 Análisis de la Humedad de Poroto Fresco**

Se determinó la humedad inicial del poroto fresco en una termobalanza dato que nos sirve para saber la humedad promedio del poroto fresco para realizar los posteriores cálculos del presente proyecto.

### **3.9.5 Secado del Poroto Blanco en Secador de Bandejas**

Posterior al triturado del poroto, este fue colocado de manera manual en mallas milimétricas, distribuido uniformemente para que el secado se produzca de manera homogénea.

El secado se realizó en el laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID) en un secador de bandejas a una temperatura de 55 °C durante un tiempo de 2 horas, logrando alcanzar una humedad de 8,56 %.

### **3.9.6 Recolección del Poroto Seco**

El poroto seco fue recolectado de manera manual y colocado en bolsas de plástico con cierre hermético cuidando de tener el menor tiempo de contacto entre el producto y el aire para evitar la rehidratación.

### **3.9.7 Molienda del Poroto Seco**

La molienda del poroto seco se realizó en ambientes del laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID) en un molino de martillos marca Perten.

La molienda del poroto seco toma un tiempo de 1,15 minutos obteniendo una harina de poroto totalmente pulverizada y fina.

### **3.9.8 Tamizado de la Harina de Poroto**

El tamizado de la harina de poroto se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química en un tamiz marca Orto Alresa, a 3 pulsaciones tomando un tiempo de vibración de 25 minutos, dando como resultado un tamaño de partícula de la harina de 0.25 mm

### **3.9.9 Envasado de la Harina de Poroto**

La harina de poroto obtenida se colocó en bolsas plásticas con cierre hermético para evitar su rehidratación con el aire.

### **3.9.10 Análisis Físicoquímico de la Harina de Poroto**

Una vez obtenido poroto totalmente pulverizado se tomó una muestra para su posterior análisis físicoquímico que se realiza en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, el resultado se puede observar con detalle en el Anexo 3.

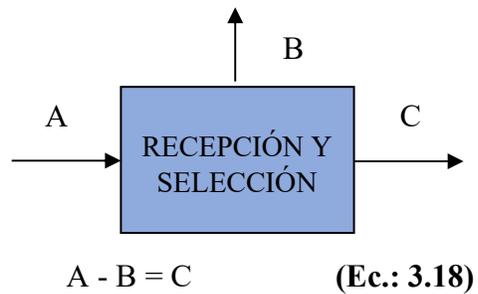
### **3.10 Recomendación del Proceso Tecnológico**

La tecnología utilizada para la elaboración de harina de poroto blanco consiste en someter el grano a un proceso de prechancado mediante un molino de discos, posteriormente se sometió a un secado en un secador de bandejas, luego a una molienda en un molino de martillo el producto así obtenido está listo para emplearlo en la preparación de harinas compuestas o sustituir las harinas tradicionales para emplearlas en repostería, panadería, cremas, ya que contiene altas propiedades nutricionales. Este tipo de producto no contiene gluten lo que favorece y la vez va dirigido a personas celiacas.

### **3.11 Balance de Materia en el “Proceso de Elaboración de Harina de Poroto”**

Los balances de materia y energía son una contabilidad de las entradas y salidas de materia y energía de un proceso o de una parte de este. Los balances se basan en las leyes de la conservación de la masa y la energía; estas leyes indican que la masa y energía entrantes a un proceso, deben ser iguales a la masa y energía salientes, a menos que se produzca una acumulación dentro del proceso (Valiente B.,1986).

### 3.11.1 Balance de Materia en la Recepción y Selección de Materia Prima



Donde:

A = masa de materia prima (g).

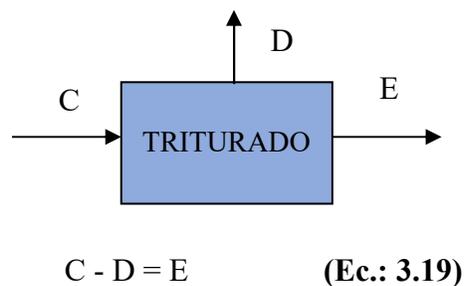
B = pérdidas por selección (g).

C = masa de poroto seleccionado (g).

=> Tenemos:

$$A - B = C \quad \Longrightarrow \quad 204,0415\text{g} - 2,0291\text{g} = 202,0124\text{g}$$

### 3.11.2 Balance de Materia en el Triturado del Poroto



Donde:

C = masa de poroto seleccionado (g).

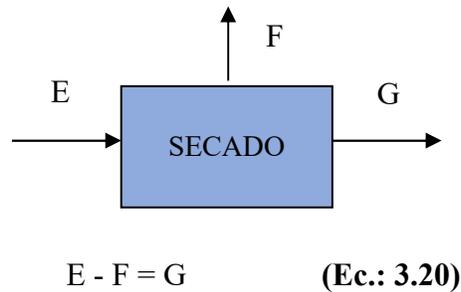
D = pérdidas por triturado (g).

E = masa de poroto triturado (g).

=> Tenemos:

$$C - D = E \implies 202,0124\text{g} - 4,8901\text{g} = 197,1223\text{g}$$

### 3.11.3 Balance de Materia en el Secado del Poroto



Donde:

E = masa de poroto triturado (g).

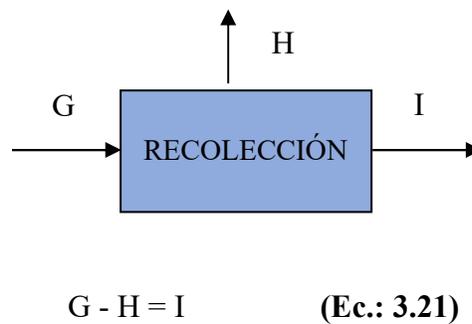
F = pérdidas por agua (g).

G = masa de poroto seco (g).

=> Tenemos:

$$E - F = G \implies 197,1223\text{g} - 103,792\text{g} = 93,3303\text{g}$$

### 3.11.4 Balance de Materia en la Recolección Manual del Poroto Seco



Donde:

G = Masa de poroto seco (g).

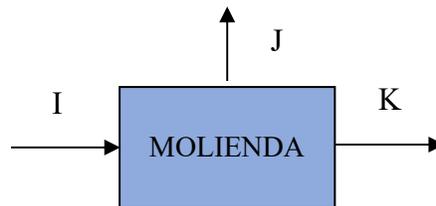
H = Pérdidas por recolección (g).

I = Masa de poroto seco (g).

=> Tenemos:

$$G - H = I \implies 93,3303\text{g} - 1,9245\text{g} = 91,4058\text{g}$$

### 3.11.5 Balance de Materia en la molienda del Poroto Seco



$$I - J = K \quad (\text{Ec.: 3.22})$$

Donde:

I = Masa de poroto seco (g).

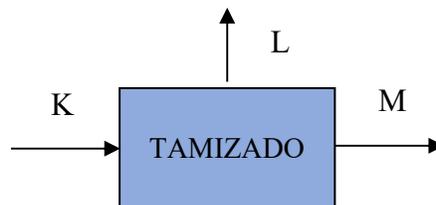
J = Pérdidas por molienda (g).

K = Harina de poroto (g).

=> Tenemos:

$$I - J = K \implies 91,4058\text{g} - 0,2742\text{g} = 91,1316\text{g}$$

### 3.11.6 Balance de Materia en el Tamizado de Harina de Poroto



$$K - L = M \quad (\text{Ec.: 3.23})$$

Donde:

K = Harina de poroto (g).

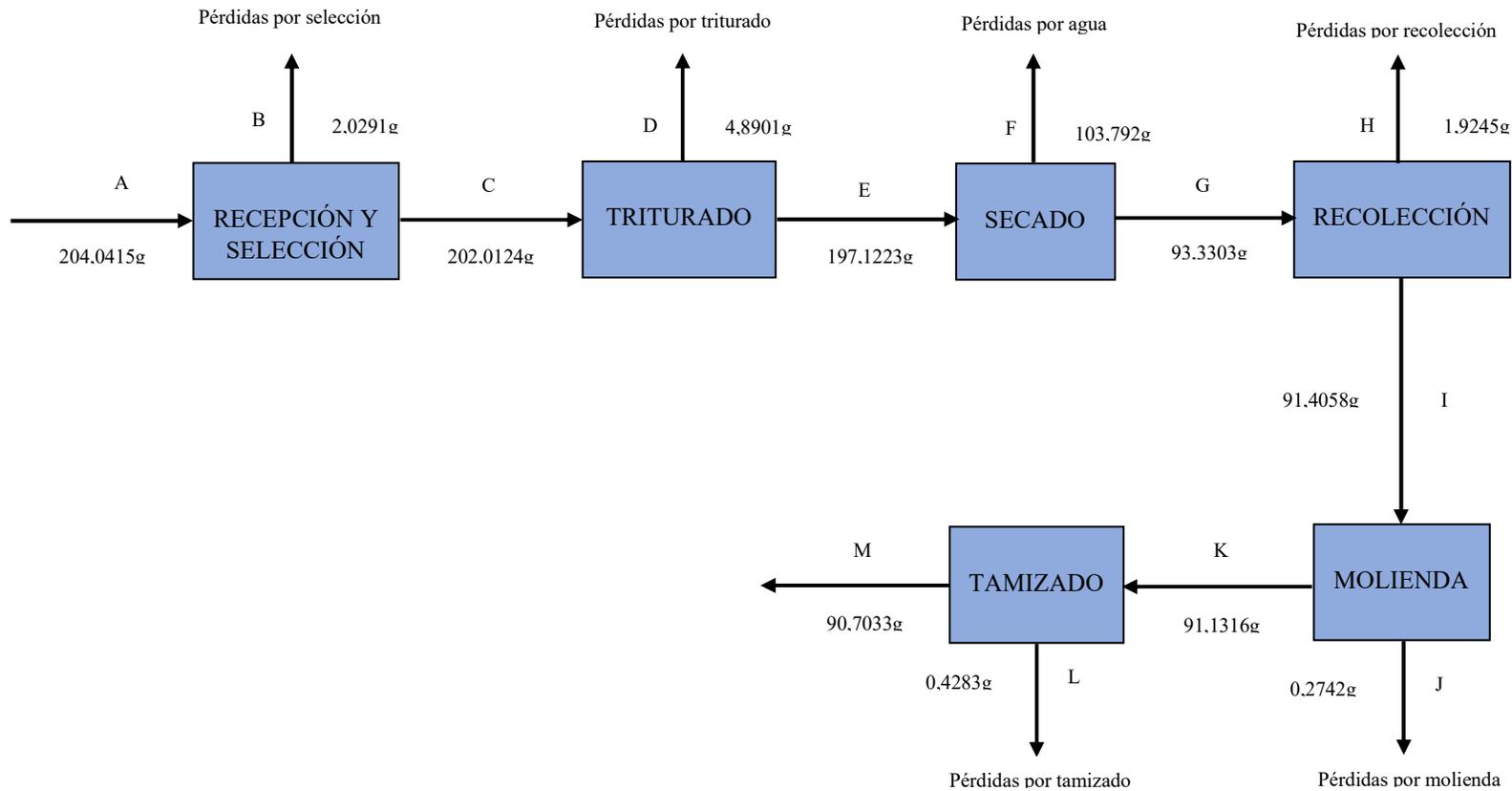
L = Pérdidas por tamizado (g).

M = Harina de poroto (g).

=> Tenemos:

$$K - L = M \implies 91,1316\text{g} - 0,4283\text{g} = 90,7033\text{g}$$

### 3.11.7 Balance de Materia General



Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 3.11.8 Rendimiento del Proceso de Elaboración de Harina de Poroto

$$\eta = \frac{M}{A} 100\% \quad (\text{Ec.: 3.24})$$

Donde:

$\eta$  = rendimiento (%).

M = Harina de poroto seca (g).

A = masa de materia prima (g).

$$\eta = \frac{90,7033}{204,0415} 100\% = 44,45\%$$

Este rendimiento se debe al contenido inicial de humedad del poroto que es del 56,4 %, es decir que el 56,4 % del grano de poroto es agua que es evaporada durante el proceso de secado lo que provocó un rendimiento del 44,45 % del proceso de elaboración de harina de poroto.

### 3.11.9 Balance de Materia Global en el “Proceso de Elaboración de Harina de Poroto”

$$m_A = m_B + m_D + m_F + m_H + m_J + m_K + m_L \quad (\text{Ec.: 3.25})$$

$$204,0415\text{gr} = 2,0291\text{g} + 4,8901\text{g} + 103,792\text{g} + 1,9245\text{g} + 0,2742\text{g} + 0,4283\text{g} + 91,1316\text{g}$$

$$204,0415\text{g} = 204,0246\text{g}$$

### 3.11.10 Balance de Energía en el Secado de Poroto

#### 3.11.10.1 Cálculo del Calor Sensible:

La cantidad de poroto triturado apto para ser sometido a secado es 197,1223g, dato que se tomará como base de cálculo.

$$Q_s = m_p * C_{pp} * (T_{op} - T_{amb}) \quad (\text{Ec.: 3.26})$$

Donde:

$Q_s$  = Calor sensible.

$m_p$  = masa del poroto con el 8,6 % de humedad.

$C_{pp}$  = Calor específico del Poroto.

$T_{op}$  = Temperatura de operación bulbo seco.

$T_{amb}$  = Temperatura ambiente.

Datos:

$T_{op} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$T_{amb} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$m_p = 93,3303\text{g} = 0,0933\text{kg}$

$C_{pp} = 1,35 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} = 0,323 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$

$$Q_s = 0,0933\text{kg} * 0,323 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (55 - 20) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 1,05 \text{ Kcal}$$

### 3.11.10.2 Cálculo del Calor Latente:

$$Q_L = m_v * h_v \quad (\text{Ec.: 3.27})$$

Donde:

$Q_L$  = calor latente.

$m_v$  = masa de agua que se evapora del poroto.

$h_v$  = calor latente de vaporización del agua a  $55 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Datos:

$$m_v = 103,792\text{g} = 0,1038\text{kg}$$

$$h_v = 309,305 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_L = 0,1038 \text{ kg} * 309,305 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_L = 32,11 \text{ Kcal}$$

### 3.12 Resultado del Análisis Físicoquímico de la Harina de Poroto

En la **Tabla III-16** se muestran los resultados de los análisis físicoquímicos obtenidos del CEANID.

**Tabla III-16**

**Propiedades Físicoquímicas de la “Harina de Poroto”**

Componente	Unidad	Composición
Cenizas	%	4,12
Fibra	%	3,21
Materia grasa	%	1,32
Hidratos de carbono	%	59,40
Humedad	%	9,12
Proteína total	%	22,83
Valor energético	Kcal/100 g	340,80

Fuente: CEANID, 2019.

Como se observa en la **tabla III-16**, se realizó el análisis de la harina de poroto en el CEANID los mismos que se pueden observar de manera detallada en el Anexo 3 para

respaldar el presente proyecto, estos resultados muestran las propiedades fisicoquímicas de la harina de poroto obtenido a partir del poroto blanco fresco, pues los resultados muestran un aumento de hidratos de carbono a 59,40 %, proteína total a 22,83 %, valor energético a 340,80 Kcal/100g, y una humedad final de 9,12 %.

Un parámetro a tomar en cuenta es la humedad final ya que se tomó como referencia Norma del Codex para la Harina de Yuca Comestible (Codex Stan 176 -1989, Rev. 1-1995) que se observa en el Anexo 8, dicha norma exige un porcentaje de humedad del 13 % como máximo.

### 3.13 Resultados del Análisis Microbiológico

En la **Tabla III-17** se muestran los resultados del análisis microbiológico de la harina de poroto obtenidos del CEANID, en el Anexo 8 se observa dicho análisis de manera más detallada.

**Tabla III-17**

**Resultados Microbiológicos de la “Harina de Poroto”**

<b>Componente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Composición</b>
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$9,0 \times 10^3$
Coliformes fecales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$4,8 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2020.

Para obtener una harina de buena calidad sin contaminación que pueda causar deterioro a la misma o enfermedades para quienes la consumen, es que se debe tener un patrón de referencia para determinar si los parámetros microbiológicos de la harina de poroto son permisibles o no, por otro lado, ante la escases de información de parámetros microbiológicos de la harina de poroto en específico es que se tomará como referencia la

Norma Técnica Colombiana NTC 267 para harina de trigo que se puede observar en el Anexo 10.

Por lo tanto, haciendo una comparación, en la **tabla III-17** de acuerdo a la NTC 267 los valores de coliformes totales y fecales son menor a  $1,0 \times 10^1$  UFC/g, pues en la harina de poroto se tiene un parámetro de  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g, además que de acuerdo al informe proporcionado por el CEANID no se observa el desarrollo de colonias.

En cuanto a los valores de mohos y levaduras de acuerdo a la NTC 267 debe contener de 3000 a 5000 UFC/g, pues en la harina de poroto se tiene  $4,8 \times 10^2$  UFC/g.

Comparando las Bacterias aerobias mesófilas que según la NTC 267 debe contener de 200000 a 300000 UFC/g, pues la harina de poroto contiene  $9,0 \times 10^3$  UFC/g.

### **3.14 Resultados de las Pruebas Sensoriales**

La escala hedónica es un método que permite medir el nivel de agrado o desagrado por un producto. Un aspecto importante de este método es que por su sencillez puede ser aplicado a consumidores en general.

A continuación, se muestra los resultados de las pruebas sensoriales, donde se evaluó la aceptación de un producto nuevo como lo es la harina de poroto y sus aplicaciones a través de una encuesta realizada a jueces escogidos al azar, dicha encuesta se encuentra detallada en el Anexo 7.

Para el análisis sensorial se utiliza la escala hedónica, donde se califican las siguientes características: sabor, olor, color, textura, apariencia, y cada una de ellas tiene las opciones y puntajes que se observan en el cuadro III-2.

Cuadro III-2

## Escala Hedónica y Puntaje para la Prueba Sensorial

Escala Hedónica	Puntaje
Me gusta mucho	10
Me gusta moderadamente	8
Me gusta poco	6
No me gusta ni me disgusta	4
Me disgusta mucho	2

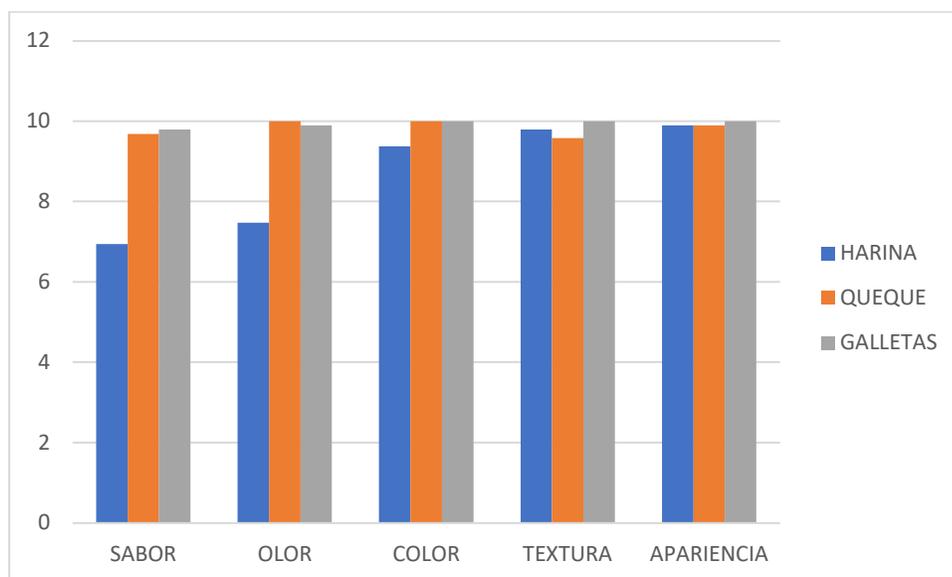
Fuente: Elaboración propia, 2020.

## 3.14.1 Puntajes del Análisis Sensorial de la Harina de Poroto y dos Aplicaciones

En la **figura 3.7** se muestra el puntaje del análisis sensorial de la harina de poroto y dos aplicaciones.

Figura 3.7

## PUNTAJE OBTENIDO DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL



Fuente: Elaboración propia, 2020.

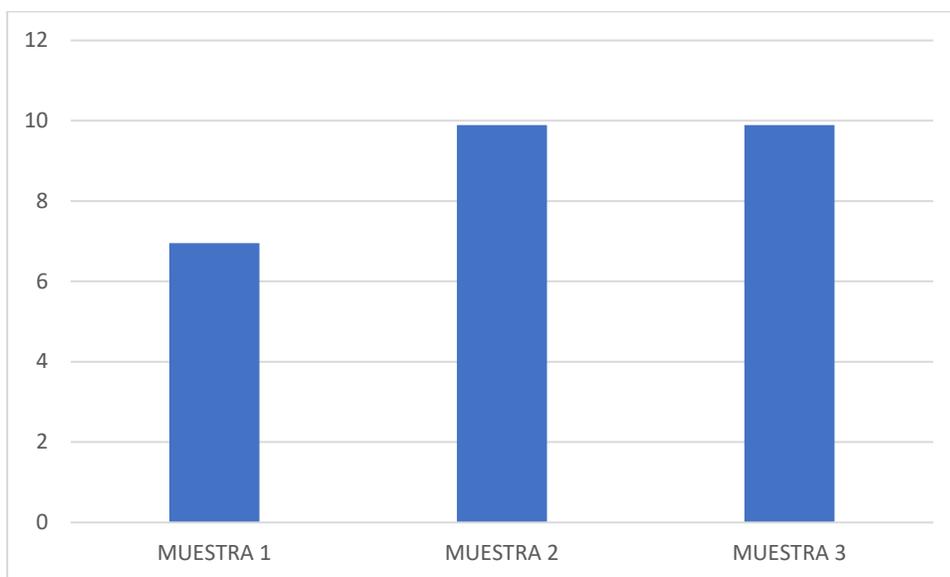
En la **figura 3.7** se observa el puntaje promedio para tres muestras que consisten en harina de poroto, queque y galletas ambas elaboradas a base de harina de poroto. Si bien se observa que la harina como muestra 1 en su estado puro, muestra promedios regulares en

cuanto a sabor, olor, color, en aplicaciones como queque y galletas como muestras 2 y 3 tiene promedios muy elevados de aceptación en todas sus características.

### 3.14.2 Aceptación de la Harina de Poroto y sus Aplicaciones

En la **figura 3.8** se observa el grado de aceptabilidad de la harina de poroto y dos aplicaciones.

**Figura 3.8**  
**ACEPTACIÓN DE MUESTRAS**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Como se observa en la figura 3.8, se tiene tres muestras la primera correspondiente a harina de poroto, la segunda correspondiente a queque, la tercera correspondiente a galletas las dos últimas elaboradas a base de harina de poroto. Dichas muestras fueron sometidas a una evaluación sensorial para determinar el grado de aceptación. Pues los resultados muestran una aceptación casi del 100 % de las muestras 2 y 3, mientras que la muestra 1 como harina de poroto en estado puro tiene una aceptación de más de la mitad de los evaluadores.

**CAPÍTULO IV**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4.1 Conclusiones

En base a las pruebas experimentales que se realizó en el presente estudio y a los resultados obtenidos, se estableció las siguientes conclusiones:

- Se realizó la caracterización del poroto blanco thebo en el laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID) donde se determinó sus propiedades fisicoquímicas obteniendo los siguientes resultados: Cenizas 4,71%; Fibra 28,09%; Materia grasa 0,09%; Hidratos de carbono 0,17%; Humedad 56,06%; Proteína total 10,88%; Valor energético 45,01%.
- Se determinó como las variables de operación para el proceso tecnológico experimental al Tiempo y la Temperatura de secado óptimo para obtener una Humedad final del poroto blanco. El equipo que se empleó para el secado es un secador de bandejas y el tiempo óptimo de secado es 1,65 horas y 55 °C.
- De acuerdo al desarrollo experimental realizado para la elaboración de harina de poroto, el proceso final diseñado y propuesto sigue los siguientes pasos: recepción y selección de materia prima, almacenamiento, triturado de poroto, secado de poroto, molienda de poroto seco, tamizado, envasado de harina de poroto.
- Se realizó el cálculo de la cinética de secado para tres temperaturas 45 °C, 50 °C y 55 °C, las cuales haciendo el análisis del comportamiento para cada una de ellas y la comparación de las mismas se llega a la conclusión que la temperatura de secado óptima es 55 °C con un tiempo óptimo de secado de 1,65 horas.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica de la harina de poroto en el laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), donde el resultado del análisis mostró un incremento porcentual de la grasa, hidratos de carbono, proteína, y el incremento más sobresaliente del valor energético de 45,01 a 340,80 kcal/100g.
- El proceso tecnológico empleado en la elaboración de Harina de Poroto es recomendado ya que se emplea maquinaria que cumple las condiciones de proceso que requiere el poroto, optimizando tiempo y costo de producción, además de que es un proceso que no emite contaminación.

- En base al proceso de elaboración experimental se determinó el porcentaje de rendimiento siendo este del 44,45%, se debe tomar en cuenta que a este rendimiento le influye la humedad inicial del poroto que fue del 56,4%.
- Se determinó el análisis sensorial de la harina de poroto y dos aplicaciones de la misma mediante una encuesta realizada a jueces escogidos al azar, lo cual tuvo una gran aceptación entre quienes la evaluaron.
- Se realizó el análisis microbiológico de la harina de poroto llegando a resultados aceptables dentro de los parámetros que rigen las normas, pues dichos resultados determinaron los siguientes valores: Bacterias aerobias mesófilas  $9,0 \times 10^3$  UFC/g, Coliformes fecales  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g, Coliformes totales  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g, Mohos y levaduras  $4,8 \times 10^2$  UFC/g.

#### **4.2 Recomendaciones**

- La elaboración y estudio del presente proyecto en el departamento de Tarija es nuevo a baja escala por lo cual, se recomienda optimizar el proceso productivo de la harina de poroto para mejorar el tiempo de producción, rendimiento y costos del mismo sobre todo durante el uso del secador, así mismo incluir más estudios que no se consideraron.
- Es importante hacer un estudio del comportamiento de las propiedades nutritivas del poroto en el secado en este sentido, se recomienda que la temperatura de secado sea inferior a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  para no perder dichas propiedades.
- La harina de poroto es un producto de mejores propiedades nutritivas respecto de las harinas tradicionales lo cual se recomienda la sustitución de la misma para la elaboración de repostería y cremas.
- Realizar más estudios sobre la elaboración y utilización de la harina de poroto para su formulación en mezclas enriquecidas, elevando el contenido de sus propiedades nutritivas.

- Se recomienda la implementación de equipos de secado con la función de secar y pesar al mismo tiempo ya que al abrir el secador para sacar la muestra y pesar se producen pérdidas de calor lo que provoca una inexactitud en la curva de secado.