

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.1. Antecedentes

El maíz (*Zea mays*) ... es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y es la única especie cultivada de su género. Desde el punto de vista botánico, se trata de una planta anual perteneciente a la familia de las gramíneas, tribu Maydeas. Es una planta que produce hojas largas, estrechas y opuestas. Las flores masculinas y femeninas se encuentran en distintas partes de la planta. Las primeras se agrupan en inflorescencias, llamadas espigas, localizadas en la parte superior de la planta. Las flores femeninas en inflorescencias que posteriormente darán lugar a las mazorcas y se ubican en la parte media de la planta. Los frutos son los granos de maíz. El peso del grano de maíz depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales de cultivo, el grano constituye aproximadamente el 42% del peso seco de la planta. **(Castañeda, 1990; FAO, 1993; Paliwal, 2001).**

El maíz es una especie que se produce por polinización cruzada, característica que ha contribuido a su gran variedad morfológica y adaptabilidad geográfica, un cultivo de maíz puede recibir polen de otro maíz que se encuentra a más de un kilómetro de distancia. Lo anterior implica la formación de poblaciones heterogéneas y heterocigóticas, altamente variables. De esta forma, la planta puede medir desde 0,5 a 5 metros, producir de 1 a 4 orejas por planta, 10 a 1800 granos por oreja y rendir de 0,5 a 23 toneladas por hectárea. **(Castañeda, 1990; Werner, 1997).**

La diversidad de los ambientes bajo los cuales se cultiva el maíz es mucho mayor que de cualquier otro cultivo. Se pueden encontrar desde los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta 40° de latitud sur en Argentina y Chile; la planta está adaptada a ambientes desérticos y extremadamente húmedos y elevaciones desde 0 a 4000 metros sobre el nivel del mar, aunque la mayor parte es cultivada a altitudes medias y su cultivo podría expandirse a nuevas áreas y a nuevos ambientes. **(Werner, 1997; Paliwal, 2001).**

## 1.2. Orígenes del maíz

Aunque se ha dicho y escrito mucho acerca del origen del maíz, todavía hay discrepancias respecto a los detalles de su origen. Generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores hace entre 7.000 y 10.000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de

5.000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979, 1985).

### **1.2.1. El teocintle**

La mayoría de los investigadores creen que este cereal se desarrolló a partir del teosintle, *Euchlaena mexicana Schrod*, planta anual que posiblemente sea el más cercano al maíz. La tesis de la proximidad entre el teosinte y el maíz se basa en que ambos tienen 10 cromosomas y son homólogos o parcialmente homólogos. En los años 80, Iltis propone una teoría en la cual establece que el teocintle se convirtió en maíz en un solo paso evolutivo. (Iltis, 1983; Mangelsdorf, 1986; Galinat, 1988, 1995).

### **1.2.2. Origen Asiático**

El maíz puede haberse originado en la región del Himalaya, producto de un cruzamiento entre *Coix spp.* y algunas *Andropogóneas*, probablemente especies de *Sorghum*, ambos parentales con cinco pares de cromosomas. Esta teoría no ha tenido un gran apoyo. (Anderson, 1945).

### **1.2.3. Origen Andino**

El maíz se habría originado en los altos Andes de Bolivia, Ecuador y Perú (Mangelsdorf y Reeves, 1959) y de las conclusiones de los estudios de Thomas Lynch de la Universidad de Cornell y otros investigadores, quienes concluyen que el maíz desde 6,200 A.C. está presente en la Cueva guitarrero, provincia de Yungay, Perú. Una justificación para esta hipótesis es la amplia diversidad genética presente en los maíces andinos, especialmente en las zonas altas de Perú. Una seria objeción a esta hipótesis es que no se conoce ningún pariente salvaje del maíz, incluyendo teosinte, en esa región. En los últimos años, Mangelsdorf descartó la hipótesis Del Origen andino. (Wilkes, 1989).

## **1.3. Proteína de Maíz**

La proteína del maíz normal, que consumimos cotidianamente, contiene 1,6% de Usina y 0,47% de triptófano, mientras que el maíz ACP (maíz de alto contenido proteico) contiene en promedio 3,1% de Usina y 1,05% de triptófano. Estos maíces han evidenciado su rendimiento en campo, iguales o superiores a sus homólogos comerciales. Además de ser un excelente producto para el consumo humano, en el ámbito forrajero aumenta

considerablemente los nutrientes en alimentos balanceados, dando como resultado inigualables rendimientos e importantes ahorros en la producción de carne, huevo y leche. Otras características del maíz ACP se señalan a continuación: textura y dureza de grano similar a los maíces normales, rendimientos competitivos, similares o superiores; mayor digestibilidad aparente, a la proteína; buen balance de nitrógeno. (**Superpyme, 2007; Shewry, 2007**).

#### **1.4. Objetivos**

Los objetivos establecidos para este proyecto de grado son los siguientes:

##### **1.4.1. Objetivo general**

Obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo (*Zea mays*), mediante método alcalino (a escala laboratorio) en el Departamento de Tarija.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la materia prima (harina amarilla de maíz criollo) para la obtención de aislado proteico.
- Seleccionar el Proceso Tecnológico para la obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.
- Desarrollar la fase experimental del proceso tecnológico de obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.
- Realizar el balance de materia y energía del proceso de obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.
- Determinar el costo unitario del estudio.
- Caracterizar el producto obtenido (aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo) determinando las propiedades organolépticas y fisicoquímicas.
- Analizar los resultados obtenidos experimentalmente del proceso de extracción de aislado de proteína harina amarilla de maíz criollo.

#### **1.5. Justificación**

Las proteínas son uno de los componentes más importantes de la vida, puesto que es uno de los pocos medios con que el hombre puede sustituir el nitrógeno que pierde en sus actividades diarias, algunas son utilizadas en la formación y regeneración de tejidos, razón

por la cual se incrementa en necesidades en periodos de crecimiento, lactancia y embarazo. **(Gallo, H. 1997).**

El aislado proteico de maíz es de gran valor nutricional no solo por el aporte proteico que brinda sino también porque contiene los aminoácidos esenciales y no esenciales, ya que los aminoácidos esenciales son importantes para un buen desarrollo físico y mental en las personas.

### **1.5.1. Justificación Social**

Este proyecto es diseñado para coadyuvar a emprendimientos en producción de alimentos y busca contribuir al mejoramiento de la salud y la nutrición de la población en Tarija. A partir de este proyecto, podrá desarrollarse un producto alimenticio, de óptima calidad nutricional, acorde a la etapa de alimentación complementaria para todo tipo de personas.

### **1.5.2. Justificación Económica**

La obtención de nuevos sub productos del maíz generan importantes impactos económicos tanto en el área industrial como del cultivo. No solo produce beneficios a los que elaboran productos alimenticios, sino también, en un mayor desarrollo para el país. Luchar contra la desnutrición es, por ende, “un buen negocio”, que genera beneficios económicos para toda la sociedad.

Se busca generar un valor agregado a la materia prima lo cual en caso de ejecutarse causará varios impactos positivos en la economía del sector productor del departamento de Tarija; en este sentido radica la importancia económica de generar proyectos que no solo coadyuven a generar valor agregado, sino también que la creación de complejos productivos en torno a productos que tradicionalmente se los ha venido cultivando. Como en este caso el maíz, el cual es producido en gran parte del departamento.

### **1.5.3. Justificación Tecnológica**

La tecnología y la innovación pueden convertirse en poderosos instrumentos para el desarrollo socioeconómico de Bolivia, en la medida que todos los sectores de la sociedad asuman que estos elementos son vitales para contribuir a mejorar la calidad de vida.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Introducción

El maíz (*Zea mays*) es uno de los principales cereales cultivados para la Alimentación humana y animal en muchos países (Zarkadas et al., 1995), siendo de gran importancia económica a nivel mundial. Globalmente, el maíz se cultiva en más de 140 millones de hectáreas, con una producción anual de más de 580 millones de toneladas métricas, por lo que actualmente el maíz es el segundo cultivo más producido del mundo, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar (Bressani, 1991; FAO, 1993; Boyer y Curtis en Hallauer, 1994). Toda la planta puede ser aprovechada y las aplicaciones posibles de este cultivo incluyen alimento, forraje y materia prima para la industria. Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como por ejemplo sémola de partículas de diferentes tamaños, sémola en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia variedad de alimentos. También pueden producirse almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible (FAO, 1993).

## 2.2. Recursos genéticos

Aunque el tipo maíz criollo de la especie morocho seleccionado para el presente estudio, es una sola especie, tiene un gran número de razas y variedades que presentan diferencias entre sí, para poder comprender la existencia de la gran cantidad de tipos de maíz en la actualidad y cómo se han generado a lo largo de la historia, se deben comprender estos dos conceptos:

- **Biología:** desde el punto de vista botánico se trata de una planta anual, pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta que produce hojas largas y estrechas, las flores masculinas y femeninas se encuentran en distintas partes de la planta, los frutos son los granos de maíz.
- **Origen:** aunque para el origen botánico del maíz hay estas teorías (Castañeda 1900): el maíz actual procede de un maíz tunicado, es el producto de cruzamiento de un teosinte silvestre con otro cultivado, etc.

Por otro lado, una variedad es un grupo de individuos de una especie y raza con rasgos diferenciales más estrechos que aquellos manifestados por las razas. (**Castañeda, 1990**).

Las variedades agronómicas son producto de la selección humana, con la cual se forman grupos de plantas similares para su explotación económica; existen tantas, tal vez como productores, en una región agrícola. Hay variedades nativas y son aquellas que se originaron en un lugar determinado y ahí evolucionaron. Por otro lado, las variedades criollas son las introducidas y adaptadas a las condiciones existentes en el lugar de adopción, que, multiplicándose libremente y por selección natural o dirigida, han logrado producciones aceptables para los agricultores. Dependiendo del tipo de grano se han reportado diferencias en cuanto al tipo y cantidad de compuestos químicos almacenados en él. (**Castañeda, 1990; Boyer y Curtis en Hallauer, 1994**).

## **2.3. Las proteínas**

### **2.3.1. Definición**

Las **proteínas** son biomoléculas formadas básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Pueden además contener azufre y en algunos tipos de **proteínas**, fósforo, hierro, magnesio y cobre, entre otros elementos.

Las proteínas son componentes importantes de los alimentos, cuyas fuentes, tanto de origen vegetal como animal, debido a su gran importancia nutricional y comercial, han sido estudiados con detalle. El aporte de las proteínas como alimento estructurante y como fuente energética y funcional es ampliamente conocido. (**EWd. Springer Veriag, 1986**).

Las propiedades físicas y organolépticas de muchos alimentos, así como la consistencia y textura de la carne, el queso o el pan, dependen en gran medida de la naturaleza de las proteínas que los constituyen. Asimismo, en alimentos elaborados con una presencia menor de proteínas, pueden jugar un papel muy importante, influyendo en las características funcionales, como la formación de emulsiones, geles, espumas y la absorción de agua o aceite.

Además de su papel básico en la nutrición, las proteínas poseen propiedades fisicoquímicas que les otorgan propiedades funcionales (confieren sus propiedades químicas y físicas a los

productos en los que se emplean y contribuyen a la calidad del producto final) en formas muy específicas al ser adicionadas a ciertos alimentos.

Las proteínas vegetales juegan un rol importante en la nutrición humana, particularmente en los países en desarrollo donde la ingesta promedio de proteínas es menor a la requerida. Las proteínas son componentes importantes de los alimentos, cuyas fuentes tanto de origen vegetal como animal, han sido estudiados con detalle debido a su gran importancia nutricional y comercial. La Industria Alimentaria ha recurrido en forma habitual a la utilización de productos proteicos con fines tecnológicos y funcionales. A partir de esta necesidad, se desarrollaron distintos procesos para extraer proteínas obteniéndose los concentrados y aislados proteicos. (Scopes, 2013; Barac et al., 2010).

### **2.3.2. Calidad de las proteínas**

El análisis de proteínas es de gran importancia en la determinación del valor Nutritivo de los alimentos (Wathelet, 1999). La calidad nutricional de una proteína está definida por la cantidad y proporción o balance de los aminoácidos presentes en ella y su capacidad para satisfacer las necesidades nutricionales (Bressani, 1991). De esta manera, las proteínas cuyo contenido de aminoácidos se aproxima al punto óptimo de satisfacción de las necesidades nutricionales son consideradas de alta calidad y aquellas que no se acercan a ese punto son catalogadas como proteínas de baja calidad (Oropeza y Ortiz, 1989).

En general, el contenido de aminoácidos esenciales en los alimentos es relativamente un buen indicador de la calidad de una proteína, particularmente si la digestibilidad es alta. Por lo tanto, si se conoce el contenido de aminoácidos esenciales de un alimento y se compara con un patrón de referencia, se puede calcular su calidad con respecto a cada aminoácido, siendo de especial importancia aquellos que son limitantes. Se llama así al aminoácido esencial que en una proteína dada se encuentra en cantidad relativa más baja con respecto a una proteína patrón porque limita el aprovechamiento de ésta. (Bressani, 1991).

### 2.3.3. Aminoácidos esenciales

Los aminoácidos son compuestos orgánicos que se combinan para formar proteínas, las cuales son indispensables para nuestro organismo. Están formadas de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. Entre sus funciones, los aminoácidos ayudan a descomponer los alimentos, al crecimiento o a reparar tejidos corporales, y también pueden ser una fuente de energía. **(instituto Oficial de Formacion Profesional 2018).**

Los aminoácidos esenciales son metionina, cisteina, lisina, treonina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina y triptofano. Para el cálculo y la predicción de la calidad de una proteína, el perfil de aminoácidos esenciales se compara con una proteína de referencia “ideal” de valor biológico conocido. El contenido de aminoácidos esenciales de un producto es corregido con respecto al contenido de proteínas y luego es comparado con el porcentaje del aminoácido en la proteína de referencia, dándole así una puntuación a cada aminoácido. **(White y Hart, 1992).**

### 2.4. Proteínas del maíz

La principal fuente de proteínas en las plantas son los granos de las legumbres y los cereales. Entre los cereales, el maíz y el arroz son los alimentos base para la mayor parte de los países latinoamericanos, África y Asia (Toro, et al., 2003). Las proteínas de los cereales tienen un valor nutricional pobre para los humanos y otros animales monogástricos (Moro et al., 1996). Sin embargo, los estudios realizados para evaluar la proteína del maíz han demostrado su baja calidad en comparación con proteínas de origen animal, pero, con relación a otros cereales, la calidad proteica del maíz es superior o similar. **(Brezan, 1972; Sikka y Johari, 1979 en Oropeza y Ortiz, 1989).**

El maíz contiene 7-13% de proteínas. Como todos los granos de cereales, las semillas de maíz contienen tres grupos de proteínas: proteínas de almacenamiento, que constituyen una reserva de aminoácidos depositados tempranamente en el desarrollo de las semillas; las enzimas involucradas el metabolismo; y las proteínas estructurales. **(Moro et al., 1996 en Zarkadas et al., 2000).**

Las proteínas tradicionalmente se clasifican con base en su solubilidad en diferentes disolventes. Diferentes investigadores han aplicado condiciones variadas para solubilizar proteínas. Las albúminas son solubles en agua y comprenden cerca del 7% de todo el nitrógeno del grano. Las prolaminas son solubles en alcohol con o sin agentes reductores y constituyen cerca del 52% del nitrógeno del grano. Finalmente, las gluteínas son solubles en medio alcalino y forman parte del 25% del nitrógeno total del grano. **(Oropeza y Ortiz, 1989; Boyer y Curtis en Hallauer, 1994).**

El principal tipo de proteínas, las prolaminas, se conocen también como zeínas. Estas proteínas contienen grandes cantidades de los aminoácidos glutamina, prolina, leucina y alanina y son relativamente de una calidad nutricional pobre ya que son deficientes en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano, presentes en cantidades de 1,8-2% y 0,6-0,8% de la proteína total, respectivamente **(Zarkadas *et al.*, 1995; Ortiz, 1982; Onñ y Gerra, 1983 en Oropeza y Ortiz, 1989; Boyer y Curtis en Hallauer, 1994).**

Al parecer, el aminoácido limitante de las proteínas de más importancia, después de la lisina y del triptofano, es la isoleucina, según se ha determinado en experimentos de alimentación animal (Benton, Harper y Elvehjem, 1955 en FAO, 1993; Zarkadas *et al.*, 1995). La mayoría de los investigadores que han indicado esos resultados señalan que el efecto de la adición de isoleucina al maíz utilizada para mejorar la calidad de la proteína, se debe a un exceso de leucina que obstaculiza la absorción y la utilización de la isoleucina **(Harper, Benton y Elvehjem, 1955; Benton *et al.*, 1956) en FAO, 1993).**

En la **tabla II-1** se muestra el contenido de aminoácidos esenciales de los maíces normales y se compara su contenido con la proteína de referencia manejada por la FAO, reportándose también la puntuación para cada aminoácido. Al mismo tiempo, si se divide el primer valor entre el segundo, se obtiene una puntuación para cada aminoácido y así se puede evaluar la calidad de las proteínas con respecto a cada uno de los aminoácidos esenciales que la componen. **(FAO 1990).**

**Tabla II-1:** Puntuación química de los aminoácidos esenciales de maíces normales

Aminoácido	Maíz (mg/g N proteico)	Proteína patrón FAO (mg/g N proteico)	Puntuación Química
Lisina	28,32	54,40	0,75
Isoleucina	32,96	40,00	0,77
Leucina	132,32	70,40	1,15
Aminoácidos azufrados	30,08	35,20	0,85
Aminoácidos aromáticos	80,80	60,80	1,32
Treonina	34,08	40,00	0,79
Triptofano	5,60	9,60	1,30
Valina	46,72	49,60	0,96

**Fuente:** (Bressani, 1991)

Al igual que con otros compuestos químicos del maíz, el contenido de nitrógeno, así como la calidad de las proteínas está íntimamente relacionado con factores genéticos y ambientales. Se ha establecido que los niveles de nitrógeno en el suelo pueden afectar directamente el contenido de proteínas del maíz (**Pierre et al., 1977 en Kniep y Mason, 1991**). **Cromwell et al. (1983)**.

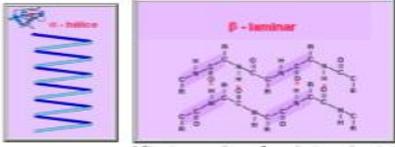
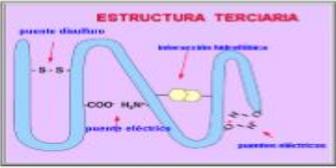
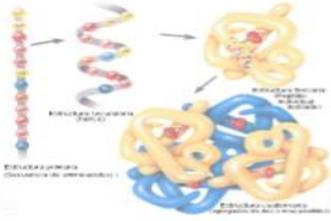
### 2.5. Análisis de aminoácidos

La determinación de la proteína cruda y el índice químico, junto con la composición de aminoácidos esenciales, dan una buena estimación de la calidad de las proteínas. Para determinar el índice químico, primero se hidrolizan las proteínas y luego se analiza la proporción de los aminoácidos presentes. La demanda creciente de información relacionada al valor nutritivo ha conducido al desarrollo de métodos precisos para medir aminoácidos. (**Wathelet, 1999**).

### 2.6. Estructura de la proteína

Las proteínas poseen una extraordinaria diversidad de funciones y pueden clasificarse en estructura primaria la cual corresponde a la secuencia de los aminoácidos en una proteína. Las estructuras secundaria y terciaria se refieren a la organización tridimensional de la cadena polipeptídica. La estructura cuaternaria, corresponde a la distribución geométrica entre las diversas cadenas polipeptídicas unidas entre sí por enlaces que en la mayoría no son covalentes como se indica en la **Figura II-1**

**Figura II-1:** Características de las estructuras de la proteína

	CARACTERÍSTICA	FIGURA
ESTRUCTURA Primaria	Secuencia de aminoácidos ligados entre si por enlaces covalentes.	
Secundaria	<p>Los aminoácidos se acoplan y gira sus enlaces.</p> <p>Existe dos principales la hélice <math>\alpha</math> y la <math>\beta</math>.</p> <p>Cada cadena posee una conformación específica nativa o natural.</p>	
Terciaria	<p>Organización tridimensional.</p> <p>Contiene zonas de estructura secundaria.</p> <p>Facilita la solubilidad en el agua.</p>	
Cuaternaria	<p>Es el resultado de asociaciones no covalentes de unidades proteicas.</p> <p>Los enlaces que estabilizan las estructuras son los mismos de la estructura terciaria: puentes salinos, de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals e hidrófobas.</p>	

**Fuente:** Camino, 2011; Cheftel, 1989; Raisman & Gonzales, 2008

## 2.7. Propiedades funcionales de las proteínas

El término “Propiedad Funcional” se define como toda propiedad no nutricional que influencia la utilidad de un ingrediente en un alimento y la mayor parte influye sobre el carácter sensorial como la textura, y en el comportamiento físico de los alimentos durante su preparación, transformación o almacenamiento. (Cheftel, 1989).

Las propiedades funcionales de las proteínas son propiedades fisicoquímicas y estructurales los cuales reflejan atributos intrínsecos de las proteínas como la composición, secuencia de aminoácidos, conformación, estructura, así como las posibles interacciones con otros componentes de los alimentos, el carácter hidrofóbico o hidrofílico que le permiten contribuir a las características deseadas de un alimento. En la **Tabla II-2**, se exhibe las propiedades y la funcionalidad en el alimento.

**Tabla II-2:** Propiedades de las proteínas responsables de la funcionalidad en alimentos

Propiedad física	Funcionalidad
Sensoriales	Color, olor, sabor, textura
Hidratación	Absorción de agua, solubilidad, gelificación
Superficie	Emulsión, espuma
Reología	Viscosidad, elasticidad, adhesividad, gelación, formación de fibra
Otras	Actividad enzimática, antioxidante, y otras propiedades

**Fuente:** (zapata 2011)

Las propiedades de las proteínas que dependen de las interacciones proteína-agua son las siguientes:

### 2.7.1. Solubilidad

La solubilidad facilita la difusión de la proteína en las interfaces aire/agua y aceite/agua, mejorando su actividad superficial. Las características de solubilidad son útiles para poder determinar las condiciones óptimas de extracción y purificación de las proteínas, a partir de fuerzas naturales, así como para la separación de fracciones proteicas. La principal ventaja de la solubilidad es una dispersión rápida y completa de las moléculas o partículas proteicas. (Cheftel, 1989).

### 2.7.2. Viscosidad

La viscosidad se define como la resistencia de un fluido a fluir bajo una fuerza aplicada o un esfuerzo de cizalla. El factor principal en el comportamiento viscoso es el diámetro de las partículas o moléculas dispersas (Camino, 2011a). Además, la viscosidad de la ecuación I-1 de un fluido refleja su resistencia al deslizamiento, viene expresada por el coeficiente de viscosidad ( $\mu$ ) que es la relación entre la fuerza de corte o cizallamiento ( $\gamma$ ) y la velocidad relativa de corte ( $\dot{\gamma}$ ), (Cheftel, 1989).

$$\mu = \gamma / \dot{\gamma} \quad \text{Ecuación I-1}$$

Los fluidos que obedecen esta expresión se conocen como fluidos Newtonianos, la conducta del flujo de las soluciones se afecta por el tipo de soluto. El alto peso molecular de los polímeros solubles incrementa notablemente la viscosidad, aun en bajas concentraciones. (Badui, 2006).

### 2.7.3. Gelificación

Se denomina gelificación cuando las moléculas desnaturalizadas se agregan para formar una red proteica ordenada. La gelificación proteica no se aplica solamente para la formación de geles sólidos viscoelásticos, sino también para mejorar la absorción de agua, el espesado, la unión de partículas y estabilizar emulsiones y espumas. **(Cheftel, 1989)**.

La obtención de las características reológicas satisfactorias depende de la naturaleza de las proteínas, del mantenimiento al estado natural, de la presencia de sales neutras, condiciones de calentamiento establecidas para conseguir la gelificación. Se utilizan como parámetros para comparar geles entre sí son: la temperatura, pH y concentración en proteína la velocidad de formación del gel a distintas temperaturas, transparencia, resistencia al almacenamiento al calor, congelación o descongelación, y el tipo de desestabilización observado. **(Zapata, 2011)**.

### 2.7.4. Absorción de Agua

La absorción de agua en las proteínas está definida como la humedad relativa; se utilizan cuatro métodos para la determinación práctica de la capacidad de retención de agua y la absorción de la misma. **(Camino, 2011b)**.

- El método de la humedad relativa o absorción, que mide la cantidad de agua absorbida a una humedad relativa.
- El método de hinchado utiliza el equipo Baumann contiene un tubo capilar graduado ajustado a un filtro de vidrio vitrificado, donde se coloca la muestra que absorbe el agua del tubo capilar.
- El método por saturación de agua, que mide la cantidad necesaria para conseguir un estado de saturación de la proteína en agua, la cual se determina por centrifugación.
- El método por exceso de agua, consiste en exponer las muestras proteicas a un exceso de agua para ser filtrada y a centrifugación que separe el agua.

### 2.7.5. Desnaturalización

Consiste en la pérdida de la estructura terciaria, por romperse los puentes que forman dicha estructura. Todas las proteínas desnaturalizadas tienen la misma conformación, muy abierta

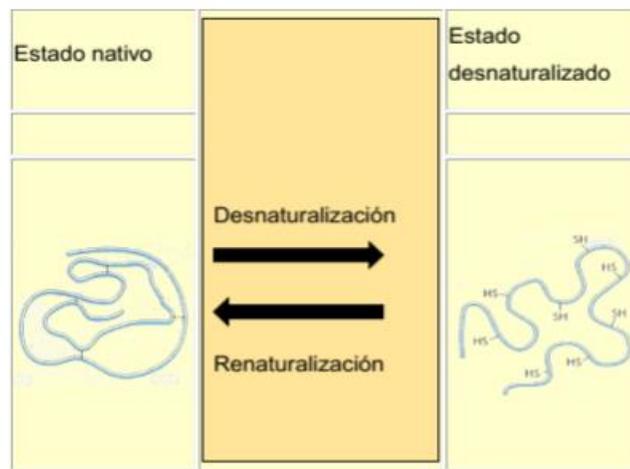
y con una interacción máxima con el disolvente, por lo que una proteína soluble en agua cuando se desnatura se hace insoluble en agua y precipita. (Luque, M. 2009).

Durante el proceso de desnaturación se rompen las interacciones débiles que mantienen estable la conformación, pero se mantienen los enlaces covalentes del esqueleto polipeptídico, es decir, se pierden las estructuras secundarias, terciaria y, en su caso, cuaternaria, pero permanece intacta la secuencia de aminoácidos.

El proceso de desnaturación, si se lleva a cabo en condiciones suaves (variaciones moderadas y graduales de temperatura o pH), es reversible: la proteína puede recuperar su conformación tridimensional nativa si se restituyen las condiciones iniciales. Este proceso recibe el nombre de renaturalización. En la **Figura II-2** se ilustra el proceso de desnaturación reversible de una cadena polipeptídica. El proceso de renaturalización conlleva una recuperación de la función biológica de la proteína (que se había perdido durante la desnaturación), la secuencia de aminoácidos, que es lo único que permanece al final del proceso de desnaturación, que contiene la información suficiente para que se recupere la conformación tridimensional, y con ella la función biológica, en el proceso de renaturalización. (Riedel, M. 2008).

La desnaturación puede ser provocada por diferentes causas o agentes desnaturantes de tipo físico o químico. Destacaremos dos de ellos: uno físico (aumento de temperatura) y otro químico (alteración del pH). (Riedel, M. 2008).

**Figura II-2:** Desnaturación de las proteínas



**Fuente:** Badui (2006)

### **2.7.6. Desnaturalización por cambios de pH**

Un cambio en el pH del ambiente natural o fisiológico de las proteínas puede acarrear modificaciones importantes en su conformación debido a cambios en la ionización de las cadenas laterales cargadas porque se afecta el número de los puentes salinos que estabilizan la estructura nativa. Una desnaturalización alcalina implica la neutralización de la carga positiva de cadenas laterales de Lys, His y Arg; una desnaturalización ácida implica la protonación de cargas de Asp, Glu; ambos casos impiden la formación de una interacción electrostática. En los procesos tecnológicos que involucran la obtención de aislados proteínicos vegetales es el tratamiento alcalino el que se aplica con mayor frecuencia. Se utiliza para elevar la concentración de proteína y requiere de una solubilización alcalina a valores de pH cercanos a 10,96. Con este proceso se busca modificar las estructuras originales de las proteínas para aumentar su potencial tecnológico y mejorar sus propiedades funcionales, aunque es frecuente encontrar en estas condiciones una porción de las moléculas que han sufrido hidrólisis. Además, en esos valores de pH los grupos ionizables que adquieren cargas negativas traen como consecuencia una expansión de las moléculas causada por repulsiones intramoleculares debido a sus cargas iguales. **(Badui, 2006).**

### **2.7.7. Cambios de temperatura**

Las proteínas sufren diversos grados de desnaturalización que pueden afectar las propiedades funcionales y nutricionales en los alimentos. Es decir, la desnaturalización es un mecanismo que implica las desestabilizaciones de sus interacciones no covalentes, los enlaces de hidrogeno, las interacciones electrostáticas, que se desequilibran a temperaturas altas y ganan estabilidad a temperaturas bajas. En otras palabras, la aplicación de calor es uno de los agentes desnaturalizantes que se utilizan con mayor frecuencia, afecta la estabilidad de las interacciones no covalentes de la estructura tridimensional de las proteínas, pues a medida que se eleva la temperatura la molécula pierde su delicado balance de los enlaces que mantienen su equilibrio y por consiguiente sus propiedades funcionales **(Fennema (2010; Zhun & Damodaran; 2011).**

## 2.8. Clasificación de las proteínas

Las proteínas se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios: Su composición química, su estructura, sensibilidad y su solubilidad; una clasificación que engloba dichos criterios es: **(Luque, M. 2009)**

- Holoproteínas o proteínas simples
- Hetero proteínas o proteínas conjugadas

### 2.8.1. Holoproteínas o proteínas simples

Son proteínas formadas únicamente por aminoácidos. Pueden ser globulares o fibrosas.

#### 2.8.1.1. Globulares

Las proteínas globulares se caracterizan por doblar sus cadenas en una forma esférica apretada o compacta dejando grupos hidrófobos hacia adentro de la proteína y grupos hidrófilos hacia afuera, lo que hace que sean solubles en disolventes polares como el agua. La mayoría de las enzimas, anticuerpos, algunas hormonas y proteínas de transporte, son ejemplos de proteínas globulares. **(Luque, M. 2009).**

Algunos tipos de proteínas globulares son:

- Prolaminas: zeína (maíz), gliadina (trigo), hordeína (cebada)
- Gluteninas: glutenina (trigo), orizanina (arroz).
- Albúminas: seroalbúmina (sangre), ovoalbúmina (huevo), lactoalbúmina (leche).
- Globulinas: Las globulinas son el grupo de proteínas de reserva más ampliamente distribuido en la naturaleza, conforma la mayor parte de las proteínas en ciertos granos, por lo que han sido ampliamente estudiadas, principalmente en leguminosas como chícharo, soya y frijol.
- Hormonas: insulina, hormona del crecimiento, prolactina, tirotropina
- Enzimas: hidrolasas, oxidasas, ligasas, liasas, transferasas...etc.
- Fibrosas

### **2.8.1.2. Las proteínas fibrosas**

Presentan cadenas polipeptídicas largas y una estructura secundaria atípica. Son insolubles en agua y en disoluciones acuosas.

Algunas proteínas fibrosas según Luque, M. (2009), son:

- Colágenos: en tejidos conjuntivos, cartilagosos
- Queratinas: en formaciones epidérmicas: pelos, uñas, plumas, cuernos.
- Elastinas: en tendones y vasos sanguíneos
- Fibroínas: en hilos de seda, (arañas, insectos)

### **2.8.2. Heteroproteínas o proteínas conjugadas**

Las heteroproteínas están formadas por una fracción proteínica y por un grupo no proteínico, que se denomina grupo prostético. Dependiendo del grupo prostético existen varios tipos como ser:

#### **2.8.2.1. Glucoproteínas**

Son moléculas formadas por una fracción glucídica (del 5 al 40%) y una fracción proteica unidas por enlaces covalentes. Algunas de ellas son:

- Ribonucleasa
- Mucoproteínas
- Anticuerpos
- Hormona luteinizante
- Lipoproteínas

Son complejos macromoleculares esféricos formados por un núcleo que contiene lípidos apolares (colesterol esterificado y triglicéridos) y una capa externa polar formada por fosfolípidos, colesterol libre y proteínas (apolipoproteínas).

Las lipoproteínas se clasifican según su densidad (Luque, M. 2009), en:

- Lipoproteínas de alta densidad
- Lipoproteínas de baja densidad
- Lipoproteínas de muy baja densidad

### **2.8.2.2. Nucleoproteínas**

Son proteínas estructuralmente asociadas con un ácido nucleico (que puede ser ARN o ADN), por ejemplo, la Telomerasa una ribonucleoproteína (complejo de ARN/proteína) y la Protamina.

### **2.8.2.3. Cromoproteínas**

Las cromoproteínas poseen como grupo prostético una sustancia coloreada, por lo que reciben también el nombre de pigmentos. Según la naturaleza del grupo prostético, pueden ser pigmentos porfirínicos como la hemoglobina encargada de transportar el oxígeno en la sangre o no porfirínicos como la hemocianina, un pigmento respiratorio que contiene cobre y aparece en crustáceos y moluscos, por ejemplo. También los citocromos, que transportan electrones. (**Fearon, William Robert (1940)**).

## **2.9. Propiedades tecno funcionales de las proteínas**

Además de su importancia como fuente de aminoácidos en la nutrición, las proteínas influyen de manera determinante en las características teológicas (elasticidad, cohesión, viscosidad, gelificación, etc.) y de textura de los alimentos. Por estas cualidades, las proteínas se usan comercialmente en la fabricación de productos alimenticios a los cuales confieren sus propiedades físicas y químicas. (**Duarte, 2012**).

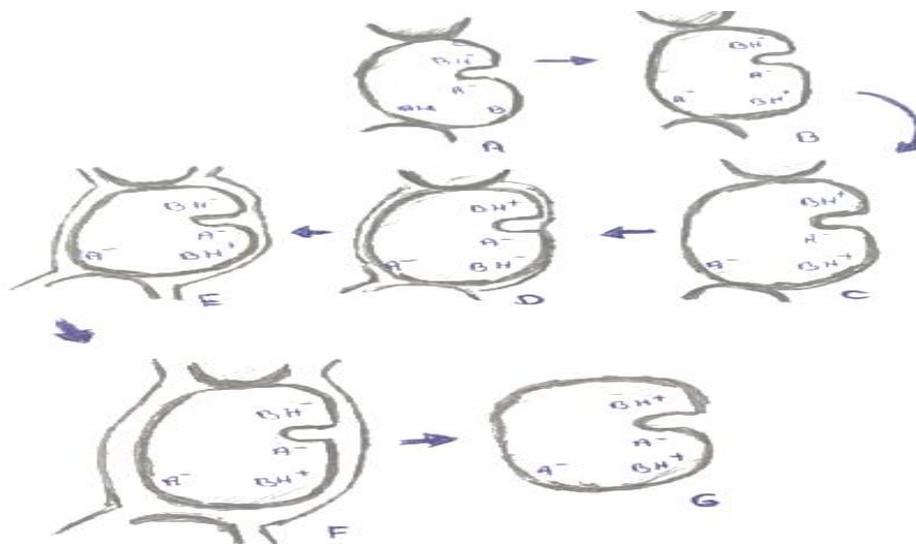
De manera general, las propiedades tecno funcionales se definen como "cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica alguna característica de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto". (**Sosa, 2000**).

Así, por ejemplo, son propiedades funcionales: La absorción de agua y grasa, la emulsificación, gelificación, la formación de espuma, la solubilidad, etc. Estas dependen de factores intrínsecos propios de la molécula de proteína, como, por ejemplo; la secuencia de aminoácidos, peso molecular, carga eléctrica, solubilidad, conformación, hidrofobicidad, etc.; así como también de factores extrínsecos del medio que las rodea como: pH, fuerza iónica, temperatura, constante dieléctrica, etc. (**Badui, 1993**).

Capacidad de retención de agua (CRA) Dentro de estas propiedades de las proteínas se encuentran las propiedades de hidratación que dependen de las interacciones agua-proteína dentro de un alimento y modifica las propiedades fisicoquímicas de las mismas (Badui. S.,

2006), lo cual resulta de la gran afinidad de los grupos iónicos que se solvatan en el agua para luego la solvatación de los grupos polares y apolares para formar una monocapa en la superficie de la proteína formando puentes entre el agua y la proteína como se muestra en la **figura II-3** (Damodaran, 2010). Esta capacidad de ligamiento de agua se expresa como gramos de agua por gramo de proteína en polvo cuando está a un 90-95% de humedad relativa (Kunts. I., 1971), existen factores ambientales como conformación de la estructura interna de las proteínas, pH, temperatura, fuerza iónica de las sales presentes los cuales influyen sobre esta capacidad de retener agua ligada generando importantes funciones en las propiedades de superficie de las proteínas (Vani B. & Zayas J., 1995); para las distintas aplicaciones en alimentos se debe tener presente que interesa más la capacidad de retener agua contra la fuerza de gravedad como en el caso de los geles en lugar de su capacidad de ligar agua (Quinn. J. & Paton. D., 1979), por lo que no existe una correlación entre la solubilidad de las proteínas y la capacidad de ligar agua dentro de su estructura (**Ahmedna M. P., 1999**).

**Figura II-3:** Secuencia de la hidratación de una proteína



**Fuente:** Damodaran (2010)

La proteína no hidratada (A) se hidrata primero sus grupos cargados (B) para luego agrupar más moléculas de agua (C) terminando así su hidratación (D) y se empieza a formar una monocapa de agua (E) y está se rodea con una capa de agua (F) y luego finaliza este proceso en (G).

**Tabla II-3:** CRA para diferentes fuentes proteicas

PROTEINA	CRA (ml de AGUA/g de PROTEINA)
Quinoa	3,94 ± 0,06
Trigo	3,67 ± 0,05
Soya	4,05 ± 0,15
Arroz	2,60 ± 0,27
Cebada Cañicapa	1,35±0,00
Maíz	1,25±0,09

**Fuente:** Badui. S., 2006

Esta capacidad de ligar agua se relaciona con la composición de aminoácidos, mientras más aminoácidos cargados más agua podrá retener la proteína (Badui. S., 2006), en la **tabla II-3** se muestra la CRA de varias proteínas extraídas de las respectivas harinas donde se ve claramente que la quinua tiene una similar CRA que la soya y superior al trigo y maíz que son de mayor consumo. **(Badui. S., 2006).**

### **2.10. Harina de maíz**

La harina de maíz es un alimento que contienen 8,29 gramos de proteínas, 66,30 gramos de carbohidratos, 2,82 gramos de grasa por cada 100 gramos y no contiene azúcar, aportando 343 calorías a la dieta. Entre sus nutrientes también se encuentran las vitaminas B<sub>7</sub>, A, B<sub>9</sub> y K. Lo más destacable de la harina de maíz frente a otras es que no contiene gluten.

La harina de maíz tiene un gran aporte calórico e hidratos de carbono complejos, lo que la hace perfecta para deportistas o personas que necesiten un extra de energía.

También es muy rica en aminoácidos, ácidos grasos esenciales (linoleico) y minerales, entre los que destacan, además del calcio y el potasio, el fósforo, zinc y magnesio. **(Badui. S., 2006).**

#### **2.10.1. Propiedades nutricionales de la harina de maíz**

La harina de maíz es un alimento sin colesterol y, por lo tanto, su consumo ayuda a mantener bajo el colesterol, lo cual es beneficioso para nuestro sistema circulatorio y nuestro corazón.

La harina de maíz, al no tener purinas es un alimento que pueden consumir sin problemas aquellas personas que tengan un nivel alto de ácido úrico. Por este motivo, consumir alimentos bajos en purinas como la harina de maíz, ayuda a evitar ataques en pacientes de gota.

A continuación, se muestra en la **tabla II-4** el resumen de los principales nutrientes de la harina de maíz. En ellas se incluyen sus principales nutrientes, así como como la proporción de cada uno.

**Tabla II-4:** Nutrientes de la harina de maíz

Composición	Unidad	Cantidad por cada 100g
Calorías	kcal	343,00
Grasa	g	2,82
Colesterol	mg	0,00
Sodio	mg	0,70
Carbohidratos	g	66,30
Azúcares	g	9,42
Proteínas	g	8,29

**Fuente:** Alimentos.organicos.org, 2021

### 2.10.2. Beneficios de la harina de maíz

Las vitaminas A, C y E, así como el zinc y la beta-criptoxantina tienen efecto antioxidante, que ayuda a conservar la **salud de los tejidos** y combate tanto el estrés oxidativo como los radicales libres (moléculas responsables del envejecimiento y ciertas patologías).

La fibra, además de facilitar el **tránsito intestinal**, puede ayudarnos a prevenir otros problemas digestivos y controlar el nivel de colesterol malo.

El calcio y el fósforo ayudan a fortalecer el **sistema óseo** y dental. El calcio refuerza además las uñas y la estructura que forma el cabello e interviene en la tonificación y elasticidad de los músculos. El fósforo, por su parte, también beneficia a los riñones y participa en la regeneración celular. (**Ecoblog-harina de maíz 2016**).

La abundancia de yodo que se puede encontrar en este alimento, es beneficiosa para nuestro metabolismo, regulando nuestro nivel de energía y el correcto funcionamiento de las células. Además, el yodo de la harina de maíz, ayuda a cuidarnos por dentro, regulando nuestro colesterol. Al ser un alimento rico en yodo, también ayuda a procesar los hidratos de carbono, fortalecer el cabello, la piel y las uñas.

### **2.11. Concentrados proteicos**

Los concentrados proteicos vegetales resultan de un enriquecimiento del material en su contenido proteínico, mediante una separación paulatina de sus componentes no proteínicos (Lípidos, fibra, carbohidratos, minerales, etc.), de tal manera que sus propiedades nutricionales no se modifiquen ni se pierdan. El proceso de concentrado proteico implica una serie de tratamientos, que aprovechando las propiedades fisicoquímicas de los solventes de extracción (solubilidad, polaridad, fuerza iónica, pH isoeléctrico), permiten separar la proteína. **(Linden y Lorient (1994)).**

### **2.12. Aislado de la proteína**

Es el producto más refinado, contiene aproximadamente 90% de proteína sobre una base libre de humedad. Se elabora a partir de harina desgrasada en la que se elimina la mayor parte de sus componentes no-proteicos, grasas y carbohidratos; debido a esto tiene un sabor neutral. En la elaboración de aislados proteicos se emplean materias primas con bajo nivel de grasa para evitar interferencias que disminuyan el grado de extracción, de tal forma que la harina de cereales presenta 45,0% proteína, 16,5% grasa y 3,0% alcaolide; se elimina la mayor parte de grasa y constituyentes no proteicos solubles para la obtención del aislado o concentrado proteico. La obtención de concentrados proteicos a partir de la harina desengrasada de cereales tiene como objetivo eliminar la mayor cantidad de compuestos solubles no proteicos presentes en la harina; con el cual se obtendrá un producto rico en azúcares insolubles y proteínas. **(Liu, K. 1999).**

### **2.13. Harina desgrasada**

El carácter heterogéneo de la harina genera interacciones entre la fracción proteica y los distintos componentes de la harina, los cuales pueden afectar tanto a la carga neta como a la hidrofobicidad del conjunto proteico influyendo directamente en la solubilidad. A su vez, sin restar importancia, debe tomarse en cuenta que el método de desengrasado puede

afectar a la configuración y estructura fisicoquímica de las proteínas dando como resultado una solubilidad proteica deficiente. Quienes observaron que, a pH cercanos al punto isoeléctrico, el porcentaje de solubilidad en las harinas y los aislados es menor, mientras que a pH básicos la solubilidad aumenta (Marccone & Kakuda, 1999; Aluko & Monu, 2003; Vázquez-Ovando et al., 2013). Sin embargo, debe mencionarse que este aumento de solubilidad no asegura una mejora global de las propiedades funcionales debido probablemente al pequeño tamaño de los péptidos, los cuales no permiten estabilizar interfaces aire/agua (propiedad espumante) o aceite/agua (propiedades emulsificantes).

En lo que respecta a los aislados proteicos, los cuales tienen una concentración proteica cercana al 90%, presentaron valores superiores en la mayoría de las propiedades funcionales respecto a la harina desengrasada. Es probable que a medida que se eleva el pH de extracción, se produzcan mayores modificaciones en cuanto a la carga neta, la hidrofobicidad o incluso cambios conformacionales de las proteínas extraídas que incidan en el empeoramiento de las propiedades funcionales. (Gonzales Luna Vol.3 (2018).

**Tabla II-5:** Caracterización fisicoquímica de la harina desengrasada, aislado e hidrolizado proteico

Análisis (%)	A. hypochondriacus			C. Quinoa			S. Hispánica		
	HD	AP	HP	HD	AP	HP	HD	AP	HP
Humedad	9,19 ± 0,09	2,34 ± 0,04	1,94 ± 0,04	9,82 ± 0,02	4,06 ± 0,04	4,77 ± 0,03	1,32 ± 0,03	3,90 ± 0,08	3,95 ± 0,01
Grasa	0,25 ± 0,03	0,01 ± 0,00	9,20 ± 0,00	3,00 ± 0,14	1,09 ± 0,00	9,50 ± 0,00	5,10 ± 0,15	4,10 ± 0,01	6,30 ± 0,00
Fibra	11,95 ± 0,02	3,97 ± 0,07	4,36 ± 0,55	7,13 ± 0,19	10,68 ± 0,19	3,89 ± 0,06	49,39 ± 0,46	11,54 ± 0,01	10,68 ± 0,40
Cenizas	8,64 ± 0,45	2,09 ± 0,18	2,12 ± 0,07	5,11 ± 0,10	5,79 ± 0,09	7,69 ± 0,27	7,22 ± 0,08	2,91 ± 0,03	3,64 ± 0,06
Proteínas	15,02 ± 0,19	89,25 ± 0,92	81,38 ± 0,56	18,64 ± 0,17	71,50 ± 0,79	72,13 ± 0,44	31,76 ± 0,09	75,58 ± 0,02	73,31 ± 0,09
Azúcares solubles	1,66 ± 0,00	0,52 ± 0,00	0,27 ± 0,00	1,28 ± 0,00	3,18 ± 0,00	0,83 ± 0,00	5,12 ± 0,05	1,92 ± 0,03	1,11 ± 0,00
Polifenoles	0,009 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,16 ± 0,00	0,04 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,13 ± 0,00
*Otros	53,28 ± 0,00	1,81 ± 0,00	0,69 ± 0,00	54,99 ± 0,00	3,69 ± 0,00	1,85 ± 0,00	0,05 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,88 ± 0,00

**Fuente:** González-Luna et al./ Vol. 3 (2018) 2021

HD: Harina desengrasada; AP: Aislado proteico; HP: Hidrolizado proteico;  
 \*Otros: Principalmente almidón y pectinas. Los resultados están expresados como la media  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes.

**Tabla II-6:** Propiedades tecno funcionales de la harina desengrasada, aislado e hidrolizado proteico

Análisis %	A. hypochondriacus			C. Quinua			S. Hispánica		
	HD	AP	HP	HD	AP	HP	HD	AP	HP
CAA (%)	220 $\pm$ 0,00	333,33 $\pm$ 17,78	NA	240,00 $\pm$ 22,22	613,33 $\pm$ 22,22	NA	NA	500,00 $\pm$ 26,67	NA
CAG (%)	162,83 $\pm$ 0,53	162,83 $\pm$ 6,94	207,01 $\pm$ 3,32	162,71 $\pm$ 9,88	120,72 $\pm$ 3,96	210,03 $\pm$ 9,12	252,47 $\pm$ 5,10	114,41 $\pm$ 4,18	330,27 $\pm$ 16,60
Aem (%)	0,00 $\pm$ 0,00	90,00 $\pm$ 3,33	86,67 $\pm$ 1,11	0,00 $\pm$ 0,00	90,00 $\pm$ 0,00	89,17 $\pm$ 4,44	0,00 $\pm$ 0,00	87,50 $\pm$ 1,67	75,00 $\pm$ 0,00
Eem (%)	-	85,00 $\pm$ 0,00	40,00 $\pm$ 0,00	-	30,00 $\pm$ 0,00	90,00 $\pm$ 0,00	-	90,00 $\pm$ 0,00	50,00 $\pm$ 0,00
CH (mL/gr)	5,00 $\pm$ 0,00	3,67 $\pm$ 0,44	NA	4,00 $\pm$ 0,00	2,00 $\pm$ 0,00	NA	NA	2,00 $\pm$ 0,00	NA
CG	++	P	NA	+++	P	NA	++++	P	NA
Aes (%)	0,00 $\pm$ 0,00	21,75 $\pm$ 0,89	43,46 $\pm$ 1,11	0,00 $\pm$ 0,00	56,50 $\pm$ 0,44	43,46 $\pm$ 1,11	0,00 $\pm$ 0,00	21,74 $\pm$ 0,89	43,46 $\pm$ 1,33
EES (%)	-	-	60,00 $\pm$ 0,67	-	76,92 $\pm$ 0,44	40,00 $\pm$ 1,11	-	0,00 $\pm$ 0,00	60,00 $\pm$ 0,67

**Fuente:** González-Luna et al./ Vol. 3 (2018), 2021

CAA: Capacidad de absorción de agua; CAG: Capacidad de absorción de grasa; AEm: Actividad Emulsificante; EEm: Estabilidad Emulsificante; AEs: Actividad espumante; EEs: Estabilidad espumante; CH: Capacidad Hinchamiento; CG: Capacidad gelificante; HD: Harina desengrasada; AP: Aislado proteico; HP: Hidrolizado proteico; NA: No aplica; P; Precipitado.

Promedios con letras distintas: diferencia estadística significativa a la prueba de t de Toker-Kramer ( $p < 0,05$ ). Los resultados están expresados como la media  $\pm$  la desviación estándar de tres experimentos independientes.

#### 2.14. Aplicaciones del aislado de proteína de harina desengrasada de cereales

El aislado es una fuente rica en proteínas vegetales además de contar con gran cantidad de aminoácidos esenciales que representan beneficios importantes para la salud, como la de

reducir los niveles de colesterol en la sangre ya que contiene isoflavonas (compuestos que previenen enfermedades del corazón tanto en hombres como en mujeres, previene la osteoporosis, entre otros); por lo tanto, se emplea en las dietas como ingrediente o como producto principal puesto que aporta distintas propiedades funcionales y un alto valor nutricional dado que contiene un 90% de proteína en su composición. **(Ridner, E. 2006).**

En panificación se utiliza el aislado de proteína de harina desengrasada ya que incrementa el rendimiento de la masa y mejora sus características de manipulación, porque las proteínas tienen la capacidad de absorber y retener agua.

Es así como el aislado proteico se muestra como un ingrediente versátil, para el cual se han encontrado aplicaciones también en quesos frescos, semi-análogos y análogos, bebidas proteicas, yogurt, postres helados, polvos lácteos, reemplazantes lácteos, sopas, cereales para desayuno, pastas, etc. **(Torres, N. 2009).**

### **2.15. Teoría de extracción**

La extracción se define como la transferencia de una sustancia de una fase a otra, es la técnica empleada para la separación de uno o más componentes de una mezcla por medio de un disolvente (Coulson, J. y Richardson, J. 2009). En la práctica es muy utilizada para separar compuestos orgánicos de las soluciones o suspensiones acuosas en las que se encuentran (Fernández, G. 2012). Aunque también se utilizan técnicas de extracción sólido-líquido que se aplica solamente a las operaciones en que existen dos fases una fase sólida y otra líquida, ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido hasta la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales de sólido (Coulson, J. y Richardson, J. 2009). La extracción tiene lugar en dos etapas **(Coulson, J. y Richardson, J. 2009)**:

- Contacto del disolvente o solvente con el sólido a tratar, que sede el constituyente soluble (soluto) al disolvente.
- Lavado o separación de la disolución y el resto del sólido.

La más frecuente es la extracción líquido-líquido, que es un método muy útil para separar componentes de una mezcla o suspensión, la extracción del producto de reacción deseado a partir de una mezcla acuosa se puede conseguir añadiendo un disolvente orgánico

adecuado, más o menos denso que el agua, que sea inmisible con el agua y capaz de solubilizar la máxima cantidad de producto a extraer, pero no las impurezas que lo acompañan en la mezcla de reacción (Fernández, G. 2012). En otras ocasiones, el compuesto orgánico que interesa se puede separar de la mezcla de reacción aprovechando sus propiedades ácido-base, la extracción ácido-base en este caso los compuestos orgánicos con carácter ácido o básico que están disueltos en un disolvente orgánico, pueden llevarse a una fase acuosa simplemente aprovechando sus propiedades ácido/base. Las sales que se forman en estas extracciones son solubles en agua e insolubles en disolvente orgánico, al contrario que el resto de compuestos orgánicos de la mezcla inicial (Fernández, G. 2012). Si la reacción se ha efectuado en agua, hay que recuperar el producto contenido en la disolución acuosa, utilizando un disolvente inmisible con ella (**Fernández, G. 2012**).

### **2.15.1. Extracción y purificación de proteínas**

Actualmente, debido al incremento de la demanda proteínica en el mundo y la importancia en la nutrición, para la población en general. Es de gran interés en la dieta, las proteínas vegetales (leguminosas, pseudocereales, cereales, algas y hojas), pues son una nueva alternativa, en este contexto las proteínas aisladas de los vegetales están ganando importancia en la industria alimenticia a causa de su alto contenido proteínico. La moderna tecnología de alimentos permite una utilización más eficaz de las proteínas vegetales, mediante la elaboración de extractos proteicos de mayor calidad, además del adecuado control de las propiedades hace su utilización cada vez más frecuente en la formulación de alimentos nuevos, (**Callisaya y Alvarado, 2009**).

Los fines perseguidos cuando se extraen las proteínas son: nutricional, funcional, organoléptico, económico, es decir:

- Mejorar el valor nutricional y el perfil aminoacídico. Algunas de las fuentes de proteína aportan perfiles de aminoácidos muy completos (con elevado contenido en aminoácidos esenciales)
- Mejorar las características organolépticas resulta de la eliminación durante la extracción de pigmentos y aromas.

- Mejorar las propiedades funcionales, las cuales resultan del enriquecimiento proteico y de los cambios de las condiciones del medio por eliminación de ciertos constituyentes indeseables.
- Valorar las producciones alimenticias tradicionales, dándoles una mejor utilización de los recursos que se tiene.

De una manera general, y dependiendo de los métodos utilizados en su extracción, como en su posterior aplicación y niveles de pureza, los extractos proteicos pueden ser agrupados en concentrados proteicos y aislados proteicos.

### **2.16. Métodos de análisis**

Método de Kjeldahl para la determinación de Nitrógeno total es el más utilizado, e incluso se toma como referencia cuando se usan otras técnicas. El método no hace distinción entre el nitrógeno que proviene de proteínas (de grupos amino y amida) y el no proteínico (urea, aminoácidos), lo que da lugar a errores en cálculo. El método consiste en la digestión de la muestra con  $H_2SO_4$  y la formación de  $NH_4OH$  que es recibido en ácido para ser titulado con una base fuerte de concentración conocida. Los compuestos nitrogenados no proteínicos que causan una sobreestimación de la técnica son: glutatión, carnitina, carnosina, dopamina, urea, ornitina, colina y ácido aminobutírico. Deben aplicarse factores de conversión de nitrógeno a proteína, que son específicos para los distintos tipos de proteínas. Se calculan al dividir 100 entre el porcentaje de nitrógeno particular de la proteína en cuestión. El factor que se aplica sin discriminación es 6,25 resultante de una generalización del contenido de N de las proteínas de 16%, el 16% del peso de una proteína es nitrógeno. Si se divide  $100/16$ , se obtiene el factor 6,25 utilizado para convertir gramos de nitrógeno a gramos de proteína. Sin embargo, en términos estrictos debe calcularse el factor para cada proteína. Por ejemplo, en el caso de la leche el factor es 6,38. Para algunas oleaginosas como el ajonjolí es de 5,83. El nitrógeno no proteínico puede ser analizado después de precipitar la proteína con ácido tricloroacético, con la desventaja de que pueden quedar en solución péptidos solubles, aproximadamente de 12 a 16 aminoácidos, que no se detectarían. Las desventajas del método son las siguientes: puede haber pérdidas de

nitrógeno debido a la temperatura de digestión y al tipo de catalizador utilizado. se diferencia el nitrógeno no-proteínico medido junto con el proteínico. El proceso es largo y se utilizan reactivos y condiciones un tanto peligrosas. **(Badui 2006).**

## **2.17. Métodos de extracción de aislados proteicos**

### **2.17.1 Extracción alcalina**

Es el método tradicional y más utilizado para extraer proteínas de las semillas. Este procedimiento de extracción de proteínas se realiza a partir de harina de semilla desgrasada y consiste principalmente en la solubilización de proteínas en álcali diluido seguido de su precipitación isoeléctrica en ácido diluido **(López, Galante, Robson, Boeris, & Spelzini, 2018).**

Otros estudios encontraron que las proteínas de amaranto se solubilizaron a pH 9 u 11 a partir de harina desgrasada, y luego se precipitaron a pH 5. Los aislamientos obtenidos a pH 11 fueron menos solubles que los obtenidos a pH 9 **(Avanza & Añón, 2007).**

Houde y cols. (2018) realizaron la extracción alcalina convencional de la proteína de cebada a pH 11 y posteriormente la precipitación acida se realizó a pH 4,5. Alcanzaron un rendimiento de recuperación del concentrado del 51,4% con un contenido de proteínas del 68,9% **(Houde, Khodaei, Benkerroum, & Karboune, 2018)**

### **2.17.2 Extracción enzimática**

Para realizar la extracción enzimática Kurek y cols. (2018) utilizaron harina de amaranto y semilla entera, mezclando suavemente 10 g de este con 80 ml de tampón fosfato (20 mM, pH 6,8), luego se introdujo en la suspensión al 1% de Termamyl SC. La incubación a 75 °C se realizó en un baño de agua con agitación hasta la prueba negativa de yodo. Luego, la suspensión se enfrió a 60 °C y se ajustó a pH 7,5. Se añadieron 200 µl de proteasa a la suspensión para digerir la proteína y se dejó durante 30 minutos en un baño de agua con agitación. La suspensión se centrifugó, el sedimento se secó al vacío. Obteniendo como rendimiento de extracción 41,77% para la harina de amaranto y 42,22% para la semilla entera **(Kurek, Karp, Wyrwicz, & Niu, 2018).**

### **2.17.3 Extracción por micelización**

Cordero y cols. (2005) realizaron un estudio comparativo donde se ha aplicado la extracción por micelización para el amaranto. Las proteínas se extrajeron de la muestra desgrasada con NaCl 0,8 M a pH 7, durante 2 h a 35°C. Después de la centrifugación, el sobrenadante se concentró por ultrafiltración, y luego se diluyó 1:12 con agua destilada. El concentrado se agitó durante 2 h a 25 °C. Las proteínas se recuperaron por centrifugación y luego se liofilizaron. Por otro lado, la precipitación isoeléctrica se realizó a partir de una suspensión de harina desgrasada de amaranto en agua, a pH 9. Después de agitar a 25 °C durante 2 h, la suspensión se centrifugó a 4 °C, y el sobrenadante se precipitó a pH 4,5. El precipitado se resuspendió en agua, se ajustó a pH 7 y se liofilizó. Los autores concluyeron que el aislamiento de proteínas por esta metodología de micelización condujo a un contenido y rendimientos más bajos de proteínas, siendo menos solubles que los obtenidos por precipitación isoeléctrica. Sin embargo, se ha resaltado una menor desnaturalización de las proteínas como una ventaja del procedimiento de micelización (**Cordero, Osuna, Borodanenko, & Paredes, 2005**).

### **2.17.4 Extracción asistida por ultrasonido (EAU)**

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es otra técnica ampliamente utilizada, y es relativamente fácil de usar, versátil y requiere una inversión baja en comparación con otras técnicas de extracción. Los fenómenos de cavitación acústica producidos por los efectos de la radiación de ultrasonidos y la mezcla mecánica son los principales mecanismos en la EAU. La cavitación implica mecanismos independientes o combinados entre fragmentación, erosión, capilaridad, detexturación y sonoporación. Todos estos procesos causan disrupción celular, alta penetración de disolventes y reducción del tamaño de partícula, aumentando la eficiencia de extracción y reduciendo el tiempo de extracción (Peña & Tobiszewski, 2017). Los efectos físicos del ultrasonido están asociados con frecuencias más bajas (20–100 kHz), mientras que los efectos químicos dominan las frecuencias más altas (200–500 kHz) (**Tiwari, 2015**).

## **2.18. Evaluación de las propiedades funcionales**

En la industria alimentaria son muy utilizados los procesos para producir concentrados y aislados de proteína de alta calidad, los resultados de las investigaciones son de bastante

utilidad para comprender mejor algunas de las operaciones tradicionales del procesamiento de los alimentos que dependen de las propiedades funcionales de las proteínas, las cuales están sujetas a la solubilidad, capacidad de gelatinización, capacidad emulsificante entre otros. (Shemer Michael, 1980).

### **2.18.1. Solubilidad**

Una propiedad importante de la proteína es la solubilidad, la cual permite predecir sus potencialidades funcionales en la formulación de dietas alimenticias. Los productos proteínicos de origen vegetal como son los concentrados y aislados proteicos para poder tener una gran aplicación en los sistemas alimenticios, tienen que ser altamente solubles a pHs cercanos a 7. La solubilidad de la proteína depende del pH, fuerza iónica, temperatura, cationes divalentes y la composición de aminoácidos de la proteína. (Girault, L. *Chenopodium La Paz, Bolivia, 1987; pp 173-174.*)

**2.18.2. Capacidad gelificante:** corresponde a la formación de una estructura proteína agua que permite retener a ésta última en el tiempo.

**2.18.3. Capacidad emulsificante:** se refiere a la capacidad que tiene una proteína para permitir que el agua se junte con el aceite y no se despeguen.

### **2.19. Factores que afectan la solubilidad de la proteína**

Los factores que afectan la solubilidad de las proteínas son:

- a) **Efecto del pH.** - Debido a la naturaleza anfoterica, la solubilidad de las proteínas está muy influenciada por el pH, ésta es mínima en su punto isoeléctrico (PI) que depende principalmente de la estructura de la proteína, dependiendo del pH del sistema, estos polímeros pueden actuar como cationes o como aniones, lo que repercute en el aumento de la solubilidad y estabilidad. En general, a valores de pH diferentes del punto isoeléctrico habrá un aumento significativo en la solubilidad de las proteínas, pero que la fuerza iónica, el tipo de solvente, la temperatura y otros jugaran también un papel importante. (Riedel, M. 2008).
- b) **Fuerza iónica.** - Las sales tienen una influencia en la solubilidad de las proteínas globulares y su efecto no solo depende de su concentración sino también de las cargas eléctricas de sus cationes y aniones, esto se debe principalmente a que las proteínas al

ser macromoléculas ionizables se ven alteradas por las interacciones electroestáticas que establecen consigo mismas y el medio que las rodea. Así se ve que a bajas concentraciones salinas aumenta la solubilidad de las proteínas, al contrario, a concentraciones salinas altas disminuye la solubilidad. (**Química de los alimentos” p.568**).

- c) **Efecto de la temperatura.** - Las proteínas aumentan su solubilidad con el aumento de la temperatura en el rango de 10 a 50 °C, alcanzando su máximo alrededor de los 45 °C; cuando se exceden estos límites, los polímeros tienden a desnaturalizarse y en ocasiones a precipitar. (**Riedel, M. 2008**).
- d) **Efecto de los disolventes.** - La adición de disolventes orgánicos a las soluciones de proteínas causa un cambio en la constante dieléctrica del sistema que influye de manera muy marcada en la estabilidad y la solubilidad de estos polímeros.

## **2.20. Condición óptima para aislar proteínas**

Las condiciones más favorables para aislar las proteínas a partir de harina desgrasada, donde los resultados obtenidos se resumen en (**Calisaya, J. y Alvarado, J. 2009**).

- La solubilización alcalina con sulfito de sodio 0,5% (p/p) entre un rango de pH 8,0-8.9; durante 60 minutos a temperatura ambiente y agitación continua.
- El número de extracciones aconsejable es de dos extracciones.
- Precipitación ácida es recomendable en un rango de pH 4,5-5,3” porque a un pH por debajo de 4,0 la apariencia física de la proteína cambia considerablemente precipitando en forma de agregados o grumos”, con un tiempo de reposo de 15 a 20 minutos a temperatura ambiente.
- Secado en una estufa a una temperatura de 30-35°C con un tiempo de secado de 13 horas.

## **2.21. Métodos de secado**

El secado es un método de conservación de alimentos consistente en extraer el agua de éstos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción. El secado de alimentos mediante el sol y el viento para evitar su deterioro ha sido practicado desde la antigüedad. El agua suele eliminarse por evaporación (secado al aire, al sol,

ahumado o al viento) pero, en el caso de la liofilización, los alimentos se congelan en primer lugar y luego se elimina el agua por sublimación. (Chávez, G. 2009).

El método escogido depende del tipo de alimento que se va a deshidratar, el nivel de calidad que se puede alcanzar y el costo que se puede justificar.

Según los autores Robles, M. y Mora, R. (2007), Munive, P. (2009) y Calisaya, J. y Alvarado, J. (2009), de los procesos de obtención de aislados proteínicos los métodos para secar proteínas son los siguientes:

➤ **Secado por atomización**

Es la transformación de una materia en estado líquido al estado sólido por atomización en un medio de aire caliente. Se realiza en una sola operación continua. La materia puede tener la forma de una solución, una suspensión o una pasta. El producto seco es un polvo que está compuesto de partículas o aglomerados, dependiendo todo de las propiedades físicas y químicas del producto de entrada y del diseño y operación del secador. (Mondragón, R. 2008).

➤ **Secado por liofilización**

La liofilización o deshidrocongelación es un proceso en el que se congela el producto y posteriormente se introduce en una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación. De esta manera se elimina el agua desde el estado sólido al gaseoso del ambiente sin pasar por el estado líquido. (Mondragón, R. 2008).

➤ **Secado por estufa**

Es uno de los métodos que también se utiliza para secar proteínas aisladas las cuales son llevadas en cajas Petri (previamente pesadas) y son sometidas al proceso de secado en una estufa con convección de aire (Calisaya y Alvarado, 2009). El secado por vaporización o convección, se realiza pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire (Mondragón, R. 2008).

## **2.22. Generalidades de las curvas de secado**

Un proceso de secado es usualmente descrito por diagramas construidos con las siguientes coordenadas (Dávila, C. 2009).

- Contenido de humedad del material contra tiempo de secado (curva de secado).
- Velocidad de secado contra contenido de humedad del material (curva de velocidad del secado).
- Temperatura del material contra contenido de humedad (curva de temperatura).

Para construir las curvas de secado los datos tabulados tiempo y la masa del alimento húmedos obtenidos experimentalmente se transforman en datos de tiempo y humedad en base seca. Para ello se usa la ecuación (II-1), según Dávila, C. (2009).

$$H_{bs}(t) = \frac{m_t - m_{ss}}{m_{ss}} \quad \text{Ecuación II-1}$$

**Donde:**

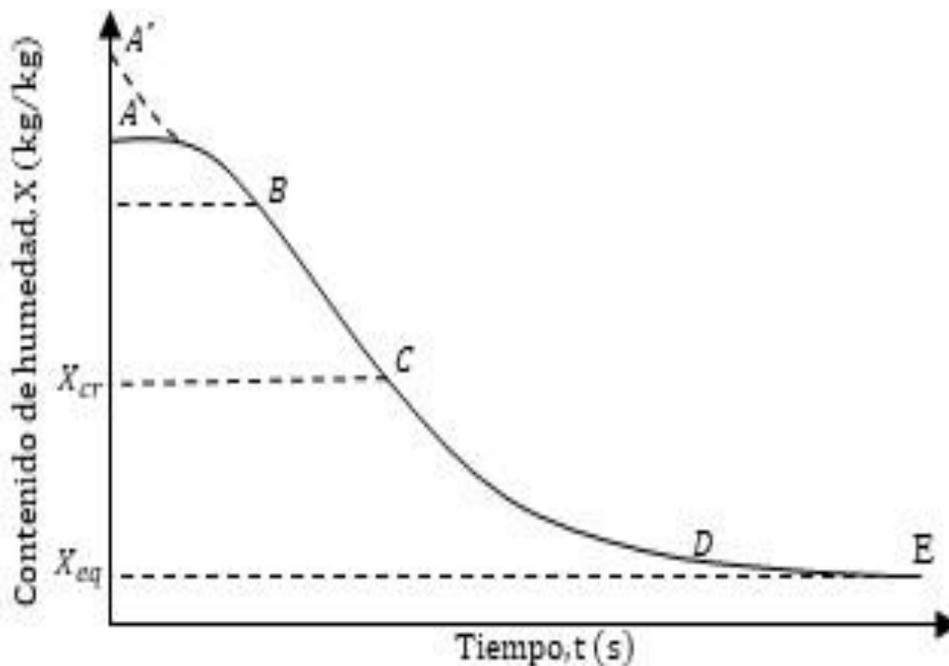
$m(t)$  = Masa del alimento húmedo para cada tiempo (kg sólido húmedo)

$m_{ss}$  = Masa del sólido seco (kg sólido seco)

$H_{bs}(t)$  = Humedad base seca al tiempo  $t$  (kg agua/ kg sólido seco).

### 2.22.1 Curva de Secado

**Figura II-4:** Contenido de humedad en función del tiempo

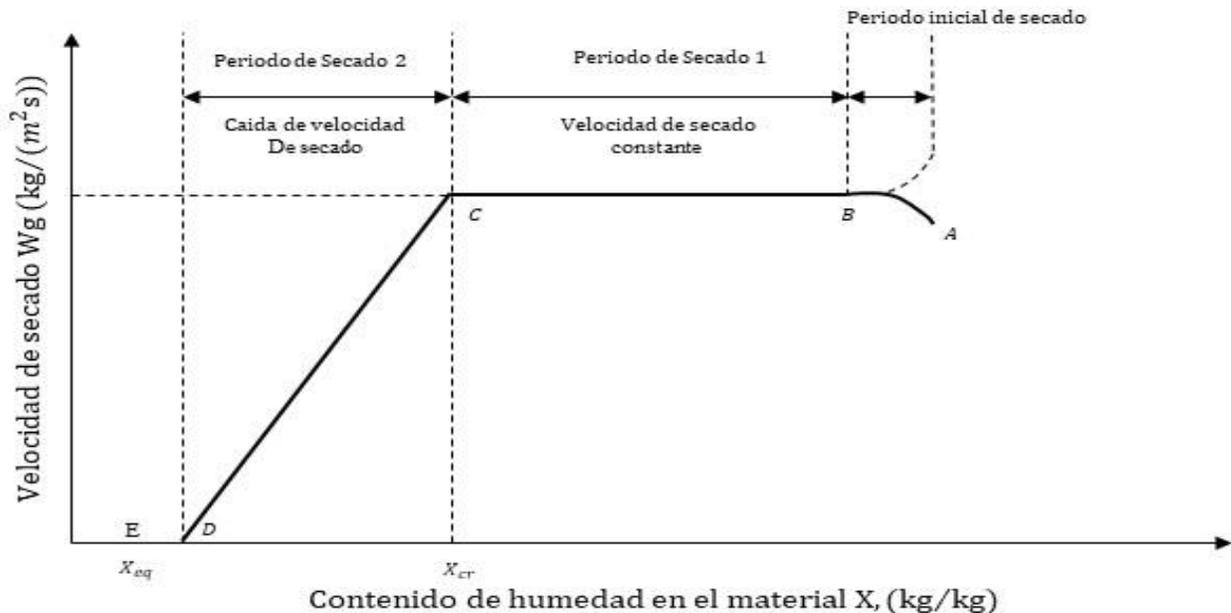


**Fuente:** Dávila, C. 2009.

**Figura II-4** representa el caso general en que los sólidos húmedos pierden humedad, primero por evaporación desde la superficie saturada que tiene un área que gradualmente va disminuyendo, y por último cuando el agua del interior del sólido evapora.

Resaltando cada punto de la Figura II-4 se ilustra el contenido de humedad del material a través del tiempo en el proceso de secado. En el periodo inicial de secado, el cambio de humedad en el material está ilustrado en la curva A-B. Al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal del tipo  $X=f(t)$ , en este periodo la velocidad de secado es constante (recta B-C). El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega a un punto crítico (Punto C) donde la línea recta tiende a curvarse y a formar una asíntota con el contenido de humedad  $X_{eq}$  donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado esto quiere decir que el punto E jamás es tocado (Dávila, C. 2009). La recta (B-C) es llamado el periodo de velocidad de secado constante, y al siguiente periodo de secado se conoce como el periodo de caída de velocidad del secado (Dávila, C. 2009).

**Figura II-5:** Velocidad de secado en función del contenido de humedad



**Fuente:** Dávila, C. 2009.

La curva de velocidad de secado mostrado en la **Figura II-5** demuestra que el secado no es un proceso suave y continuo en el cual existe un solo mecanismo que ejerza el control a lo largo de toda su duración (Perry, R. y Green, D. 1996).

### 2.22.2. Descripción de las curvas de secado.

Las curvas anteriores representan el proceso de secado a condiciones constantes. Empezando en el tiempo cero el contenido inicial 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; por el contrario, cuando el alimento está a una temperatura más elevada A, la velocidad de evaporación disminuye hasta llegar al punto B, en el cual, la temperatura de superficie alcanza su valor de equilibrio. Este periodo inicial de ajuste en estado estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado (Geankoplis, C. 1998; Treybal, R. 2001). La resta entre el punto B-C tiene una pendiente y velocidad constante. Durante este periodo, la superficie del sólido está muy húmeda al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua, es agua libre y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Si el sólido es poroso, la mayor parte de agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior (Geankoplis, C. 1998).

Este periodo continuo mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora (Geankoplis, C. 1998).

**Los periodos de velocidad decreciente inician en el punto crítico de humedad C**, al concluir los periodos de velocidad constante. En este punto no hay suficiente agua en la superficie ya no está totalmente húmeda, y la porción húmeda comienza a disminuir durante **el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad, punto D**. aquí, el plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire. Es posible que la cantidad de humedad que se elimine durante este periodo sea bastante pequeña, pero, aun así, el tiempo requerido puede ser largo (Geankoplis, C. 1998).

### 2.23. Contenido de humedad de un producto

El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, es decir, la masa de agua por unidad de masa de producto húmedo. Otra manera de expresar

el contenido de humedad es en base al peso seco, es decir la masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos desecados (Torres, G. 2012).

➤ **Contenido de humedad en base húmeda**

Es el cociente entre la masa de agua dentro del material y su masa total como se muestra en la ecuación (II-2), según Martínez, E. y Lira, L. (2010).

$$H_{bh} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{kg de agua} + \text{kg de solido seco}} \quad \text{Ecuación II-2}$$

Donde contenido de humedad  $H_{bh}$  según (Martínez, E. y Lira, L. 2010), se expresa Mediante la ecuación (II-3).

$$H_{bh} = \frac{m_{H_2O}}{m_h} = \frac{m_h - m_{ss}}{m_h} \quad \text{Ecuación II-3}$$

Dónde: la masa total ( $m_h$ ) del material es igual a la suma de su masa seca ( $m_{ss}$ ) y de su Masa de agua ( $m_{H_2O}$ ).

$$m_h = m_{ss} + m_{H_2O} \quad \text{Ecuación II-4}$$

➤ **Contenido de humedad en base seca:**

Es el contenido de humedad de un sólido húmedo referido a la masa seca del mismo Sólido (Martínez, E. y Lira, L. 2010).

$$H_{bs} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{kg de solido seco}}$$

El contenido de humedad  $H_{bs}$  se expresa mediante la siguiente ecuación matemática (II-5), según (Martínez, E. y Lira, L. 2010).

$$H_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{ss}} = \frac{m_h - m_{ss}}{m_{ss}} \quad \text{Ecuación II-5}$$

**Dónde:**

$m_h$  = Masa del sólido húmedo para cada tiempo (kg sólido húmedo)

$m_{ss}$  = Masa del sólido seco (kg sólido seco)

$H_{bs}$  = Humedad en base seca (kg agua/ kg sólido seco).

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Selección del método para la obtención de aislado proteico de harina de maíz

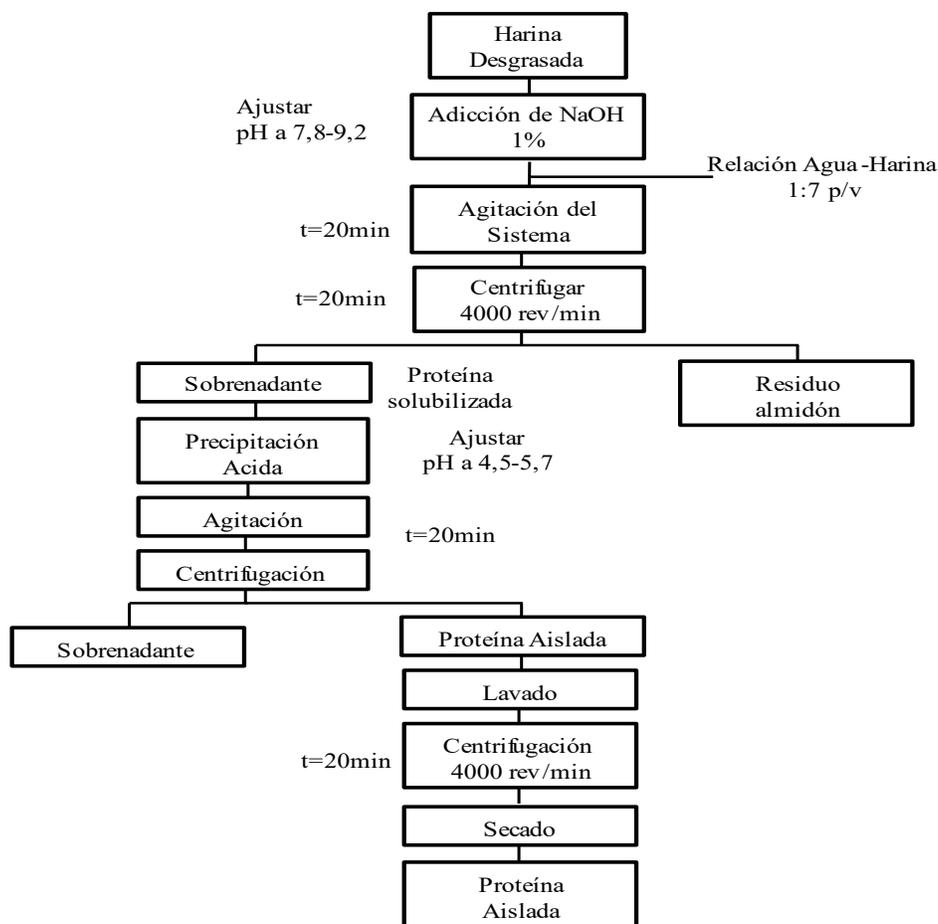
Robles, M. y Mora, R. (2007). En su investigación realizada para la obtención de aislado proteico a partir de harina de soya desgrasada, en cuanto a la selección del método, realizaron una comparación de dos métodos para la obtención del aislado.

### 3.2. Métodos de obtención de aislados proteicos a partir de harina desgrasada

El aislado de proteína de harina desgrasada de soya se puede obtener mediante los siguientes métodos:

#### 3.2.1 Método alcalino (Extracción básica y precipitación ácida).

**Diagrama III-1:** Obtención de aislado proteico por el método alcalino

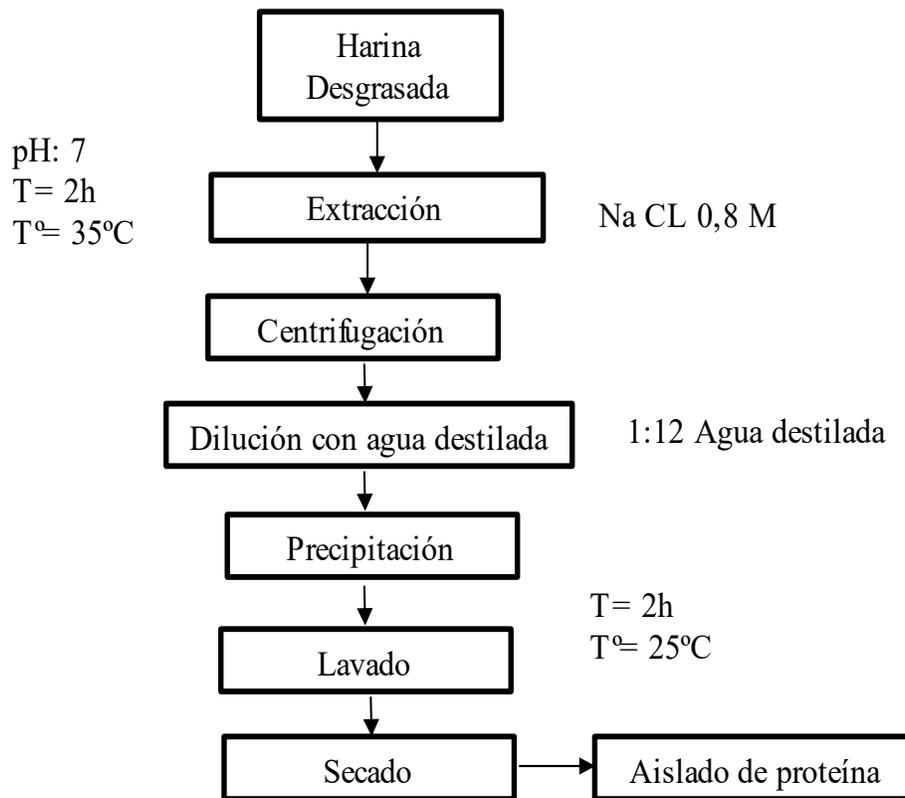


**Fuente:** (Salcedo, Osuna, Guevara, Domínguez, & Paredes, 2002).

El método alcalino descrito en el **diagrama III-1**, se ha aplicado en la extracción y aislamiento de las proteínas de amaranto y cebada. Así, Salcedo y cols. (2002) han llevado a cabo la optimización de la precipitación isoelectrica para obtener aislados de proteína (API). La extracción se realizó en el rango de pH de 7,8 a 9,2, mientras que la precipitación ácida se realizó en el rango de 4,5 a 5,7. La solubilización demostró ser óptima a pH 8 o 9,2, mientras que el mejor pH de precipitación fue 5,7 (**Salcedo, Osuna, Guevara, Domínguez, & Paredes, 2002**).

### 3.2.2 Método de extracción con cloruro de sodio y precipitación por micelización

**Diagrama III-2:** Obtención de aislados de proteína con cloruro de sodio y precipitación por micelización



**Fuente:** (López, Galante, Robson, Boeris, & Spelzini, 2018).

El método, conocido como micelización mostrado en el **diagrama III-2**, se basa en la capacidad de las proteínas para formar aglomerados con una estructura micelar. Esto tiene

lugar disminuyendo la fuerza iónica de la solución en la que se solubilizan. La extracción por micelización donde las proteínas se extrajeron de la muestra desgrasada con NaCl 0,8 M a pH 7, durante 2 h a 35°C. Después de la centrifugación, el sobrenadante se concentró por ultrafiltración, y luego se diluyó 1:12 con agua destilada. El concentrado se agitó durante 2 h a 25 °C. Las proteínas se recuperaron por centrifugación y luego se liofilizaron. (López, Galante, Robson, Boeris, & Spelzini, 2018).

### 3.3. Comparación de métodos de obtención de aislados proteicos

En la **tabla III-1**, se observa los resultados de la comparación de los 2 métodos realizado por (Robles, M. y Mora, R. 2007), donde se muestran el rendimiento y la pureza de los aislados de proteína de harina desgrasada de soya obtenidos por los dos diferentes métodos de extracción. El método más efectivo para la extracción de proteína fue el método alcalino (estándar) que consta de dos etapas, extracción básica y precipitación ácida con (58,32% de rendimiento y 90,09% de pureza, comparado con 35,09% de rendimiento y 85,90% de pureza con el método de extracción con NaCl y precipitación por micelización). El perfil de los aislados lavados con agua después de la precipitación isoelectrica no difirió del perfil del aislado no lavado.

**Tabla III-1:** Aislados de proteína obtenidos por diferentes métodos de extracción

Método			
Método alcalino (estándar)		extracción con NaCl y precipitación por Micelización	
R	P	R	P
%	%	%	%
58,32	90,90	35,09	85,90

**Fuente:** Robles, M. y Mora, R. 2007

Donde:

R: Rendimiento (% de recuperación de proteína)

P: Pureza (% de proteína en base seca)

Tomando en cuenta el rendimiento y la pureza de los aislados obtenidos; analizaron que con el método alcalino (extracción básica y precipitación ácida) se tiene mejor rendimiento y pureza del producto en comparación con el método de “extracción con NaCl y precipitación por micelización” que se tuvo un bajo rendimiento y la pureza relativamente baja.

### **3.4. Selección y justificación del Método de extracción del aislado proteico**

Para una buena selección del método que se empleará en el presente proyecto, se realizó investigaciones previas de otros autores ya descritas en el punto anterior, se realizó esa investigación con la finalidad de seleccionar el método más adecuado tanto en la parte técnica (materiales y equipos requeridos para la investigación) como en la parte experimental (un óptimo proceso de extracción), para así tener un buen resultado y que no exista ningún inconveniente que complique el desarrollo del proyecto. Por los motivos expuestos y de forma precedente el método seleccionado es: MÉTODO ALCALINO (EXTRACCIÓN BÁSICA Y PRECIPITACIÓN ÁCIDA), este es el método más adecuado ya que este cumple con todos los requerimientos técnicos disponibles como ser: materiales, reactivos y equipos de laboratorio, también se aclara que este método es el que mayor porcentaje de extracción y pureza presenta según teoría ya descrita.

El proceso adecuado para el secado de aislados de proteína de harina de maíz es por atomización o por liofilización, ya que mantiene todas sus características físicas, químicas y organolépticas, pero al no existir los equipos en nuestro medio, especificando dentro de las instalaciones de los laboratorios de la carrera de Ingeniería Química perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, el secado del aislado de proteína de harina de maíz amarillo criollo se realiza en una estufa de convección mecánica, equipo que si está habilitado para realizar el proyecto y se trabajara a una temperatura de 32°C; por último se procederá a moler las proteínas en un mortero de mazo, por lo cual la cantidad extraída de proteína aislada es muy pequeña para realizar en un molino, por lo cual no se procederá al tamizado correspondiente.

### **3.5. Metodología de la investigación**

A continuación, se detalla la metodología a emplear en el trabajo de investigación para la obtención de resultados experimentales.

### 3.5.1. Diseño experimental

El diseño experimental es una técnica estadística, que tiene como objetivo definir una serie de pruebas en las cuales existen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema. De tal manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios que se producen en la respuesta de salida. De tal modo que el investigador obtenga estimaciones con la mayor precisión posible. (Quiroga, M. 2011).

### 3.5.2. Tipo y diseño de la investigación

El método elegido para desarrollar el proyecto, es el método  $3^k$ . Modelo que considera  $k$  factores con tres niveles cada uno.

En la presente investigación para la obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo (*Zea mays*) mediante el método alcalino, se identificó 2 factores y 3 niveles cada factor. El número de niveles ya viene dado por el método empleado y solo se fijará los rangos de los niveles para el diseño factorial del proyecto. También se mencionará el porqué de la selección de los factores y el valor de los niveles.

### 3.5.3. Planteamiento de la hipótesis

Para llevar a cabo el diseño experimental se tomaron en cuenta las siguientes hipótesis

- Existe diferencia en cuanto a los niveles de variación en el pH de extracción en la etapa de la solubilización de la proteína
- Existe diferencia en cuanto a los niveles de variación en el pH de precipitación en la etapa de la precipitación isoelectrica de la proteína.
- Existe variación en la interacción entre ambos factores, pH de precipitación y pH de extracción. Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$  (95%)

### 3.5.4. Selección de los factores del diseño experimental

El mismo método a emplear denominado "método alcalino" el cual es usado ampliamente en la extracción y purificación de proteínas, indica que se pueden trabajar con los factores más influyentes en el proceso de extracción de aislados proteicos, los cuales son: **pH extracción y pH de precipitación**, como así lo mencionan **Robles, M. y Mora, R. (2007)**, en su investigación realizada para obtener el aislado proteico a partir de harina desgrasada

de soya, en torno a esta investigación se consideró estos factores para el diseño experimental mostradas en la **tabla III-2**, esto también se corroboró en pruebas preliminares para elegir el valor de los niveles del diseño experimental, que se explica en el punto siguiente, donde se hace la selección de los valores de los niveles.

### **3.5.5. Prueba preliminar para seleccionar los valores de los niveles del diseño**

Los valores de los parámetros seleccionados para la prueba preliminar son los siguientes:

- Materia prima 20 gramos de harina
- Relación harina agua 1;10 p/v
- pH de extracción 8-9
- pH de precipitación 4,5

Usando estos parámetros de operación se realizó la prueba preliminar aplicando la teoría descrita por **Salcedo, Osuna, Guevara, Domínguez, & Paredes, (2002)**, que aplicaron estos parámetros en la etapa de extracción del aislado proteico del amaranto y cebada, obteniendo buenos resultados en la extracción del producto. Al aplicar estos parámetros en las pruebas preliminares usando como materia prima la harina de maíz, se pudo observar que los pHs en la etapa de extracción no son efectivos en la materia prima empleada, ya que el resultado de la extracción del aislado proteico a esos rangos de pH, el concentrado proteico de la harina de maíz extraído es muy pobre y de mala calidad proteica, a pH 8 de extracción no se llegó a formar el precipitado, mientras que a pH 9 se observó una leve precipitación del aislado, el cual fue analizado para ver su contenido proteico, ver (**Anexo A.1.6 resultado de laboratorio**). Se llegó a la conclusión de que a pH por debajo de 9 no hay buena solubilización de la proteína en la harina de maíz y por tal motivo se procedió a usar rangos de pH mayores a 9 en los niveles del diseño.

### **3.5.6. Selección y justificación de los valores niveles del diseño**

La prueba preliminar ya expuesta se la realizó con la finalidad de tener una referencia experimental y según los resultados obtenidos se pudo identificar los valores más adecuados de pH para los niveles del diseño, por tal motivo primero se seleccionó un valor intermedio de pH en la etapa de extracción que es pH 11, este valor se lo seleccionó según el resultado de la prueba preliminar y estudios realizados en donde a ese valor de pH se

tiene una buena solubilización de la proteína, usando como materia prima la harina de maíz (**Revista colombiana de Química Vol. 19 N° 2 (1990), ver anexo H.** Y en base a esto se seleccionó los valores de los niveles restantes, cumpliendo la metodología  $3^k$ , donde los niveles están ordenados por: un nivel bajo, intermedio y alto, tal como se muestra en la **tabla III-2**. Por tal motivo los 3 valores seleccionados de los niveles del diseño en la etapa de extracción serán: pH 10 como nivel bajo, pH 11 como nivel intermedio y pH 12 como nivel alto. De igual manera se procedió a la selección de 3 valores de pH en la etapa de precipitación ácida, los cuales son: pH 3,5 como nivel bajo, pH 4,5 como nivel intermedio y pH 5,5 como nivel alto. La finalidad de este estudio es el de seleccionar cuál es el pH más óptimo en la etapa de extracción como también en la etapa de precipitación en el proceso de obtención del aislado proteico, los valores de los niveles del factor pH de precipitación también fueron seleccionados en base a las pruebas preliminares y teoría descrita por **Salcedo, Osuna, Guevara, Domínguez, & Paredes, (2002)**, que usaron diferentes rangos de pH para la precipitación descrito en el **acápito 3.2.1**

### 3.5.7. Diseño experimental del proyecto

En la **tabla III-2** se muestra el diseño experimental definitivo a emplear en el presente proyecto, donde se observa los 2 factores independientes como así también los 3 niveles seleccionados en cada factor. También en los siguientes puntos se detallan la combinación y ajuste de los factores con los niveles seleccionados para la realización de la obtención experimental del aislado proteico.

**Tabla III-2:** Diseño factorial del proyecto

<b>Factor</b>	<b>Nivel 1</b>	<b>Nivel 2</b>	<b>Nivel 3</b>
pH de precipitación	10	11	12
pH de extracción	3,5	4,5	5,5

**Fuente:** Elaboración propia 2022

Entonces:

- Diseño factorial  $3^2$
- Número de tratamientos =  $3^2=9$
- El diseño cuenta con 9 tratamientos y cada tratamiento se realizará con su respectiva réplica con la finalidad de obtener una estimación del error experimental, así como calcular una respuesta más precisa del efecto estudiado, en pocas palabras esto se lo realiza para comprobar la seguridad de los resultados del primer experimento y comprobar su viabilidad.

Donde: Número de tratamientos =  $3^2 = 9 \times 2 = 18$  tratamientos a realizar en el presente proyecto.

### 3.5.8. Identificación de factores independientes y dependientes

**Tabla III-3:** Factores independientes

Factor	Categoría	Indicador	Instrumento de medida
El pH de precipitación o ácido es una unidad de medida de acidez de una solución, específicamente mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada en la etapa de precipitación de las proteínas.	pH	pH ácido (3,5; 4,5; 5,5)	pH metro
El pH extracción o básico es una medida de alcalinidad que indica el punto de solubilidad de las proteínas.	pH	pH básico (10;11; 12)	pH metro

**Fuente:** Elaboración propia 2022

**Tabla III-4:** Variables dependientes

Variable	Categoría	Indicador	Técnica de medida
El rendimiento de extracción, la cantidad de aislado proteico obtenido sobre la cantidad de harina empleada	Rendimiento de extracción	porcentaje	Balanza
El porcentaje de proteína analizada por el método alcalino (básico-ácido)	Proteína en el aislado	porcentaje	Método kjeldahl

**Fuente:** Elaboración propia 2022

**Tabla III-5:** Nivel de variación de los factores en la obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz

Factor	Nivel		
	Bajo	intermedio	Alto
pH extracción	-	0	+
pH precipitación	-	0	+

**Fuente:** Elaboración propia 2022

En la tabla III-5 se muestra los niveles del diseño, los cuales presentan: un valor bajo, intermedio y alto para cada factor.

**Tabla III-6:** Matriz de diseño experimental  $3^2$  para la obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo

Experimento	Variable Independiente		Combinaciones	Variable Dependiente	
	pH extracción	pH precipitación	(pHextr-pHprec)	Respuesta I $Y_{ijk}$	Respuesta II $Y_{ijk}$
1	-1	-1	+1	$Y_{111}$	$Y_{112}$
2	0	-1	0	$Y_{211}$	$Y_{212}$
3	+1	-1	-1	$Y_{311}$	$Y_{312}$
4	-1	0	0	$Y_{121}$	$Y_{122}$
5	0	0	0	$Y_{221}$	$Y_{222}$
6	+1	0	0	$Y_{321}$	$Y_{322}$
7	-1	+1	-1	$Y_{131}$	$Y_{132}$
8	0	+1	0	$Y_{231}$	$Y_{232}$
9	+1	+1	+1	$Y_{331}$	$Y_{332}$

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

Dónde:  $Y_{ijk}$  = variable respuesta = porcentaje de extracción de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo obtenido en cada ensayo.

### 3.5.9. Combinación e interacción de los factores

Una vez planteado el diseño experimental, se procederá a determinar la combinación e interacción de los dos factores en la obtención del aislado proteico. Como el principal objetivo de este estudio es poder determinar cuánto se obtiene de porcentaje de aislado de proteína en cada combinación y cómo influyen los factores en el proceso de extracción. En la **tabla III-7** se muestra a detalle el proceso para la combinación de factores con sus niveles basado en el modelo escogido  $3^K$ .

**Tabla: III-7:** Combinación de factores y niveles

TRATAMIENTO		A	B	A	B
Bajo	Bajo	-1	-1	0	0
Medio	Bajo	0	-1	1	0
Alto	Bajo	1	-1	2	0
Bajo	Medio	-1	0	0	1
Medio	Medio	0	0	1	1
Alto	Medio	1	0	2	1
Bajo	Alto	-1	1	0	2
Medio	Alto	0	1	1	2
Alto	Alto	1	1	2	2

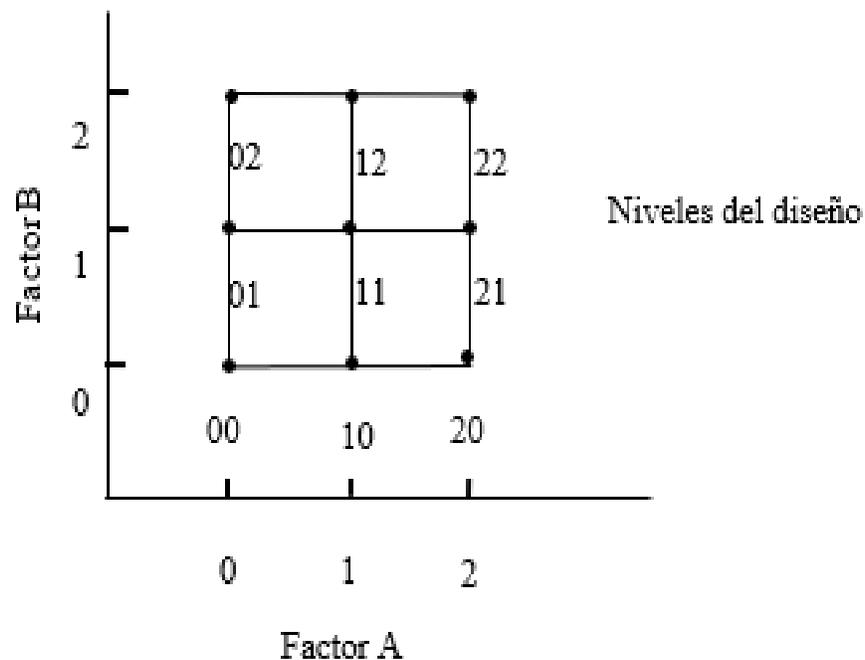
Fuente: Elaboración propia 2022

Donde:

A = factor pH de extracción

B = factor pH de precipitación

En la **figura III-1** se muestra el proceso de la combinación de factores y niveles en referencia a la **tabla III-7**. Los nueve tratamientos se pueden escribir de varias maneras algunas de las cuales se muestran en la **figura III-1**.

**Figura III-1:** Combinación de factores y niveles

Fuente: Elaboración propia 2022

### 3.5.10. Combinación de factores y niveles a emplear en el proceso de extracción

Este proceso consistirá en ajustar el pH de extracción entre (10-11-12) en cada ensayo, para 3 diferentes rangos de pH de precipitación ácida de (3,5-4,5-5,5), los cuales son detallados en la **tabla III-8**, extraído en base a la **figura III-1**.

**Tabla III-8:** Combinación de cada pH de extracción alcalina en tres diferentes rangos de pH de precipitación ácida

pH de extracción	pH de precipitación
10	3,5
	4,5
	5,5
11	3,5
	4,5
	5,5
12	3,5
	4,5
	5,5

**Fuente:** Elaboración propia 2022

La **tabla III-8** muestra el planteo de la combinación de los factores con sus respectivos niveles. Este tipo de combinación se basa en referencia al método experimental elegido  $3^k$  planteado a  $3^2$ , donde se vuelve a aclarar que el diseño tiene dos factores independientes, cada uno con tres niveles. **El objetivo de este análisis es identificar la combinación más óptima del proceso de extracción del aislado proteico de harina de maíz.**

### 3.6. Ubicación y desarrollo del proyecto

Una vez realizado todo el planteamiento del diseño experimental, se procede a describir la ubicación y desarrollo de la parte experimental del presente proyecto de investigación aplicada **obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo**, se llevará a cabo en los ambientes del Laboratorio de Operaciones Unitarias (L.O.U) perteneciente a la carrera de Ingeniería Química y en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### 3.7. Prueba preliminar para la selección de la materia prima

Para realizar la obtención del aislado proteico, se realizó pruebas preliminares con 2 tipos de materia prima (harinas de maíz), aplicando el método ya seleccionado descrito en el acápite 3.2.1, el objetivo de esta prueba preliminar de selección es ver cual harina se adapta más al método propuesto para la extracción del aislado proteico de harina de maíz por el método alcalino (extracción básica y precipitación ácida).

Los parámetros del proceso para la prueba preliminar de selección de la materia prima son:

- Materia prima a emplear en la prueba preliminar: harina de maíz 20 gramos
- Relación harina agua destilada 1:10 p/v
- pH en la etapa de extracción para solubilizar las proteínas 11
- pH en la etapa de precipitación ácida para precipitar las proteínas 4,5
- Reactivos NaOH 1N, HCl 1N

A continuación, se mencionan las materias primas seleccionadas para las pruebas preliminares.

#### 3.7.1. Materia prima: harina amarilla de la empresa Monte Cristo

Se seleccionó la harina de la empresa Monte Cristo ya que la misma cuenta con un tratamiento previo, que es el desgrasado, el cual contiene un mínimo porcentaje de grasa de 0,50 % y un contenido de proteína total del 11,00 % como lo muestra en la **tabla III-9**, considerando estos datos se eligió esta harina para prueba preliminar de selección de la materia prima.

**Tabla III-9:** Proximales de la Harina de maíz de la empresa Monte Cristo

Harina de maíz (Monte Cristo)	
Proximales	%
Proteína	11,00
Hidratos de Carbono	76,10
Fibra	1,20
Grasa total	0,59

**Fuente:** Montecristo Bolivia S.R.L. 2022

**Figura III-2:** Harina de maiz orgánico de la empresa Monte Cristo

**Fuente:** Elaboración propia 2022

La **figura III-2** muestra la harina amarilla de maíz orgánico proveniente de la empresa Monte Cristo S.R.L. esta harina ya cuenta con su información nutricional presentada en su envase de compra, con todos los proximales.

### 3.7.2. Materia prima: harina amarilla criolla

Se seleccionó la harina amarilla de maíz criollo tipo morocho mostrada en la figura III-3 proveniente del río San Juan del Oro del departamento de Tarija Bolivia, adquirida en el mercado campesino de la ciudad de Tarija. se seleccionó esta harina ya que ésta no cuenta con ningún tipo de tratamiento alguno, la cual solo pasó por un molino.

**Figura III-3:** Harina amarilla de maíz criollo



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

### **3.8. Selección y justificación de la materia prima**

Para la selección de la materia prima, ambas harinas propuestas para la prueba preliminar, fueron sometidas al método de extracción alcalino, bajo los mismos estándares de operación de proceso metodológico descrita en el **acápite 3.2.1**, y sometidos posteriormente a sus respectivos análisis fisicoquímicos. La finalidad de este análisis es identificar a la materia prima que logre una extracción proteica alta como producto final.

Los resultados obtenidos evidenciaron que la harina amarilla criolla presenta un mayor contenido de proteína total en el extracto proteico obtenido, dando un resultado de 38,89% (ver anexo A 1.3 resultado de laboratorio), en comparación con la harina de la empresa Monte Cristo que presento un 15,77% (ver anexo A 1.2 resultado de laboratorio) de proteína total en el extracto obtenido. Por ende, se procedió a seleccionar como materia prima para la elaboración del presente proyecto a la "HARINA AMARILLA DE MAIZ CRIOLLO", y se descartó la harina amarilla de la empresa Monte Cristo, porque esta harina no concentro un contenido significativo de proteína en el respectivo aislado proteico obtenido. Los resultados de selección de la materia prima se los muestra a detalle en el capítulo IV, acápite 4.1 al 4.1.5

### **3.9. Análisis de la materia prima seleccionada para obtención del aislado proteico**

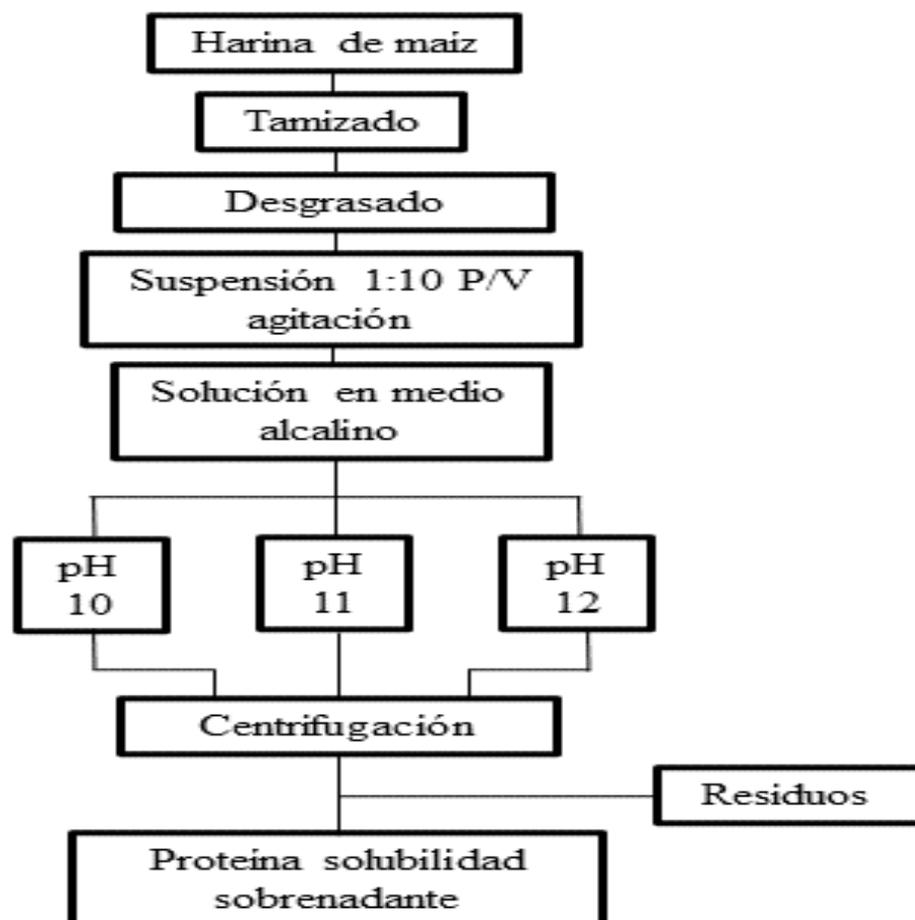
El porcentaje de proteína en el aislado proteico de la harina amarilla de maíz criollo es de 38,89%, dicho resultado no entraría en los rangos propuestos por Liu, K. (1999) para

considerarlo como aislado proteico, para esto se optó por acondicionar la materia prima seleccionada con un desgrase previo, con el objetivo de eliminar el mayor contenido de lípidos en suspensión debido a que éstos evitan que haya una buena extracción de la proteína aislada, y como resultado del desgrasado de la materia prima el porcentaje de proteína pura en el aislado proteico será mucho mayor a los resultados ya expuestos, el previo acondicionamiento de la materia prima se lo detalla en el **acápito 3.11**.

### 3.10. Metodología

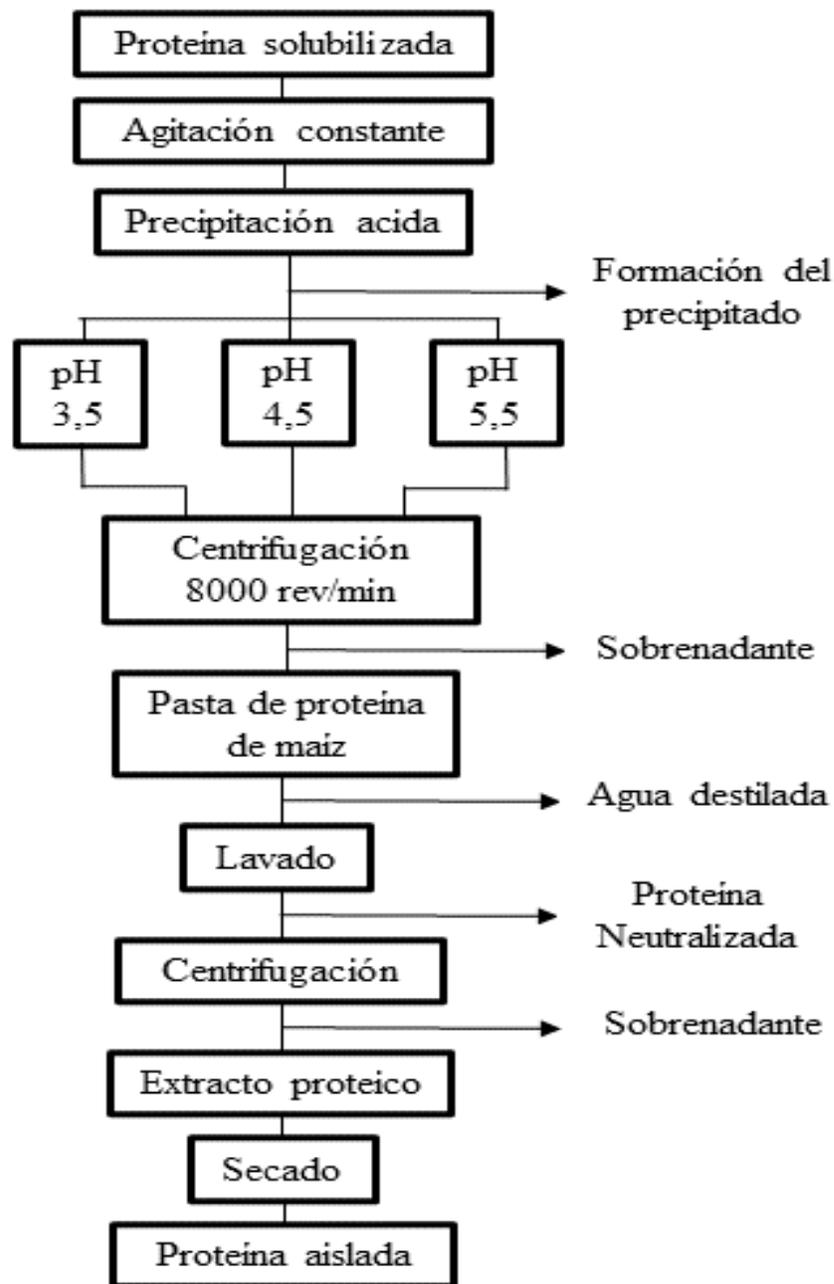
La metodología seleccionada para la obtención del aislado proteico de la harina amarilla de maíz criollo se describe en los diagramas III-3 y diagrama III-4, en los cuales se aplica los parámetros de proceso seleccionados en el diseño factorial.

**Diagrama III-3:** Proceso para la solubilización de la proteína



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Diagrama III-4 :** Proceso de precipitación ácida



**Fuente:** Elaboración propia 2022

La extracción del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo se desarrollará en dos etapas. En el **diagrama III-3** se muestra la primera etapa del proceso donde se solubiliza las proteínas en un medio alcalino. El **diagrama III-4** muestra la segunda etapa del proceso donde la proteína solubilizada es precipitada en un medio ácido.

Para realizar la extracción experimental del aislado proteico de la harina amarilla de maíz criollo, se realizó operaciones previas de acondicionamiento de la materia prima seleccionada que se detallan a continuación.

### **3.11. Acondicionamiento de la materia prima seleccionada**

#### **3.11.1. Tamizado**

Se procedió a tamizar la harina de maíz, la cual ya pasó por un molino con textura fina en polvo, y se procedió a determinar la granulometría o tamaño de partícula que posee la harina, y así facilitar el desgrasado adecuado con el equipo soxhlet perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química.

#### **3.11.2. Desgrasado**

Una vez determinado el tamaño de partícula de la muestra, se procedió al desgrasado, en el cual se utilizó un soxhlet como equipo de extracción y alcohol de 96° grados de pureza como reactivo solvente con un punto de ebullición de 74,4°C, con un tiempo de operación de 8 horas.

Cabe mencionar a continuación el porqué se utilizó este solvente y no así el éter de petróleo o benceno, los cuales son los reactivos solventes óptimos de extracción de aceites.

- **Primero:** por el costo elevado de los reactivos, ya que para la extracción se requiere como mínimo tres litros de solvente para desgrasar 2 kilogramos de harina de maíz, para todo el proceso, tanto para el diseño experimental como para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del producto final.
- **Segundo:** el éter de petróleo o benceno al ser reactivos altamente volátiles en el ambiente son muy nocivos para la salud, y peligrosos al usarlos en grandes cantidades en lugares que nos sean laboratorios con los equipos adecuados, en este caso el equipo soxhlet usado en el presente trabajo es un equipo casero elaborado por laboratorio de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, dicho equipo tiene la ventaja de procesar mucha más materia prima que un equipo soxhlet normal, y la desventaja que se requiere mucho solvente como reactivo de extracción.

- **Tercero;** se descartó el uso del éter de petróleo o benceno por motivos ya expuestos anteriormente, y por la dificultad para adquirirlos ya que este tipo de reactivos son controlados por la fuerza especial de lucha contra el narcotráfico FELCN y de difícil adquisición a personas particulares que no sean laboratorios certificados, en este caso estudiante.
- **Cuarto:** los resultados de la extracción del aislado proteico del producto final, **aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo**, dependerán netamente del proceso de desgrasado de la harina criollo; ya que, al extraer la mayor cantidad de aceite residual, la extracción del aislado proteico será más concentrada.

### **3.12. Procedimiento para la extracción del aislado proteico de la harina de maíz**

Una vez acondicionada la materia prima se procede a la extracción del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo, a continuación, se detalla el proceso de extracción de la proteína en un medio alcalino y la posterior precipitación en un medio ácido.

#### **3.12.1. Extracción alcalina**

La harina amarilla de maíz criollo fue pesada para cada tratamiento 20 gramos, que repite los pesos por cada cambio de pH básico, se hicieron nueve tratamientos con sus respectivas replicas cada tratamiento, se suspendió la harina de maíz en agua destilada en una relación (1:10p/v) en un vaso precipitado, luego se ajustó el pH a valores: 10;11;12.

El pH fue ajustado con NaOH 1N, como se muestra en el **Diagrama III-3**, luego se procedió a la agitación constante con un agitador magnético durante 60 minutos por cada tratamiento, con la finalidad de solubilizar óptimamente las proteínas presentes en la muestra, se adicionó sulfito de sodio 0,1 gramos como conservante y así evitar la desnaturalización o formación de moho y levaduras cuando ya se obtenga la pasta proteica, y sea puesta en la estufa. Luego, la solución fue centrifugada a 8000 rev/min por un tiempo de 15 minutos a temperatura ambiente con el objetivo de separar el sobrenadante de los restos de harina y almidón de la mezcla solubilizada; una vez realizada la solubilización se procede a la precipitación de la proteína en un medio ácido.

### 3.12.2. Precipitación acida

Seguidamente de la solubilización alcalina y obtener los sobrenadantes de cada tratamiento se adicionó ácido clorhídrico 1N, hasta alcanzar los siguientes pH diferentes: 3,5; 4,5 y 5,5 para precipitar las proteínas. Las soluciones así obtenidas fueron centrifugadas a 8000 rpm por 15 min tal como se muestra en el diagrama III-4. Por consiguiente, se lavaron las proteínas con agua destilada con el objetivo de neutralizar la pasta proteica ácida, luego se someterá en estufa a una temperatura de 32 °C, y un tiempo de 24 en la estufa.

Una vez detalladas las 2 etapas de obtención del aislado proteico se procede a realizar la parte experimental en el laboratorio,

### 3.13. Obtención experimental del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo

A continuación, se detalla paso a paso todo el proceso en general para la obtención experimental del aislado proteico de la harina amarilla de maíz criollo, el cual se realizó en dos etapas tal como se los muestra en los diagramas III-3 y diagrama III-4. Los materiales, reactivos y equipos de laboratorio requeridos están detallados en el anexo B

#### 3.13.1. Etapa 1 solubilización alcalina

Para procesar y solubilizar la materia prima se siguió los siguientes pasos:

**Figura III-4:** Tamizado de la harina amarilla de maíz criollo



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Tamizado:** Se procedió a separar en diferentes fracciones con tamices, donde se seleccionó el tamiz numero 18 donde se concentra la mayor cantidad materia prima, siendo el tamaño de partícula adecuado para el proceso; ver (Anexo G: determinación del tamaño de partícula).

**Figura III-5:** Equipo de tamizado

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura III-6:** Proceso de tamizado

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Desgrasado:** Para evitar interferencias en la extracción de las proteínas provocadas por los lípidos, se realizó una extracción sólido-líquido en un equipo soxhlet, utilizando alcohol etílico de 96° grados de pureza como solvente y un tiempo de operación de 8 horas; posteriormente se realizó el secado en una estufa a 30°C por 24 horas, obteniéndose harina seca y desgrasada. En las figuras siguientes puede observarse el equipo y los procedimientos utilizados.

**Figura III-7:** Preparado del solvente

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura III-8:** Preparado de la muestra

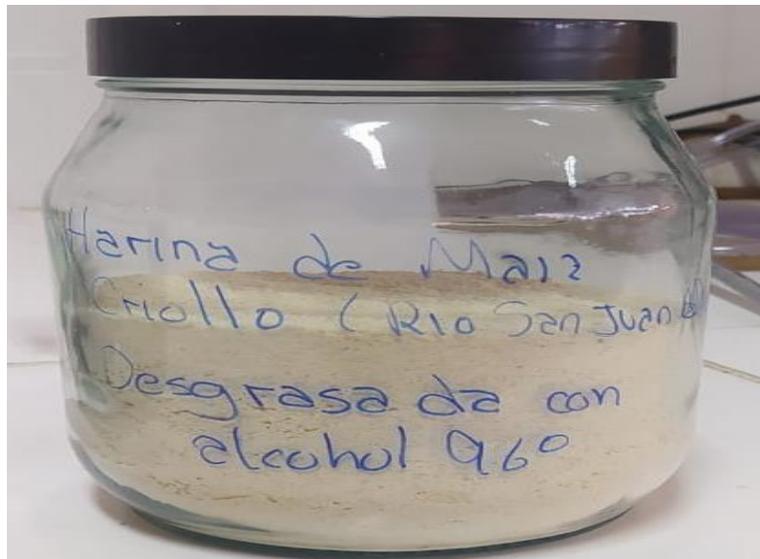
**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura III-9:** Equipo de extracción

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura III-10:** Aceite residual

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura III-11:** Harina amarilla de maiz seca y desgrasada

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la **figura III-11** se muestra la harina ya desgrasada y secada lista para la suspensión y agitación para solubilizar las proteínas.

- **Suspensión y agitación:** Se procedió a suspender 20 gramos de harina ya desgrasada en 200mL de agua destilada cumpliendo la relación (1:10 p/v), luego se agitó con un agitador magnético para lograr homogenizar la muestra tal como se muestra en la **figura III-12**.

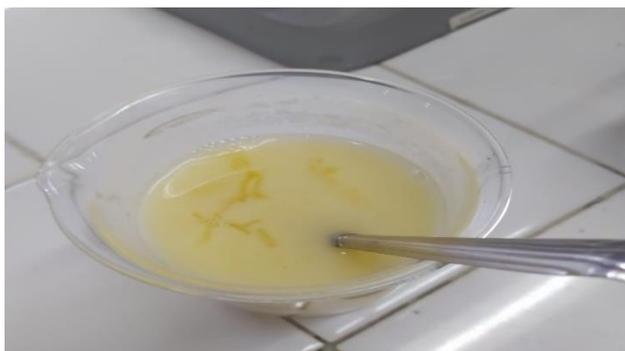
**Figura III-12:** Agitación de la muestra



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Solubilización alcalina:** La muestra ya homogenizada se ajusta a diferentes pH 10; 11; 12 con NaOH 1N para solubilizar las proteínas, y como conservante se adicionó 0.1 gramos de sulfito de sodio; la suspensión se agitó por 60 min a temperatura ambiente con la ayuda del agitador magnético y luego se procedió a separar los componentes insolubles.

**Figura III-13:** Adición del NaOH 1N a la muestra, para solubilizar las proteínas en medio alcalina



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Centrifugación 1:** Pasado el tiempo de agitación se procede a centrifugar a 8000 rpm por un tiempo de 15 minutos, para separar la parte líquida que corresponde al sobrenadante que contiene la proteína solubilizada y la parte sólida que corresponde al almidón y residuos de harina, los cuales son desechados y solo se recupera el sobrenadante. En la **figura III-14** se muestra el cargado de la muestra en los tubos de centrifugado.

**Figura III-14:** Preparado de la muestra para el centrifugado



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Figura III-15:** Centrifugado de la muestra



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la **figura III-15** se muestra el proceso de montaje de los tubos en la centrífuga donde se calibró el nivel de las muestras para un correcto centrifugado.

**Figura III-16:** Separación del almidón, restos de harina insoluble y el sobrenadante que es la proteína ya solubilizada en medio líquida



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la **figura III-16** se puede observar cómo queda la muestra después del proceso de centrifugado; claramente se ve la separación del sobrenadante y los restos de harina y almidón.

- **Proteína solubilizada:** Esto llegaría a ser la proteína en suspensión líquida (sobrenadante) separada de la materia insoluble en la solución de NaOH 1N obtenida después de la centrifugación.

**Figura III-17:** Recuperación del sobrenadante (proteína solubilizada)



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la **figura III-17** se muestra el proceso de recuperación del sobrenadante mediante la decantación de la misma, separando restos de harina y almidón.

### 3.13.2. Etapa 2 precipitación ácida

En la etapa dos la proteína solubilizada en medio alcalino es precipitada con la adición de un ácido.

- **Proteína solubilizada:** Es el material líquido de partida para la precipitación de la proteína, es el líquido sobrenadante de la centrifugación del paso anterior.

**Figura III-18:** Recuperado del sobrenadante



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Agitación:** Se realizó una breve agitación a temperatura ambiente con agitador magnético para acondicionar a pH de precipitación mostrado en la **figura III-19**.

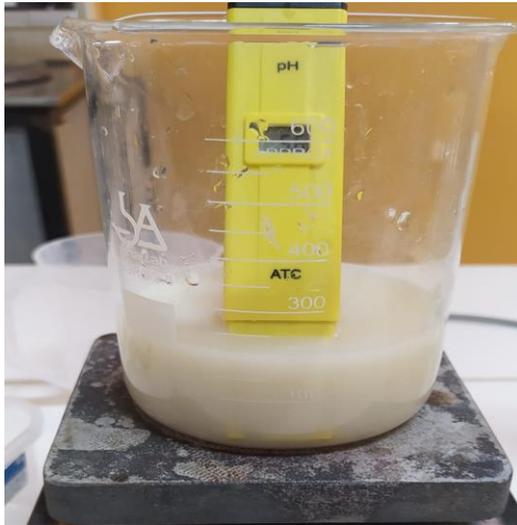
**Figura III-19:** Agitación y control del pH



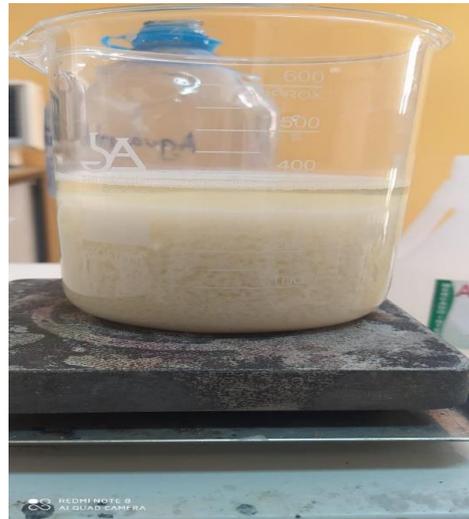
**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Precipitación ácida:** Para la precipitación de la proteína se debe acondicionar el pH de la solución alcalina con HCl 1N hasta los valores 3,5; 4,5 y 5,5 en función al diseño experimental planteado. En las **figuras III-20 y III-21** se puede observar el ajuste de pH y el cambio de color que se produce.

**Figura III-20:** Acidificación del sobrenadante      **Figura III-21:** Cambio de color



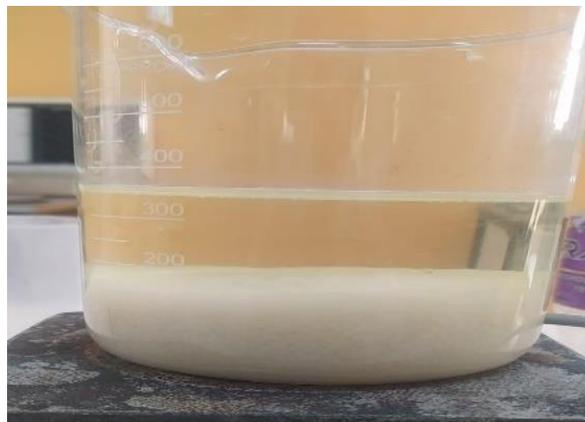
**Fuente:** Elaboración propia, 2022



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Formación del precipitado:** Una vez acondicionado el pH de precipitación, este cambiará de alcalino a ácido, produciéndose un cambio de color del suero de café claro a blanco lechoso. El suero ácido se lo deja en reposo por un tiempo de 20 minutos, para que se forme el precipitado proteico. En la **figura III-22** se muestra el resultado de la precipitación después de 20 minutos.

**Figura III-22:** Precipitación de la proteína



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Centrifugación II:** La proteína precipitada se centrifuga a 8000 rpm por un tiempo de 15 minutos, con la finalidad de separar la parte líquida del extracto proteico que es el producto, que debe ser neutralizado con agua destilada. En la **figura III-23** se muestra la centrifugación del precipitado.

**Figura III-23:** Centrifugación del precipitado



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Pasta proteica de maíz:** El producto final es el sólido una vez centrifugado, que debe ser lavado con agua destilada para eliminar impurezas y neutralizada, como se puede apreciar en la **figura II-24 y III-25**.

**Figura III-24:** Separación del cuajo proteico del agua



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Lavado:** El lavado de las proteínas precipitadas se realiza 3 veces con 105 mL de agua destilada, como se observa en la **figura III-25**. Para acelerar la sedimentación se procedió a centrifugar nuevamente las muestras.

**Figura III-25:** Proceso de lavado de las proteínas



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Centrifugación:** En este punto se volvió a centrifugar para así poder separar la proteína de la suspensión líquida y restos de impurezas, la parte líquida es desechada.
- **Secado:** La pasta proteica se secó en Placas Petri a una temperatura de 32°C, para evaluar posteriormente el porcentaje de proteína aislada por gravimetría. En la **figura III-26** se muestra el extracto proteico seco y en la **figura III-27** el producto seco y molido.

**Figura III-26:** Extracto proteico



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Molido:** El producto final obtenido luego de secado es molido en un mortero de porcelana.

**Figura III-27:** Molido de la proteína de maíz



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

- **Envasado:** Finalmente, el extracto proteico fue envasado en envases de vidrio de 30 ml de capacidad; estos envases son óptimos para mantener sus propiedades. En la **figura III-28**. Se muestra el extracto proteico envasado.

**Figura III-28:** Envasado y producto final



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

### 3.14. Evaluación sensorial

Una vez obtenido el aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo, ésta se someterá a una evaluación sensorial con el objetivo de obtener una estimación o referencia de la aceptabilidad del producto obtenido experimentalmente (aislado proteico), mientras la selección de la mejor combinación será netamente de aquel que presente un mayor porcentaje de extracción en el aislado proteico extraído.

La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja que la persona que efectúa las mediciones lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, es decir sus cinco sentidos, la vista, olfato, gusto, tacto y el oído, son elementos idóneos para determinar el color, olor, aroma, gusto, sabor y la textura quienes aportan al buen aspecto y calidad al alimento que le dan sus propias características **(Castañeda, C. 2013)**.

El análisis sensorial mide las respuestas de las personas hacia productos alimenticios; para poder cuantificar las percepciones y medir las respuestas de los consumidores se utilizan las escalas que son fundamentales dentro del análisis sensorial. Una escala es un sistema que envuelve la asignación de valores numéricos y/o verbales a percepciones sensoriales **(Castañeda, C. 2013)**.

La escala más utilizada en la evaluación de alimentos es la escala hedónica de nueve puntos que fue desarrollada por el U.S Army Food Container Institute en 1950. Los rangos de los números van desde uno a nueve, siendo uno “disgusta extremadamente”, cinco “ni me gusta ni me disgusta” y nueve “gusta extremadamente”. Esta escala fue rápidamente adaptada por la industria de alimentos e investigación por su simplicidad de uso **(Castañeda, C. 2013)**. Los métodos empleados para analizar los datos obtenidos son los principales métodos entre ellos **(Castañeda, C. 2013)**:

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

### 3.14.1. Evaluación sensorial del producto obtenido experimentalmente

El método elegido para la evaluación sensorial fue el método de escala hedónica de nueve puntos, y se llevará a cabo con los nueve tratamientos realizados, según el diseño experimental desarrollado, ya que se tomó en cuenta la influencia del pH de extracción y pH de precipitación. Y en torno a esto se procederá a preparar nueve muestras, la finalidad del este análisis sensorial es para tener como referencia la aceptación del producto con jueces calificadores, ya que la selección del mejor tratamiento de extracción será netamente del ensayo que presente mayor porcentaje de extracción en el proceso de obtención del aislado proteico.

Las 9 muestras que serán sometidas a la evaluación sensorial se muestran en la **tabla III-10**; se planteó la combinación de cada tratamiento tal como indica la tabla III-7 basado en la figura III-1. Cada muestra es una combinación planteada para la prueba sensorial, donde el producto obtenido experimentalmente será sometido a la evaluación sensorial con 14 jueces no entrenados que evaluarán las características organolépticas del aislado proteico que son: color, olor y sabor.

**Tabla III-10:** Preparación y detalle de las muestras para la evaluación sensorial

Nº de muestra	pH de extracción	pH de precipitación
1	10	3,5
2	10	4,5
3	10	5,5
4	11	3,5
5	11	4,5
6	11	5,5
7	12	3,5
8	12	4,5
9	12	5,5

**Fuente:** Elaboración propia 2022

Los resultados de la evaluación sensorial de cada atributo a evaluar por los jueces están detallados en el **capítulo IV acápite 4.11**.

### 3.15. Análisis de laboratorio en el producto final y en la materia prima

Finalmente se realizó los análisis de laboratorio a la materia prima y al producto final, siendo estos fisicoquímicos como microbiológicos, aclarando que este último análisis se realizó solo al producto final.

### 3.16. Análisis proximal de la materia prima harina amarilla de maíz criollo

Se sometió a un análisis proximal, según la Norma Boliviana con la finalidad de conocer la composición nutrimental de la materia prima utilizada que fue harina amarilla de maíz criollo.

Se procedió a realizar todos los proximales o análisis fisicoquímicos de la harina amarilla de maíz criollo, ya que la materia prima adquirida no cuenta con ningún dato proximal en su envase de compra.

Todo el análisis fisicoquímico se realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, de acuerdo al detalle mostrado en la **tabla III-11**.

**Tabla III-11:** Proximales fisicoquímicos a realizar a la materia prima

Nº	PROXIMALES	UNIDAD
1	Proteína total	%
2	Materia grasa	%
3	Fibra	%
4	Cenizas	%
5	Humedad	%
6	Carbohidratos	%
7	Azúcares reductores	%
8	Azúcares totales	%
9	Hierro total	mg/100g
10	Fósforo total	mg/100g
11	Magnesio total	mg/100g
12	Zinc total	mg/100g
13	Potasio total	mg/100g
14	Valor energético	kcal/100g

**Fuente:** elaboración propia 2022

### 3.17. Análisis fisicoquímico del producto final

Todo el análisis fisicoquímico del producto final (aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo), se lo realizo en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho.

A continuación, en la **tabla III-12** se detalla los proximales que se analizaron en el producto final.

**Tabla III-12:** Proximales fisicoquímicos a realizar al producto final

Nº	PROXIMALES	UNIDAD
1	Proteína total	%
2	Materia grasa	%
3	Fibra	%
4	Cenizas	%
5	Humedad	%
6	Carbohidratos	%
7	Valor energético	kcal/100g

**Fuente:** Elaboración propia 2022

### 3.18. Análisis microbiológico del producto final

El análisis microbiológico del producto final aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo, se realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho, detallada en la **tabla III-13**.

**Tabla III-13:** Proximales microbiológicos a realizar al producto final

Nº	Proximal microbiológico	Unidad
1	Coliformes totales	ufc/g
2	Coliformes fecales	ufc/g
3	Mohos y levaduras	ufc/g

**Fuente:** Elaboración propia 2022

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1. Resultados de las pruebas preliminares de la materia prima

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas preliminares para la selección de la materia prima (harina criolla y harina de la empresa Monte Cristo). **Para la selección definitiva se tomará en cuenta la harina que presente la mayor concentración proteica en el respectivo aislado proteico obtenido;** dicho resultado se observa en los análisis de laboratorio detallados en los puntos siguientes.

#### 4.2. Resultado del análisis fisicoquímico realizado en la harina criolla

Se realizó el análisis fisicoquímico del contenido de proteína total en harina criolla, ya que esta materia prima no cuenta con datos alguno sobre su contenido nutricional, el análisis se lo realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dando como resultado un porcentaje de 7,19% de proteína total en la materia prima, tal como indica la **tabla IV-1**, (ver anexo A.1.1: resultado de laboratorio).

**Tabla IV-1:** Resultado del Análisis fisicoquímico de proteína total de la harina criolla

Descripción de la muestra	Parámetro	Método de ensayo	Unidad	Resultado
Harina amarilla de maíz criollo	Proteína total	ISO8968-1:2001	%	7,19

**Fuente:** CEANID 2022

#### 4.3. Comparación de proteína total en ambas materias primas

En la **tabla IV-2**, se muestra los resultados del contenido de proteína total en ambas materias primas; se puede ver una diferencia significativa en la harina de la empresa Monte Cristo con un porcentaje de proteína de 11,00 %, muy por debajo la harina criolla con un porcentaje de 7,19%.

**Tabla IV-2:** Comparación del porcentaje de proteína total en ambas materias primas

Porcentaje de proteína total en las dos materias primas	
Harina de Maíz Criollo	Harina de la empresa Monte Cristo
7,19 %	11,00%

**Fuente:** CEANID 2022\* Monte Cristo S.R,L

#### 4.4. Resultado del análisis fisicoquímico realizado en el aislado proteico obtenido de la harina amarilla criolla

Una vez realizada la extracción del aislado proteico de la harina amarilla criolla, se procedió a realizar el respectivo análisis, en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), dando como resultado un porcentaje de 38,89% de proteína total como indica la **tabla IV-3**, (ver anexo A.1.3: resultado de laboratorio).

**Tabla IV-3:** Resultado de la extracción de aislado proteico de la harina criolla

Descripción de la muestra	Parámetro	Método de ensayo	Unidad	Resultado
Aislado proteico de maíz	Proteína total	ISO8968-1:2001	%	38,89

**Fuente:** CEANID 2022

#### 4.5. Resultado del análisis fisicoquímico realizado en el aislado proteico obtenido de la harina de la empresa Monte Cristo

Una vez realizada la extracción del aislado proteico a la de harina proveniente de la empresa Monte Cristo, se hizo el respectivo análisis fisicoquímico de proteína total en el extracto proteico obtenido, en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), para ver cuan efectivo es el método de extracción alcalino con esta harina, dando como resultado una concentración proteica de proteína total de un 15,77 % , como lo muestra la **tabla IV-4**, (ver anexo A.1.2: resultado del laboratorio).

**Tabla IV-4:** Resultado de la extracción de aislado proteico de la harina de Monte Cristo

Descripción de la muestra	Parámetro	Método de ensayo	Unidad	Resultado
Aislado proteico de maíz	Proteína total	ISO8968-1:2001	%	15,77

**Fuente:** CEANID 2022

#### 4.6. Selección de la materia prima en base en resultados obtenidos

Para seleccionar la materia prima que se utilizará en el presente proyecto de investigación, **obtención de aislado proteico de harina de maíz**, se seleccionó la materia prima cuyo producto final que es el aislado proteico, presente como resultado una concentración alta de proteína según el análisis fisicoquímico realizado, tal como se muestra en la **tabla IV-5**.

Donde se ve claramente que la harina amarilla criolla es la que más concentración proteica presentó; por tal motivo se seleccionó esta harina como materia prima del proyecto.

**Tabla IV-5:** Comparación del porcentaje de proteína total en los aislados proteicos

Porcentaje de proteína total en los aislados proteicos	
Aislado proteico de la harina criolla	Aislado proteico de la harina de monte cristo
38,89 %	15,77%

**Fuente:** CEANID 2022

#### 4.7. Resultado del análisis fisicoquímico de la materia prima seleccionada

A continuación, en la **tabla IV-6**, se muestra los resultados del análisis fisicoquímico de la materia prima seleccionada. También en la misma tabla se da como referencia datos biográficos de la composición nutrimental de la harina amarilla según la norma boliviana (ver anexo A.1.1) y así comparar estos valores en referencia a la materia prima analizada para la obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.

**Tabla IV-6:** Composición nutricional de la materia prima seleccionada

Parámetro	Unidad	Biografía	Análisis de laboratorio
Valor energético	Kcal/100	352,00	357,14
Humedad	%	5,07	10,87
Proteína	%	8,90	7,19
Grasa	%	2,08	4,70
Fibra	%	1,03	4,53
Ceniza	%	0,97	1,19
Potasio	mg	290,00	301,00
Hierro	mg	3,15	2,10

**Fuente:** CEANID;\*Norma boliviana de composición de alimentos, 2022

#### 4.8. Comparación de resultados del análisis de la harina criolla y datos bibliográficos

La variación dentro de los rangos dados por bibliografía y la materia prima mostrados en la **tabla IV-6**, puede deberse al lugar de procedencia de la materia prima, características fenológicas de la variedad, condiciones de humedad relativa del ambiente, contenido de sales y pH de los suelos, etc., factores que no entran dentro de los objetivos del presente estudio.

#### 4.9. Resultados del análisis fisicoquímico del producto final

A continuación, se detallan los análisis del producto final del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo, tanto los análisis fisicoquímicos como microbiológicos y se compararon con datos biográficos.

##### 4.9.1. Análisis fisicoquímico del producto final

En la **tabla IV-7** se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos del producto final (ver anexo A 1.4 resultado de laboratorio), junto a los parámetros ya establecidos en la norma boliviana (NB 31 3023:2012), “productos proteínicos, especificaciones (correspondiente al CODEX STAN 175:1989)” (IBORCA, 2015).

**Tabla IV-7:** Resultados del análisis fisicoquímico del producto final

		AISLADO PROTEICO	
Parámetro	Unidad	Aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo Resultados experimentales	Aislado proteico Norma Boliviana
Proteína total	%	64,88	90
Materia grasa	%	25,11	Sin referencia
Fibra	%	0,54	Máximo 5,0
Cenizas	%	0,80	Máximo 8,0
Humedad	%	2,99	Máxima 10,0
Carbohidratos	%	5,68	Sin referencia

Fuente: CEANID\*, 2015; IBNORCA<sup>†</sup>. 2015.

En la **tabla IV-7** también se puede observar que los parámetros obtenidos experimentalmente del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo, estos se

encuentran dentro de los rangos permitidos por la norma boliviana, excepto el contenido de proteína total del aislado proteico obtenido experimentalmente, el cual presentó un bajo contenido de proteína total en referencia a datos biográfico para aislados proteicos; esto se debe a varios factores que influyeron en la extracción de la proteína, como ser los reactivos empleados en el proceso de desgrasado de la materia prima los cuales se **mencionaron en el Capítulo III, acápite 3.11.2**. Otro de los factores sería la calidad de la materia prima seleccionada, ya que a esta materia prima en los ensayos preliminares presento un contenido de proteína total de 7,19% ya **expuesto en la tabla IV-1**. Por tal motivo se puede afirmar que la materia prima (harina amarilla de maíz criollo) producida en la región de Tarija es de baja calidad proteica en comparación con otro tipo de harinas de otras regiones.

#### 4.10. Resultado del análisis microbiológico del producto final

Los indicadores más utilizados en los análisis microbiológicos en alimentos son:

- Coliformes fecales: indicadores de contaminación fecal, por el mal aseo, incumplimiento de los procesos de limpieza y desinfección o contaminación cruzada
- Coliformes totales: indicadores de condiciones de aseo deficientes, o fallas en los procesos de limpieza y desinfección
- Mohos y levaduras: indicadores de contaminación ambiental

En la **tabla IV-8** se muestra los resultados microbiológicos del producto final, (ver anexo A.1.5: resultado de laboratorio), comparándolos y ver si son resultados permisibles según criterios microbiológicos que debe tener este producto comestible según la norma boliviana (NB/32015: 2005) (Mendoza, H. 2013).

**Tabla IV-8:** Resultados microbiológicos del producto final

<b>AISLADO PROTEICO</b>		
<b>Parámetro microbiológico</b>	<b>Aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo Resultados experimentales</b>	<b>Aislado proteico biografía</b>
Coliformes fecales	$<1.0 \times 10^1$ (*) (Ufc/g)	Mínimo <10
Coliformes totales	$<1.0 \times 10^1$ (*) (Ufc/g)	Mínimo <10
Mohos y levaduras	$<1.0 \times 10^1$ (*) (Ufc/g)	Mínimo $10^4$

**Fuente:** CEANID\*; Mendoza, H<sup>†</sup>. 2013.

Según la **tabla IV-8** de resultados microbiológicos del producto final, todos los resultados del análisis microbiológico están dentro de los rangos permisibles según los criterios microbiológicos que debe tener este producto según la norma boliviana (NB/32015: 2005) (Mendoza, H. 2013).

#### **4.11. Resultados del Análisis sensorial**

Realizado el preparado de las muestras, se procedió con la evaluación sensorial utilizando el método de la escala hedónica de nueve puntos, utilizando 14 jueces no entrenados que evaluaron los atributos color, olor y sabor de cada muestra en una escala hedónica.

##### **4.11.1. Análisis sensorial para el aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo**

En la **figura IV-1**, se muestra el resultado de la extracción de las nueve muestras que serán sometidas a un análisis sensorial. El análisis sensorial tiene la finalidad de evaluar el nivel de aceptabilidad de aislados proteicos, determinando así la calidad del producto.

**Figura IV-1:** Muestras presentadas a los panelistas calificadores



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

El valor de la calificación organoléptica se basa en la escala Hedónica de 9 puntos; para ello se reúne un panel de 14 integrantes no calificados a los cuales se les entrega una encuesta, (ver anexo C: prueba sensorial), en donde calificarían los atributos (olor, color y sabor), así como las propiedades nutricionales e higiene microbiológica de cada una de las nueve muestras de los aislados proteicos.

#### **4.12. Resultados de la evaluación sensorial del atributo color**

Una vez realizada la evaluación sensorial utilizando el método de la escala hedónica de nueve puntos, habiendo logrado el mayor puntaje de aceptación la muestra número seis,

“donde, presenta un buen color, el olor y el sabor agradable” mencionan los jurados. (Ver Anexo D 1.1: resultado de la prueba sensorial).

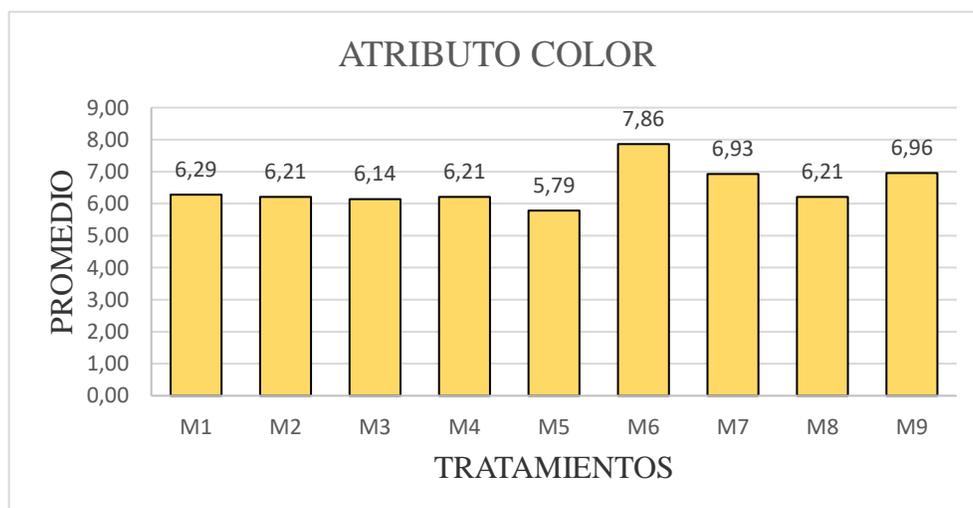
La **tabla IV-9** detalla todos los resultados de la evaluación sensorial del atributo color que se realizaron en todas las muestras, las cuales fueron calificadas en una escala hedónica de nueve puntos.

**Tabla IV-9:** Resultado de la evaluación sensorial de atributo color

<b>ATRIBUTO COLOR</b>									
<b>JUECES</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>M8</b>	<b>M9</b>
<b>1</b>	5	5	8	6	8	9	8	5	6
<b>2</b>	7	7	5	6	5	8	6	7	9
<b>3</b>	6	6	7	5	7	9	8	6	7
<b>4</b>	6	3	6	7	4	7	6	6	8
<b>5</b>	6	5	7	7	5	9	5	6	5
<b>6</b>	5	7	5	6	7	7	7	4	6
<b>7</b>	7	8	4	5	3	8	6	7	7
<b>8</b>	6	5	6	5	6	8	9	6	6
<b>9</b>	5	6	7	5	6	8	7	9	7
<b>10</b>	6	7	5	7	5	9	7	6	8
<b>11</b>	6	6	6	6	5	8	7	5	6
<b>12</b>	6	5	5	5	4	7	7	6	6
<b>13</b>	8	8	7	8	9	7	7	8	8
<b>14</b>	9	9	8	9	7	6	7	6	5
<b>SUMA</b>	<b>88</b>	<b>87</b>	<b>86</b>	<b>87</b>	<b>81</b>	<b>110</b>	<b>97</b>	<b>87</b>	<b>88</b>
<b>MEDIA</b>	<b>6,29</b>	<b>6,21</b>	<b>6,14</b>	<b>6,21</b>	<b>5,79</b>	<b>7,86</b>	<b>6,93</b>	<b>6,21</b>	<b>6,96</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la **tabla IV-9** se puede observar que el tratamiento M6 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8 y M9 por lo que se concluye que el atributo de color del tratamiento M6 tiene mayor aceptación por los jueces.

**Grafica IV-1:** Valores promedio del atributo color del aislado proteico

**Fuente:** Elaboración propia 2022

En la gráfica IV-1, se observa que la muestra de mejor aceptación para los jueces fue la muestra (M6), de pH 11,0 de extracción y pH 5,5 de precipitación, con un puntaje promedio de 7,86.

#### 4.12.1 Prueba de DUNCAN del atributo color para determinar el pH de extracción y pH de precipitación

**Tabla IV-10:** Resultados de la prueba estadística Duncan del atributo color

Variable dependiente: color					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	84,48 <sup>a</sup>	21	4,02	2,86	0,00
Intersección	5.220,01	1	5.220,01	3.705,47	0,00
Juez	42,99	13	3,31	2,35	0,01
Muestra	41,49	8	5,19	3,68	0,00
Error	146,51	104	1,41		
Total	5.451,00	126			
Total, corregido	230,99	125			

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022

En la **tabla IV-10**, se puede observar que las muestras, son significativos para un nivel de confianza de  $p < 0,05$ .

**Tabla IV-11:** Prueba estadística de Duncan del atributo color

Muestras	Número de jueces	Sub conjunto		
		1	2	3
5	14	5,78		
3	14	6,14	6,14	
2	14	6,21	6,21	
4	14	6,21	6,21	
8	14	6,21	6,21	
1	14	6,28	6,28	
9	14	6,28	6,28	
7	14		6,93	
6	14			7,86
Sig.		0,347	0,136	1,00

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022

En la **tabla IV-11**, se observa que la muestra de mejor aceptación según el atributo color es la muestra M6 de (pH de extracción 11 y pH de precipitación 5,5), con un puntaje de 7,85. En la **tabla IV-11**, también se muestra la prueba estadística de Duncan del atributo color, basado en la significancia entre tratamientos, en base a la tabla (VI-11).

#### **4.13. Resultado de la evaluación sensorial del atributo olor**

La **tabla IV-12**, se detalla todos los resultados de la evaluación sensorial del atributo olor que se realizaron en todas las muestras, las cuales fueron calificadas en una escala hedónica de nueve puntos, (ver anexo D.1.2: resultado de prueba sensorial atributo olor).

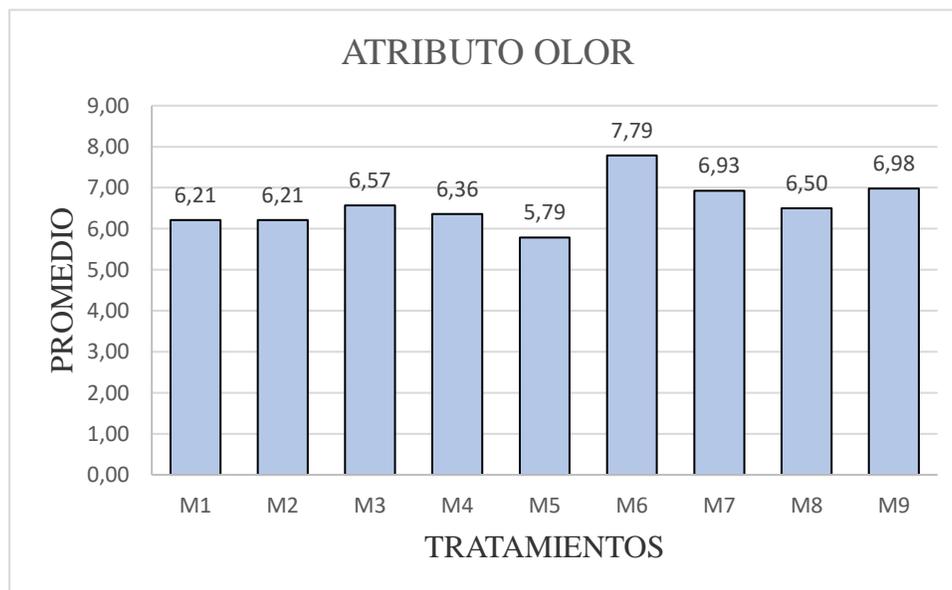
En la **tabla IV-12** se puede observar que el tratamiento M6 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8 y M9 por lo que se concluye que el atributo de olor del tratamiento M6 tiene mayor aceptación por los jueces.

**Tabla IV-12:** Resultado de la evaluación sensorial de atributo olor

<b>ATRIBUTO OLOR</b>									
<b>JUECES</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>M8</b>	<b>M9</b>
<b>1</b>	5	7	5	7	5	8	7	5	7
<b>2</b>	5	7	5	6	5	6	7	7	6
<b>3</b>	8	7	6	7	6	8	8	5	5
<b>4</b>	5	8	7	6	6	9	6	7	7
<b>5</b>	6	7	6	5	5	8	7	7	6
<b>6</b>	6	5	7	5	4	7	5	8	6
<b>7</b>	5	6	7	6	6	7	7	5	6
<b>8</b>	6	4	8	7	5	8	7	7	5
<b>9</b>	7	4	8	6	5	8	7	6	7
<b>10</b>	7	5	6	5	6	8	7	6	7
<b>11</b>	6	4	5	7	5	8	8	5	6
<b>12</b>	5	7	7	6	7	8	7	8	6
<b>13</b>	7	8	7	8	8	8	7	7	7
<b>14</b>	9	8	8	8	8	8	7	8	8
<b>SUMA</b>	<b>87</b>	<b>87</b>	<b>92</b>	<b>89</b>	<b>81</b>	<b>109</b>	<b>97</b>	<b>91</b>	<b>89</b>
<b>MEDIA</b>	<b>6,21</b>	<b>6,21</b>	<b>6,57</b>	<b>6,36</b>	<b>5,79</b>	<b>7,79</b>	<b>6,93</b>	<b>6,50</b>	<b>6,98</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la **tabla IV-12** se puede observar que el tratamiento M6 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8 y M9 por lo que se concluye que el atributo de olor del tratamiento M6 tiene mayor aceptación por los jueces.

**Gráfica IV-2:** Valores promedio del atributo olor del aislado proteico

**Fuente:** Elaboración propia 2022

En la **gráfica IV-2**, se observa que la muestra de mejor aceptación para los jueces fue la muestra (M6), de pH 11,0 de extracción y pH 5,5 de precipitación, con un puntaje promedio de 7,79.

#### 4.13.1. Prueba de DUNCAN del atributo olor para determinar el pH de extracción y pH de precipitación

En la **tabla IV-13**, se muestra los resultados de la prueba estadística de Fisher del atributo olor, bajo el: IBM SPSS statistics 25.

**Tabla IV-13:** Resultados de la prueba estadística de Fisher del atributo olor.

Variable dependiente: olor					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	76,25 <sup>a</sup>	21	3,63	3,89	0,00
Intersección	5.362,57	1	5.362,57	5.739,23	0,00
juez	40,54	13	3,12	3,34	0,00
muestra	35,71	8	4,46	4,78	0,00
Error	97,17	104	0,93		
Total	5.536,00	126			
Total, corregido	173,43	125			

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022

En la **tabla IV-13**, se puede observar que las muestras son significativas para un  $p < 0,05$ .

**Tabla IV-14:** Prueba estadística de TUKEY del atributo olor

Muestra	N	Subconjunto	
		1	2
5	14	5,78	
1	14	6,21	
2	14	6,21	
9	14	6,36	
4	14	6,36	
8	14	6,50	
3	14	6,57	
7	14	6,93	6,93
6	14		7,78
Sig.		0,06	0,32

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022

En la **tabla IV-14**, se muestra la prueba estadística de tukey del atributo color, basado en la significancia entre tratamientos, en base a la tabla (VI-13).

En la **tabla IV-14**, también se observa que la muestra de mejor aceptación según el atributo color es la muestra M6 de (pH de extracción 11,0 y pH de precipitación 5,5), con un puntaje de 7,78 según el modelo empleado.

#### **4.14. Resultados de la evaluación sensorial del atributo sabor**

La **tabla IV-15**, se detalla todos los resultados de la evaluación sensorial del atributo sabor que se realizaron en todas las muestras las cuales fueron calificadas en una escala hedónica de nueve puntos, (ver anexo D.1.3: resultado prueba sensorial atributo sabor). Se puede observar que el tratamiento M6 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8 y M9 por lo que se concluye que el atributo de sabor del tratamiento M6 tiene mayor aceptación por los jueces.

**Tabla IV-15:** Resultado de la evaluación sensorial de atributo sabor

ATRIBUTO SABOR									
JUECES	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
1	5	6	7	5	8	9	7	7	6
2	6	6	7	7	7	7	5	6	6
3	7	5	5	6	7	8	8	7	8
4	5	3	5	5	5	8	5	5	5
5	7	4	7	6	7	8	8	7	8
6	8	9	6	7	5	7	5	6	7
7	6	5	6	4	4	9	8	5	7
8	4	6	7	5	6	7	7	7	8
9	6	7	7	5	8	8	8	5	8
10	5	8	4	6	5	9	8	8	8
11	5	5	5	6	7	8	5	7	6
12	5	6	5	7	5	8	5	5	8
13	4	8	7	7	7	7	7	7	6
14	9	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>SUMA</b>	<b>82</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>84</b>	<b>89</b>	<b>111</b>	<b>94</b>	<b>90</b>	<b>93</b>
<b>MEDIA</b>	<b>5,86</b>	<b>6,14</b>	<b>6,14</b>	<b>6,00</b>	<b>6,36</b>	<b>7,93</b>	<b>6,71</b>	<b>6,43</b>	<b>6,91</b>

Fuente: Elaboración propia, 2022

**Gráfico IV-3:** Valores promedio del atributo Sabor del aislado proteico

Fuente: Elaboración propia 2022

En el **gráfico IV-3**, se observa que la muestra de mejor aceptación para los jueces fue la muestra (M6), de pH 11,0 de extracción y pH 5,5 de precipitación, con un puntaje promedio de 7,93.

#### 4.14.1. Prueba de DUNCAN del atributo sabor para determinar el pH de extracción y pH de precipitación

En la **tabla IV-16**, se muestra los resultados de la prueba estadística de Fisher del atributo color, bajo el: IBM SPSS statistics 25.

**Tabla IV-16:** Resultados de la prueba estadística de Fisher del atributo sabor

Variable dependiente: Sabor					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	84,48 <sup>a</sup>	21	4,023	2,86	0,00
Intersección	5.220,01	1	5.220,01	3.705,47	0,00
Juez	42,99	13	3,31	2,35	0,01
Muestra	41,49	8	5,19	3,68	0,00
Error	146,51	104	1,41		
Total	5.451,00	126			
Total, corregido	230,99	125			

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022

En la **tabla IV-16**, se puede observar que las muestras son significativas para un  $p < 0,05$ .

**Tabla IV-17:** Prueba estadística de Duncan del atributo sabor

Muestra	Número de jueces	Subconjunto	
		1	2
5	14	5,78	
3	14	6,14	
2	14	6,21	
4	14	6,21	
8	14	6,21	
1	14	6,28	
9	14	6,28	
7	14	6,93	6,93
6	14		7,86
Sig.		0,222	0,49

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022

En la **tabla IV-17**, se observa que la muestra de mejor aceptación según el atributo sabor es la muestra M6 de (pH de extracción 11,0 y pH de precipitación 5,5), con un puntaje de 7,86, seguido muy de cerca la muestra M7.

En la tabla IV-17 también se muestra la prueba estadística de Duncan del atributo sabor, basado en la significancia entre tratamientos en base a la tabla (IV-16).

#### 4.15. Valoración global del análisis sensorial

A continuación, se presenta una valoración global de los tres atributos evaluados en la prueba sensorial tal como indica la tabla IV-18.

**Tabla IV-18** Ponderación promedio de los atributos valorados

N°	Atributo	Resultados promedio de los atributos valorados								
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
1	Color	6,29	6,21	6,14	6,21	5,79	7,86	6,93	6,21	6,96
2	Olor	6,21	6,21	6,57	6,36	5,79	7,79	6,93	6,50	6,98
3	Sabor	5,86	6,14	6,14	6,00	6,36	7,93	6,71	6,43	6,91
<b>Promedio</b>		6,12	6,19	6,29	6,19	5,98	7,86	6,86	6,38	6,95

**Fuente:** elaboración propia 2022

La **tabla IV-18** muestra los resultados promedio de cada atributo valorado, y por consiguiente se obtiene la valoración global promedio del análisis sensorial de los atributos analizados.

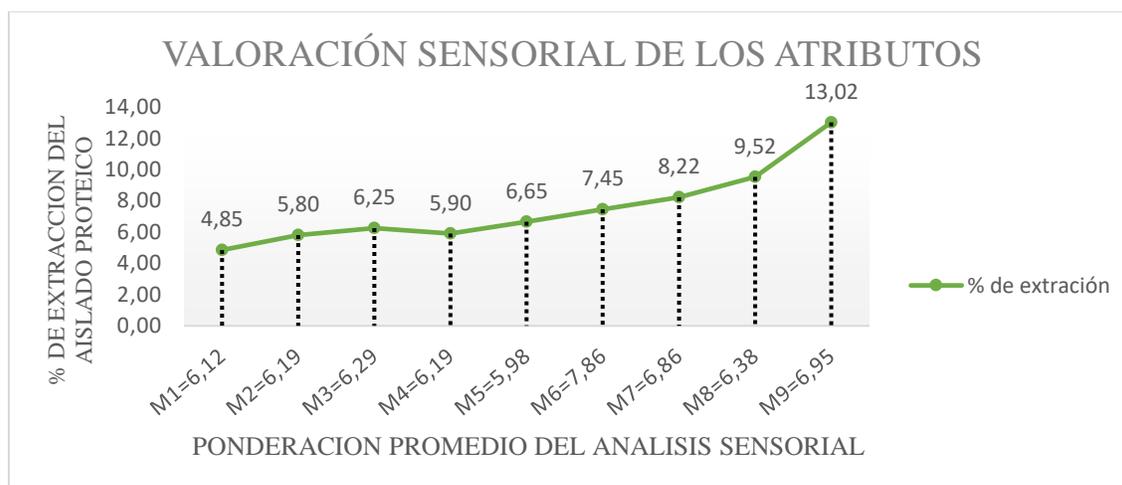
Con los valores promedio global obtenido se elabora la **tabla IV-19** en la cual se incluye los resultados de la variable respuesta (% de extracción), obtenidas experimentalmente.

**Tabla: IV-19:** Ponderación promedio global

Nº Muestra	Ponderación promedio global del análisis sensorial de los atributos valorados	% de extracción del aislado proteico
1	6,12	4,85
2	6,19	5,80
3	6,29	6,25
4	6,19	5,90
5	5,98	6,65
6	7,86	7,45
7	6,86	8,22
8	6,38	9,52
9	6,95	13,02
<b>Promedio global</b>	<b>6.53</b>	

**Fuente:** elaboración propia 2022

En la **tabla IV-19** se muestra el resultado de la ponderación promedio de las 9 muestras evaluadas y la global que es de 6.53 del análisis sensorial de los 3 atributos valorados y se incluye también los resultados de la variable respuesta (% extracción) como base para elaborar la **gráfica IV-4**.

**Gráfica IV-4:** Valoración global de los atributos en base al porcentaje de extracción

**Fuente:** Elaboración propia 2022

En el **grafico IV-4** se presenta la ponderación promedio global en base al porcentaje de extracción del aislado proteico, datos extraídos de la **tabla IV 27** (variable respuesta). En la gráfica se observa claramente que el atributo de mayor aceptación es la muestra 6 con una puntuación de 7,86 y con un porcentaje de extracción de 7,45%, mientras que la muestra 9 tiene una aceptación de 6,95 y un porcentaje de extracción de 13,02%. Tomando en cuenta la muestra 6 y 9 donde sus resultados de aceptación y porcentaje de extracción destacan del resto, se observa que los resultados de aceptación de la prueba sensorial en las dos muestras no hay mucha diferencia, pero sí en sus porcentajes de extracción. Se concluye que la mejor combinación de la prueba sensorial es la muestra 9, la cual presenta un óptimo porcentaje de extracción de 13,02% y una aceptación buena de 6,95 en una escala hedónica de 9 puntos.

#### **4.16. Resultado del desarrollo del diseño experimental en el proceso de extracción para la obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo**

El análisis estadístico se realizó mediante IBM SPSS versión 25.0; permite un tratamiento integrado de todas las fases del análisis de datos, obteniendo de esta manera los resultados más significativos. El diseño factorial, se realiza con el propósito de establecer si los factores pH de extracción y pH de precipitación tienen influencia en el porcentaje de extracción en el proceso de obtención del aislado proteico. En la **tabla IV-21**, se muestran los datos introducidos al programa de acuerdo al diseño factorial planteado; cada factor tiene un nivel alto (1), un nivel medio (0) un nivel bajo (-1). Se introdujeron todos los datos obtenidos del laboratorio, cada muestra con su respectiva réplica haciendo un total de 18 datos introducidos al programa expresados en porcentaje de extracción.

**Tabla IV-20:** Datos para el cálculo del análisis de varianza del % de extracción

Nº de corridas	pH de extracción	pH de precipitación	Extracción %
1	-1	-1	4,85
2	0	-1	5,80
3	1	-1	6,25
4	-1	0	5,90
5	0	0	6,65
6	1	0	7,45
7	-1	1	8,22
8	0	1	9,52
9	1	1	13,02
Replica			
10	-1	-1	4,25
11	0	-1	5,05
12	1	-1	6,05
13	-1	0	5,97
14	0	0	6,75
15	1	0	7,22
16	-1	1	8,45
17	0	1	10,20
18	1	1	12,52

**Fuente:** Elaboración propia, 2022.

En la **Tabla IV-20**, se muestra los datos que son introducidos al programa para un Diseño Factorial 3<sup>2</sup>.

**Tabla IV-21:** Factores Inter sujetos para el % de extracción

Factores Inter sujetos		
		N
pH ext.	-1	6
	0	6
	1	6
pH prec.	-1	6
	0	6
	1	6

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022.

En la **Tabla IV-21**, se muestra los factores y el número de niveles mostradas del programa IBM SPSS versión 25.0 obtenidas de la tabla IV-20.

**Tabla IV-22:** Pruebas de efectos Inter sujetos para el % de extracción

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: % de extracción					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	103,93 <sup>a</sup>	8	12,99	130,23	0,00
Intersección	999,34	1	999,34	10017,92	0,00
pHext	18,56	2	9,28	93,04	0,00
pHprec	79,09	2	39,54	396,41	0,00
pHext * pHprec	6,28	4	1,57	15,74	0,00
Error	0,89	9	0,10		
Total	1104,17	18			
Total, corregido	104,82	17			

Fuente: IBM SPSS statistics 25, 2022

La **Tabla IV-22** permite apreciar las variables significativas para la variable dependiente “% de extracción” en el proceso de obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo con un nivel de confianza del 95%, es decir, variables que poseen un nivel de significancia menor al 5%, las cuales son: pH de extracción y pH de precipitación.

El resultado de este análisis en el programa es para obtener la regresión lineal, el cual permite obtener una fórmula, la cual usando las variables del proceso da como resultado el porcentaje de extracción del modelo.

**Tabla IV-23:** Ajustes de datos para el modelo lineal general

Resumen del modelo <sup>b</sup>				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,96 <sup>a</sup>	0,91	0,89	0,80
a. Predictores: (Constante), pHext.pHprec, pHprec, pHext				
b. Variable dependiente: %				

Fuente: IBM SPSS statistics 25, 2022

En la **Tabla IV-23**, se muestra el resumen del modelo, el cual se ajusta a los datos a un  $R^2$  igual al 95,4 % de variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media.

**Tabla IV-24:** ANOVA para el porcentaje de extracción

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	95,85	3	31,95	49,84	0,00 <sup>b</sup>
	Residuo	8,97	14	0,64		
	Total	104,83	17			
a. Variable dependiente: porcentaje de extracción						
b. Predictores: (Constante), pHext.tpHprec, pHprec, pHext						

Fuente: IBM SPSS statistics 25, 2022.

En la **tabla IV-24** se muestran los cálculos realizados por el paquete IBM SPSS Statistics 25 para la determinación de los coeficientes o constantes para las ecuaciones de las correlaciones lineales del porcentaje de extracción.

**Tabla IV-25:** Coeficientes del modelo de Regresión Lineal para el porcentaje de extracción.

Coeficientes <sup>a</sup>								
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B		
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	7,45	0,19		39,48	0,00	7,05	7,86
	pHext	1,24	0,23	0,42	5,36	0,00	0,74	1,73
	pHprec	2,47	0,23	0,84	10,70	0,00	1,98	2,97
	pHext.pHprec	0,70	0,28	0,19	2,50	0,02	0,10	1,32

a. Variable dependiente: porcentaje de extracción

**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022.

La **tabla IV-25** muestra los coeficientes obtenidos de la recta de regresión lineal, ya mencionados en la tabla IV-24, donde el coeficiente correspondiente a la constante, es el origen de la regresión 7,45, el coeficiente correspondiente a pH ext es = 1,24 y el coeficiente de la variable pH prec = 2,47 y finalmente la interacción entre ambos factores es de 0,70.

Por lo tanto, la ecuación de la regresión lineal para el % de **extracción** es:

$$\% \text{ Extracción} = 7,45 + 1,24 \times \text{pH ext} + 2,47 \times \text{pH prec} + 0,70 \times \text{pHext.pHprec} \quad \text{Ecuación: 4-1}$$

**Donde:**

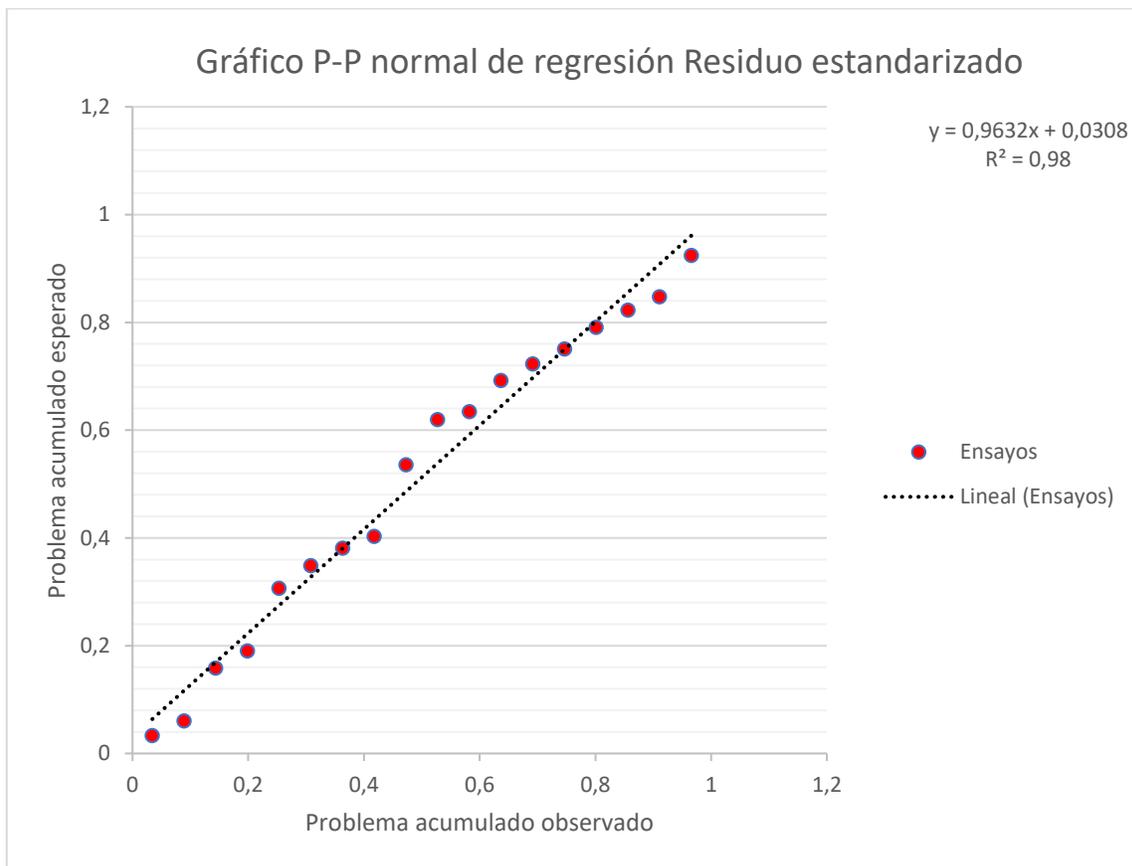
% Extracción: Porcentaje de extracción (variable respuesta)

**pH extr:** pH de extracción

**pH prec:** pH precipitación

De la ecuación 4-1 se analizó que, si el pH de extracción aumenta, el % de extracción de igual manera aumenta.

**Gráfica IV-5:** Probabilidad normal del porcentaje de Extracción



**Fuente:** IBM SPSS statistics 25, 2022.

En la **gráfica IV-5** se observa que existen puntos que están fuera de la línea, sin embargo, el desajuste no muestra gran significancia, se puede observar que el proceso experimental comparado con el proceso del programa es muy similar y se llega a la conclusión de que el modelo escogido es correcto.

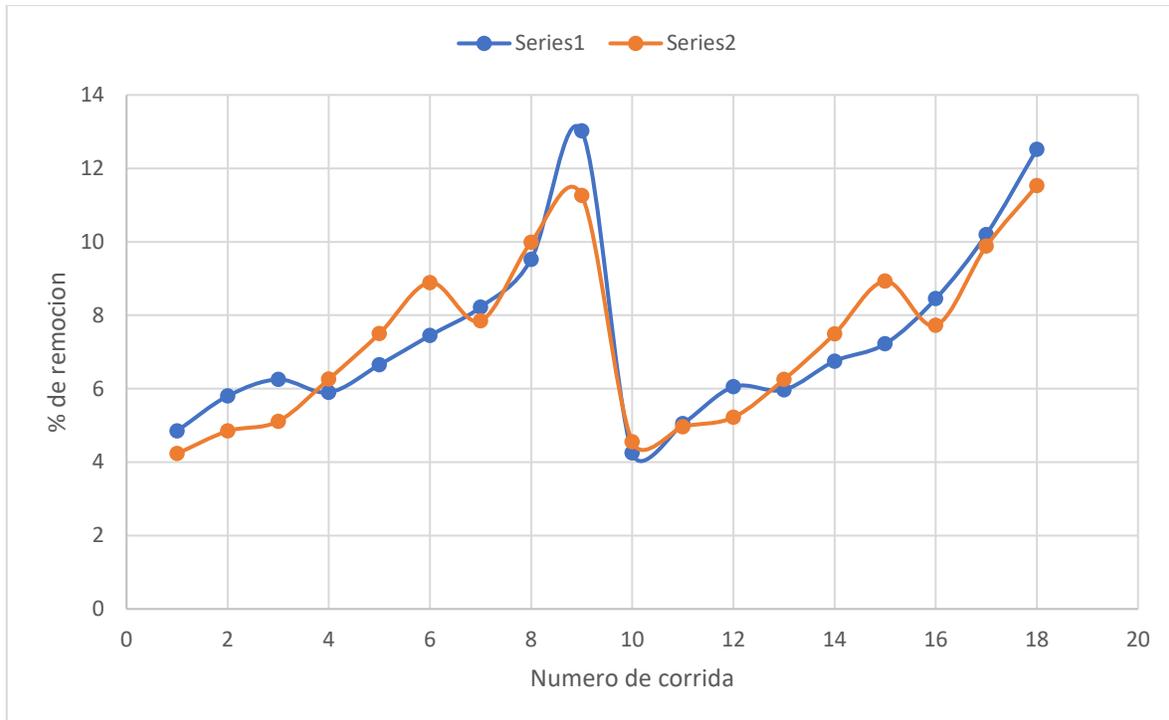
**Tabla IV-26:** Comparación del % de extracción observado y el % de extracción del modelo

Número de corridas	% Extracción observada	% Extracción modelo	Error
1	4,85	4,23319	0,61681
2	5,80	4,84516	0,95484
3	6,25	5,11362	1,13638
4	5,90	6,26226	-0,36226
5	6,65	7,49824	-0,84824
6	7,45	8,89032	-1,44032
7	8,22	7,84702	0,37298
8	9,52	9,98968	-0,46968
9	13,02	11,26191	1,75809
10	4,25	4,55234	-0,30234
11	5,05	4,96613	0,08387
12	6,05	5,2200	0,83000
13	5,97	6,25097	-0,28097
14	6,75	7,49235	-0,74235
15	7,22	8,92742	-1,70742
16	8,45	7,72468	0,72532
17	10,20	9,88000	0,32000
18	12,52	11,52787	0,99213

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

De la **tabla IV-26** se puede apreciar que no existe gran variación del % de extracción observado con el % de extracción del modelo, además se observa que los porcentajes de extracción más altos del modelo coinciden con las muestras **9 y 18**.

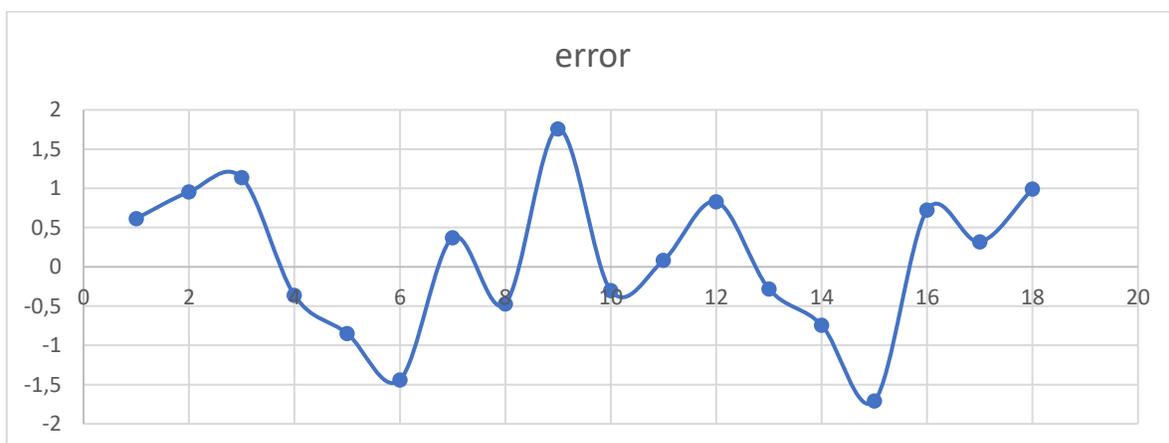
**Gráfica IV-6:** Comparación gráfica del % de extracción observado y el % de extracción del modelo



**Fuente:** Elaboración propia, 2022.

En la **gráfica IV-6** se observa la comparación de ambos porcentajes de extracción donde la línea azul es el porcentaje de extracción observado experimentalmente y la línea roja es el porcentaje de extracción del modelo.

**Gráfica IV-7:** Error entre % de extracción observado y el modelo



**Fuente:** Elaboración propia, 2022.

#### 4.17. Análisis de la influencia del pH

La influencia del pH en el proceso de extracción del aislado proteico es de fundamental importancia ya que a esto se deberá un óptimo porcentaje de extracción en el proceso.

A continuación, se muestra el análisis sobre la influencia de los parámetros (pH de extracción y el pH de precipitación), sobre el porcentaje de extracción en todo el proceso de obtención del aislado proteico.

#### 4.18. Resultados experimentales en el proceso de obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo

En la **tabla IV-27**, se muestra los resultados experimentales obtenidos del laboratorio, se detallan los resultados de cada extracción más sus respectivas réplicas, se ha trabajado con 20 gramos de materia prima cada prueba y expresadas en gramos y en porcentaje de extracción. También se detalla cómo influye el pH de extracción y el pH de precipitación en la extracción del aislado proteico, mostrando porcentajes de extracción significativos. Se aprecia que la muestra nueve es la que más extracción obtuvo, lo cual se corroboró con su respectiva réplica dando un resultado similar en la extracción.

**Tabla IV-27:** Resultados de todos los ensayos realizados más su respectiva réplica

N° Tratamientos	FACTORES		ENSAYO	RÉPLICA	ENSAYO	RÉPLICA
	pH Precipitación	pH Extracción	x (g)	y (g)	a (%)	b (%)
1	3,5	10	0,97	0,85	4,85	4,25
2	4,5	10	1,16	1,01	5,80	5,05
3	5,5	10	1,25	1,21	6,25	6,05
4	3,5	11	1,18	1,19	5,90	5,97
5	4,5	11	1,33	1,35	6,65	6,75
6	5,5	11	1,49	1,44	7,45	7,22
7	3,5	12	1,64	1,69	8,22	8,45
8	4,5	12	1,90	2,04	9,52	10,20
9	5,5	12	2,60	2,50	13,02	12,52

**Fuente:** Elaboración propia 2022

Donde:

x= Aislado proteico obtenido experimentalmente

y= Réplica de aislado obtenido experimentalmente

a= Aislado proteico expresado en % de extracción

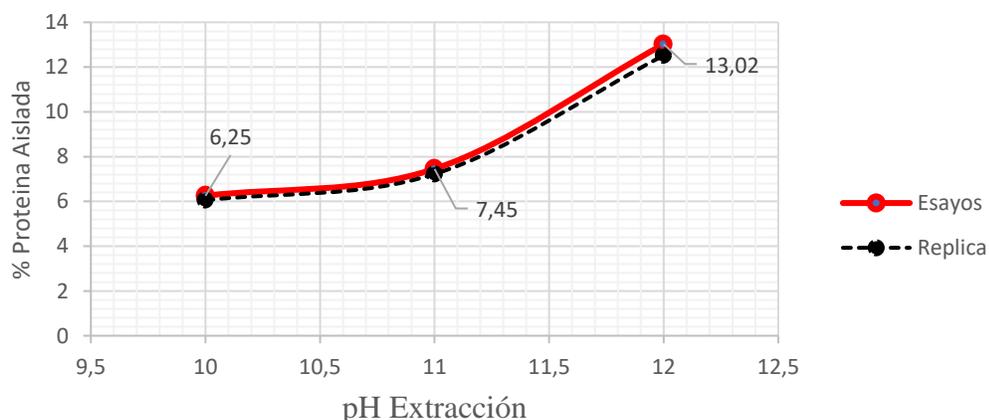
b= Réplica de aislado proteico expresado en % de extracción

Con los datos obtenidos experimentalmente del laboratorio que son mostrados en la tabla IV-27 se elabora los gráficos IV-8 y IV-9.

#### 4.19. Efecto del pH de extracción vs porcentaje de extracción

El **gráfico IV-8**, se muestra cómo el pH de extracción juega un papel muy importante en cantidad de proteína a extraer con referente a otro rango de pH. Se aprecia claramente cómo el porcentaje de extracción de la proteína va aumentando a medida que se eleva la alcalinidad de la muestra, donde a un pH de trabajo de 12 en la extracción muestra el máximo porcentaje de extracción en comparación con los otros pH propuestos en el diseño factorial de 11 y 10 de extracción, donde se ve diferencia significativa en los porcentajes de extracción; cabe recalcar que en los pHs de 10, 11 y 12 se trabajaron con 20 gramos de materia prima cada uno, donde el pH de 12 muestra mayor porcentaje de extracción a comparación de los otros 2, pese a que los 3 pHs de extracción se trabajaron con el mismo pH en la precipitación ácida de 5,5.

**Gráfico IV-8:** pH de extracción vs % de extracción

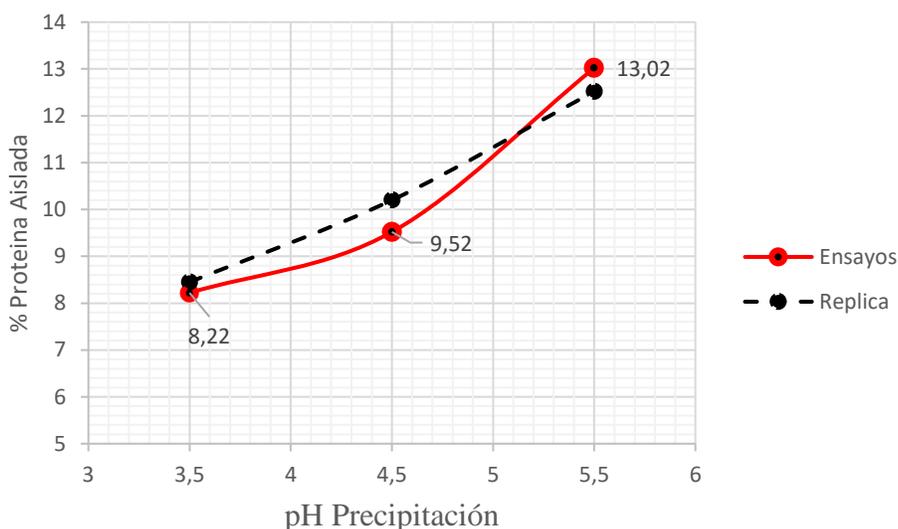


**Fuente:** Elaboración propia, 2022

#### 4.20. Efecto del pH de precipitación vs el porcentaje de extracción

En la **gráfica IV-9** muestra los efectos que ocurren en el pH de precipitación sobre el porcentaje de extracción. Se ve también cómo el pH de precipitación tiene mucha influencia en la extracción, donde a pH 5,5 de extracción más óptimo es el porcentaje de extracción a comparación de los pHs de 3,5 y 4,5 donde el incremento en el porcentaje de extracción es mínimo.

**Gráfica IV-9:** pH de precipitación vs % de extracción



**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la **gráfica IV-9**, se consideró un pH de extracción de 12, y una cantidad de materia prima igual que los otros ensayos de 20 gramos de harina, se comprobó que el pH de precipitación igual llega a influir en la cantidad de proteína a extraer, y ésta depende del pH de extracción que se utilice donde el pH 5,5 de extracción muestra mayor porcentaje de extracción en comparación de los otros de 4,5 y 3,5 trabajando con el mismo pH de extracción de 12.

En las gráficas IV-8 y IV-9 se muestra claramente: un pH óptimo de extracción alcalina de 12 junto a un pH 5,5 de precipitación acida. Se concluye que estos son los parámetros en los cuales se ve una óptima extracción del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.

#### **4.21. Condiciones óptimas para la extracción del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo**

Según el trabajo de investigación realizado para obtener el aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo, se da a conocer las condiciones más adecuadas para extraer el aislado proteico de harina de maíz criollo. Donde primero se tiene que hacer el acondicionamiento previo de la harina de maíz, se debe realizar un proceso de extracción solido líquido, donde se debe extraer la mayor cantidad de aceite residual, con el objetivo de que la pureza de la proteína a extraer sea considerada como aislado proteico, con un porcentaje de proteína total del 90%. **La mejor combinación para la obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo es pH 12 en la etapa de extracción y pH 5,5 en la etapa de precipitación.** En el presente proyecto de investigación, el extracto proteico extraído presentó un porcentaje de proteína total de 64,88%; se aclara que el bajo porcentaje de proteína pura que presentó el producto final, se debe a los reactivos empleados en el desgrasado de la harina, mencionados en el **capítulo III, acápite 3.12.2 y el párrafo cuarto.** También se concluye que la harina maíz producido en la región es de bajo contenido proteico en comparaciones a harinas de otras regiones.

#### **4.22. Balance de materia en todo el proceso de obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo**

La base de cálculo y todos los datos fueron tomados en el laboratorio de operaciones unitarias LOU de la carrera de Ingeniería Química, donde se realizó todos los ensayos, *se tomó como referencia para todo el balance de materia y energía el tratamiento que presentó mayor porcentaje de extracción del aislado proteico, el cual fue el tratamiento nueve M9.*

Los balances de materia se realizaron solo en las etapas que así lo requieren donde se puede apreciar diferencia en los valores de entrada como de salida de cada proceso.

#### 4.22.1. Etapa 1 solubilización de la proteína

Balance de materia en la mezcla harina-agua destilada con una dosificación 1:10 p/v

##### Datos obtenidos del laboratorio:

$M_h$  = Masa de la materia prima: 20,10 gramos de harina amarilla de maíz criollo

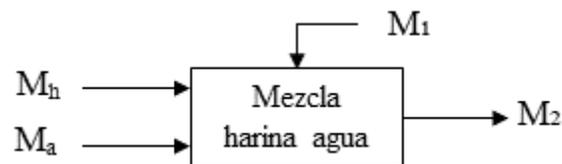
Volumen de agua destilada para la suspensión = 200 mL

$M_1$  = Masa de sulfito de sodio = 0,10g

$M_2$  = masa de la mezcla = ?

#### 4.22.2. Balance de materia en la mezcla harina agua

Figura IV-2: Balance de materia en el proceso de extracción



Donde:

$$\rho_{H_2O} = 0,98 \frac{g}{mL}$$

$$V_a = 200 \text{ mL} * 0,98 \frac{g}{mL} = 196,32g$$

$$M_h + M_a + M_1 = M_2 \quad (\text{Ecuación 4-1})$$

Reemplazando datos en la ecuación (4-1), tenemos:

$$M_2 = 20,10g + 196,32g + 0,10g$$

$$M_2 = 216,52g \text{ de la mezcla}$$

#### 4.22.3. Balance de Materia en el proceso de extracción de la proteína

##### Datos obtenidos del ensayo:

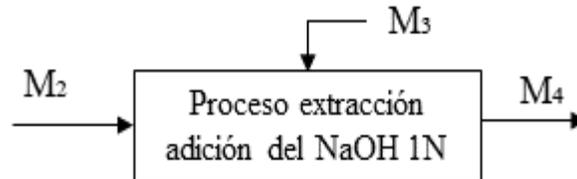
Volumen gastado de NaOH 1N = 10,50 mL

$M_3$  = Masa de NaOH gastado

$$\rho_{\text{NaOH}} = 1,00 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = \text{Densidad del NaOH}$$

$M_4$  = masa de la mezcla en la extracción = ?

**Figura IV-3:** Balance de materia en la etapa de extracción



#### Balance de materia en la etapa de extracción

Dónde:

$$M_2 = 216,52\text{g}$$

$$M_3 = 105\text{mL} * 1,00 \frac{\text{gr}}{\text{mL}} = 10,51\text{g}$$

$$M_2 + M_3 = M_4$$

(Ecuación 4 -2)

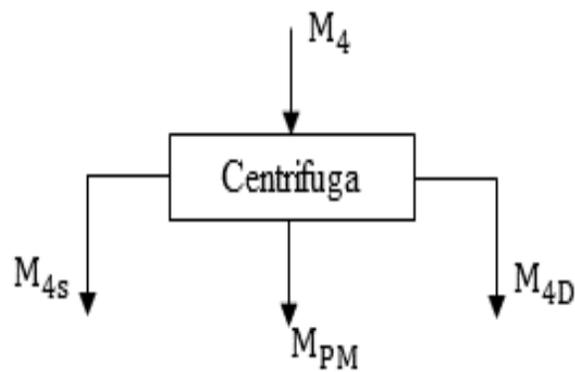
Reemplazando datos en la ecuación (4-2), tenemos:

$$M_4 = 216,52\text{g} + 10,51\text{g}$$

$$M_4 = 227,03\text{g} \text{ Masa de la mezcla en la extracción}$$

#### 4.22.4. Balance de materia en el proceso de centrifugación

**Figura IV-4:** Balance de materia en la centrifugación



**Datos obtenidos del laboratorio:**

$M_4$  = Masa mezcla = 227,03g

$M_{4s}$  = Masa del sobrenadante recuperado = 165,00g

$M_{4D}$  = Masa desecho sólido resto de harina = 56,17g

$M_{PM}$  = Masa de la mezcla que se pierde = ?

**Balance de materia en el proceso de centrifugación**

$$M_4 = M_{4s} + M_{PM} + M_{4D} \quad (\text{Ecuación 4-3})$$

Despejando  $M_{PM}$  de la ecuación 4-3

$$M_{PM} = M_4 - M_{4s} - M_{4D} \quad (\text{Ecuación 4-4})$$

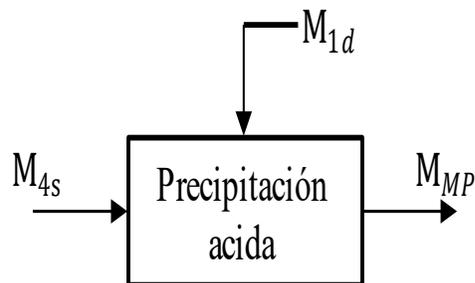
Reemplazando datos en la ecuación (4-4), tenemos:

$$M_{PM} = 227,03g - 165,00g - 56,17g$$

$M_{PM} = 5,86g$  de masa de la mezcla que se pierde durante el proceso de centrifugación

**4.23. Etapa 2 Balance de materia en el proceso de precipitación acida**

**Figura IV-5:** Balance de materia durante la precipitación ácida

**Donde:**

$M_{4s}$  = Masa del sobrenadante recuperado

$M_{1d}$  = Masa del ácido clorhídrico 1N adicionado

$M_{MP}$  = Masa de la mezcla precipitada = ?

**Datos obtenidos del ensayo:**

$$M_{4S} = 165,00\text{g}$$

$$M_{1d} = 2,50\text{mL} * 0,99 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

$$M_{1d} = 2,49\text{g}$$

**Balance de materia en el proceso de precipitación**

$$M_{4S} + M_{1d} = M_{MP} \quad (\text{Ecuación 4-5})$$

Reemplazando datos en la ecuación (4-5), tenemos:

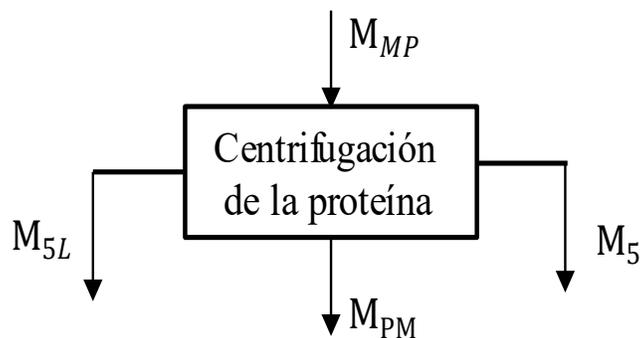
$$M_{MP} = 165,00\text{g} + 2,49\text{g}$$

$$M_{MP} = 167,49\text{g}$$

De la mezcla en la precipitación acida

**4.23.1. Balance de materia en el proceso de centrifugación de la proteína**

**Figura IV-6:** Balance de materia en la centrifugación

**Donde:**

$M_{MP}$  = Masa de la mezcla precipitada

$M_{5L}$  = Masa del sobrenadante líquido (desechado)

$M_5$  = Masa de la proteína de maíz aislada

$M_{PM}$  = Masa de la mezcla perdida en el proceso de centrifugación =?

**Datos obtenidos del ensayo:**

$$M_{MP} = 167,49\text{g}$$

$$M_{5L} = 150,71\text{g de agua desechada}$$

$$M_5 = 14,05\text{g de proteína aislada}$$

**Balance de materia en la centrifugación de la proteína**

$$M_{1MP} = M_{5L} + M_{PM} + M_5 \quad (\text{Ecuación 4-6})$$

Despejando  $M_{PM}$  de la ecuación (4-6), tenemos

$$M_{PM} = M_{MP} - M_{5L} - M_5 \quad (\text{Ecuación 4-7})$$

Reemplazando datos en la ecuación (4-7), tenemos:

$$M_{PM} = 167,49\text{g} - 150,71\text{g} - 14,05\text{g}$$

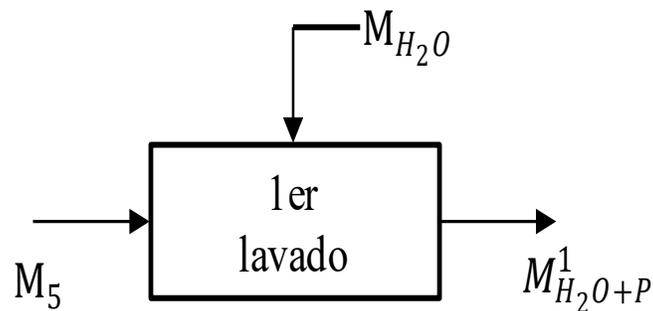
$$M_{PM} = 2,73\text{g de mezcla que se pierde en el proceso de centrifugación}$$

**4.23.2. Balance de materia en el proceso de lavado**

El proceso se lo realizó en tres lavados para así neutralizar la proteína extraída en medio ácido, se realizó los balances de materia en cada lavado.

**Primer lavado**

**Figura IV-7:** Balance de materia en la etapa de lavado



**Donde:**

$M_5$  = Masa de la proteína de maíz aislada

$M_{H_2O}$  = Masa de agua para el lavado

$M_{H_2O+P}^1$  = Masa de la mezcla agua y proteína =?

**Datos obtenidos del ensayo:**

$M_5 = 14,05g$

$M_{H_2O} = 105,00mL * 0,98 \frac{g}{mL}$

$M_{H_2O} = 103,06g$

**Balance de materia en el primer lavado**

$M_5 + M_{H_2O} = M_{H_2O+P}^1$  (Ecuación 4-8)

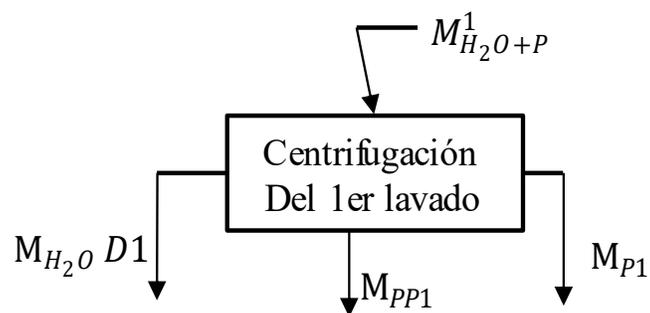
Reemplazando datos en la ecuación (4-8), tenemos:

$M_{H_2O+P}^1 = 14,05 g + 103,06g$

$M_{H_2O+P}^1 = 117,11g$  de mezcla de agua y proteína

**4.23.3. Balance de materia en la centrifugación del primer lavado**

**Figura IV-8:** Balance de materia en la centrifuga



**Donde:**

$M_{H_2O+P}^1$  = Masa de la mezcla agua y proteína

$M_{H_2O}D1$  = Masa del agua de desecho del primer lavado

$M_{PP1}$  = Masa de proteína que se pierde en el primer lavado

$M_{P1}$  = Masa de proteína recuperada en el primer lavado

**Datos obtenidos del ensayo:**

$M_{H_2O+P}^1 = 117,11g$

$M_{H_2O}D1 = 102,20g$

$M_{P1} = 13,92g$

**Balance de materia en la etapa de centrifugación del primer lavado**

$$M_{H_2O+P}^1 = M_{H_2O}D1 + M_{PP1} + M_{P1} \quad (\text{Ecuación 4-9})$$

Despejando  $M_{PP1}$  de la ecuación (4-9), tenemos:

$$M_{PP1} = M_{H_2O+P}^1 - M_{H_2O}D1 - M_{P1} \quad (\text{Ecuación 4-10})$$

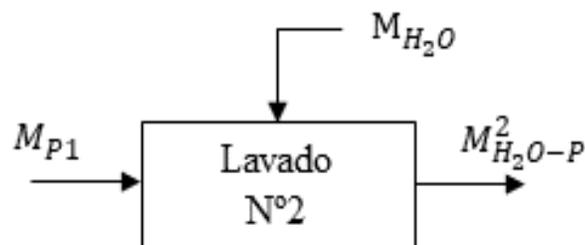
Reemplazando datos en la ecuación (4-10), tenemos:

$$M_{PP1} = 117,11g - 102,20g - 13,92g$$

**$M_{PP1} = 0,99g$  de proteína que se pierde en la etapa del primer lavado**

**Segundo lavado**

**Figura IV-9:** Balance de materia en el segundo lavado



**Donde:**

$M_{P1}$  = Masa de proteína recuperada del primer lavado

$M_{H_2O}$  = Masa de agua para el segundo lavado

$M_{H_2O-P}^2$  = Masa de la mezcla agua y proteína =?

**Datos obtenidos del ensayo:**

$M_{P1} = 13,92g$

$M_{H_2O} = 103,06g$

**Balance de materia en la etapa de segundo lavado**

$$M_{P1} + M_{H_2O} = M_{H_2O-P}^2 \quad (\text{Ecuación 4-11})$$

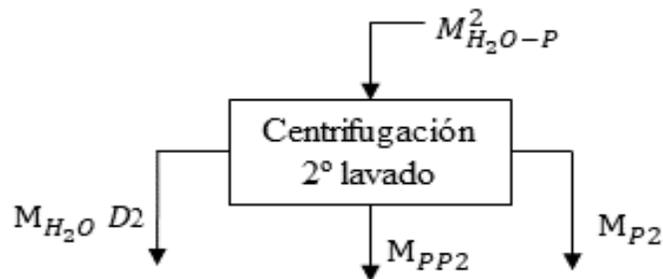
Reemplazando datos en la ecuación (4-11), tenemos:

$$M_{H_2O-P}^2 = 13,92g + 103,06g$$

$$M_{H_2O-P}^2 = 116,98g \text{ de mezcla agua y proteína}$$

#### 4.23.4. Balance de materia en la etapa de centrifugación del segundo lavado

**Figura IV-10:** Centrifugación en el segundo lavado



**Donde:**

$M_{H_2O-P}^2$  = Masa mezcla agua y proteína

$M_{H_2O} D2$  = Masa del agua de desecho del segundo lavado

$M_{PP2}$  = Masa de proteína que se pierde del segundo lavado = ?

$M_{P2}$  = Masa de proteína que se recupera del segundo lavado

**Datos obtenidos del ensayo:**

$$M_{H_2O-P}^2 = 116,98g$$

$$M_{H_2O}D2 = 102,99g$$

$$M_{P2} = 13,85g$$

**Balance de materia segundo lavado etapa de centrifugación**

$$M_{H_2O-P}^2 = M_{H_2O}D2 + M_{PP2} + M_{P2} \quad (\text{Ecuación 4-12})$$

Despejando  $M_{PP2}$  de la ecuación (4-12), tenemos:

$$M_{PP2} = M_{H_2O-P}^2 - M_{H_2O}D2 - M_{P2} \quad (\text{Ecuación 4-13})$$

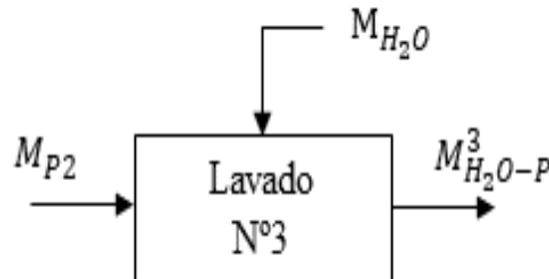
Reemplazando datos en la ecuación (4-13), tenemos:

$$M_{PP2} = 116,98g - 102,99g - 13,85g$$

**$M_{PP2} = 0,14g$  de proteína que se pierde en la segunda etapa de lavado**

**Tercer lavado**

**Figura IV-11: Balance de materia en el tercer lavado**

**Donde:**

$M_{P2}$  = Masa de proteína recuperada en el segundo lavado

$M_{H_2O}$  = Masa de agua para el tercer lavado

$M_{H_2O-P}^3$  = Masa de la mezcla agua y proteína en el tercer lavado = ?

**Datos obtenidos del ensayo:**

$$M_{P2} = 13,85\text{g}$$

$$M_{H_2O} = 103,06\text{g}$$

**Balance de materia en el tercer lavado**

$$M_{P2} + M_{H_2O} = M_{H_2O-P}^3 \quad (\text{Ecuación 4-14})$$

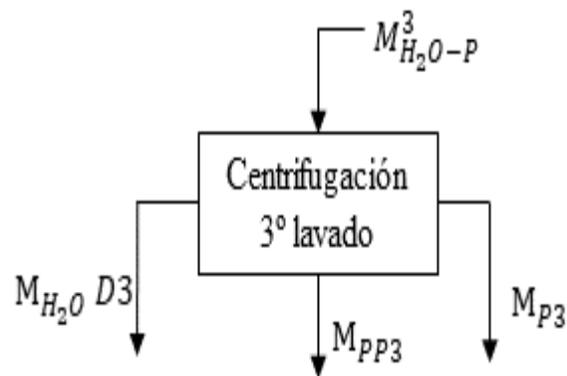
Reemplazando datos en la ecuación (4-14), tenemos:

$$M_{H_2O-P}^3 = 13,85\text{g} + 103,06\text{g}$$

$$M_{H_2O-P}^3 = 116,91\text{g de mezcla agua y proteína del tercer lavado}$$

**4.23.5. Balance de materia en la etapa de centrifugación del tercer lavado**

**Figura IV-12:** Centrifugación del tercer lavado

**Donde:**

$M_{H_2O-P}^3$  = Masa de la mezcla agua y proteína en el tercer lavado

$M_{H_2O} D3$  = Masa del agua de desecho del tercer lavado

$M_{PP3}$  = Masa de proteína que se pierde en el tercer lavado = ?

$M_{P3}$  = Masa de proteína recuperada en el tercer lavado

**Datos obtenidos del ensayo:**

$$M_{\text{H}_2\text{O-P}}^3 = 116,91\text{g}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}D3} = 103,00\text{g}$$

$$M_{P3} = 13,71\text{g}$$

**Balance de materia en la etapa de centrifugación**

$$M_{\text{H}_2\text{O-P}}^3 = M_{\text{H}_2\text{O}D3} + M_{PP3} + M_{P3} \quad (\text{Ecuación 4-15})$$

Despejando  $M_{PP3}$  de la ecuación (4-15), tenemos:

$$M_{PP3} = M_{\text{H}_2\text{O-P}}^3 - M_{\text{H}_2\text{O}D3} - M_{P3} \quad (\text{Ecuación 4-16})$$

Reemplazando datos en la ecuación (4-16), tenemos:

$$M_{PP3} = 116,91\text{g} - 103,00\text{g} - 13,71\text{g}$$

**$M_{PP3} = 0,20\text{g}$  de proteína que se pierde en el tercer lavado**

**4.23.6. Proteína aislada total que se pierde en todo el proceso de lavado****Dónde:**

$M_{PP1}$  = Masa de proteína perdida en el primer lavado

$M_{PP2}$  = Masa de proteína perdida en el segundo lavado

$M_{PP3}$  = Masa de proteína perdida en el tercer lavado

$M_{PTP}$  = Masa de proteína total perdida

**Resultados del ensayo en las 3 etapas de lavado:**

$$M_{PP1} = 0,99\text{g}$$

$$M_{PP2} = 0,14\text{g}$$

$$M_{PP3} = 0,20\text{g}$$

**Entonces:**

$$M_{PTP} = M_{PP1} + M_{PP2} + M_{PP3} \quad (\text{Ecuación 4-17})$$

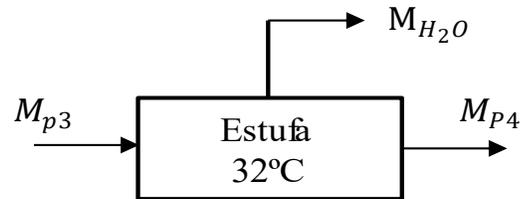
Reemplazando datos en la ecuación (4-17), tenemos:

$$M_{PTP} = 0,99g + 0,14g + 0,20g$$

$M_{PTP} = 1,39g$  de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo que se pierde durante los tres lavados para neutralizar la proteína.

#### 4.23.7. Balance de materia en la etapa de secado

**Figura IV-13:** Balance de materia en la etapa de secado de la proteína de maíz



**Donde:**

$M_{P3}$  = Masa de proteína lavada húmeda

$M_{P4}$  = Masa de proteína secada en la estufa

$M_{H_2O}$  = Masa de agua recuperada en el proceso de secado

**Datos obtenidos del ensayo:**

$$M_{P3} = 13,71g$$

$$M_{P4} = 2,66g$$

Para proceder al cálculo del agua evaporada se aplicará la siguiente ecuación

$$\Delta E = S * (W_1 - W_2) \quad \text{(Ecuación 4-18)}$$

**Fuente:** Valiente, A. 1994

Dónde:

$\Delta E$  = Cantidad de agua evaporada en el proceso de secado (g)

$W_1$  = Contenido de humedad en base seca de la proteína húmeda  $\left( \frac{g\text{-agua}}{g\text{-sólido seco}} \right)$

$W_2$  = Contenido de humedad en base seca de la proteína seca  $\left( \frac{g\text{-agua}}{g\text{-sólido seco}} \right)$

Reordenando la ecuación en función de la humedad

$$\Delta E = M_{55} * (X_{PL} - X_{P5}) \quad (\text{Ecuación 4-19})$$

Dónde:

$$X_{PL} = 4,66 \left( \frac{\text{g - agua}}{\text{g - solido seco}} \right)$$

$$X_{P5} = 0,05 \left( \frac{\text{g - agua}}{\text{g - solido seco}} \right)$$

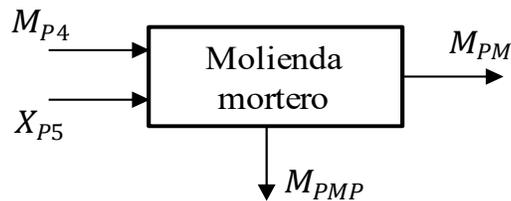
Reemplazando datos en la ecuación (4-19), tenemos:

$$\Delta E = 2,60\text{g} * (4,66 - 0,05) \left( \frac{\text{g - agua}}{\text{g - solido seco}} \right)$$

$\Delta E = 11,98\text{g}$  de agua evaporada en el proceso de secado en la estufa

#### 4.23.8. Balance de materia en el proceso de molido de proteína

**Figura IV-14:** Balance de materia en la molienda de la proteína



**Donde:**

$M_{P4}$  = Masa de la proteína seca

$M_{PM}$  = Masa de la proteína molida

$M_{PMP}$  = Masa de la proteína perdida en la molienda

$X_{P4}$  = Contenido en base seca de la proteína

**Datos obtenidos del ensayo:**

$$M_{P4} = 2,60\text{g}$$

$$M_{PM} = 2,49\text{g}$$

$$X_{P5} = 0,01 \left( \frac{\text{g-agua}}{\text{g-solido seco}} \right)$$

Referencia, Valiente, A. 1994

### **Balance de materia en la etapa de molienda**

$$M_{P4} = M_{PM} + M_{PMP} \quad (\text{Ecuación 4-20})$$

Despejando  $M_{PMP}$  de la ecuación (4-20), tenemos:

$$M_{PMP} = M_{P4} - M_{PM} \quad (\text{Ecuación 4-21})$$

Reemplazando datos en la ecuación (4-21), tenemos:

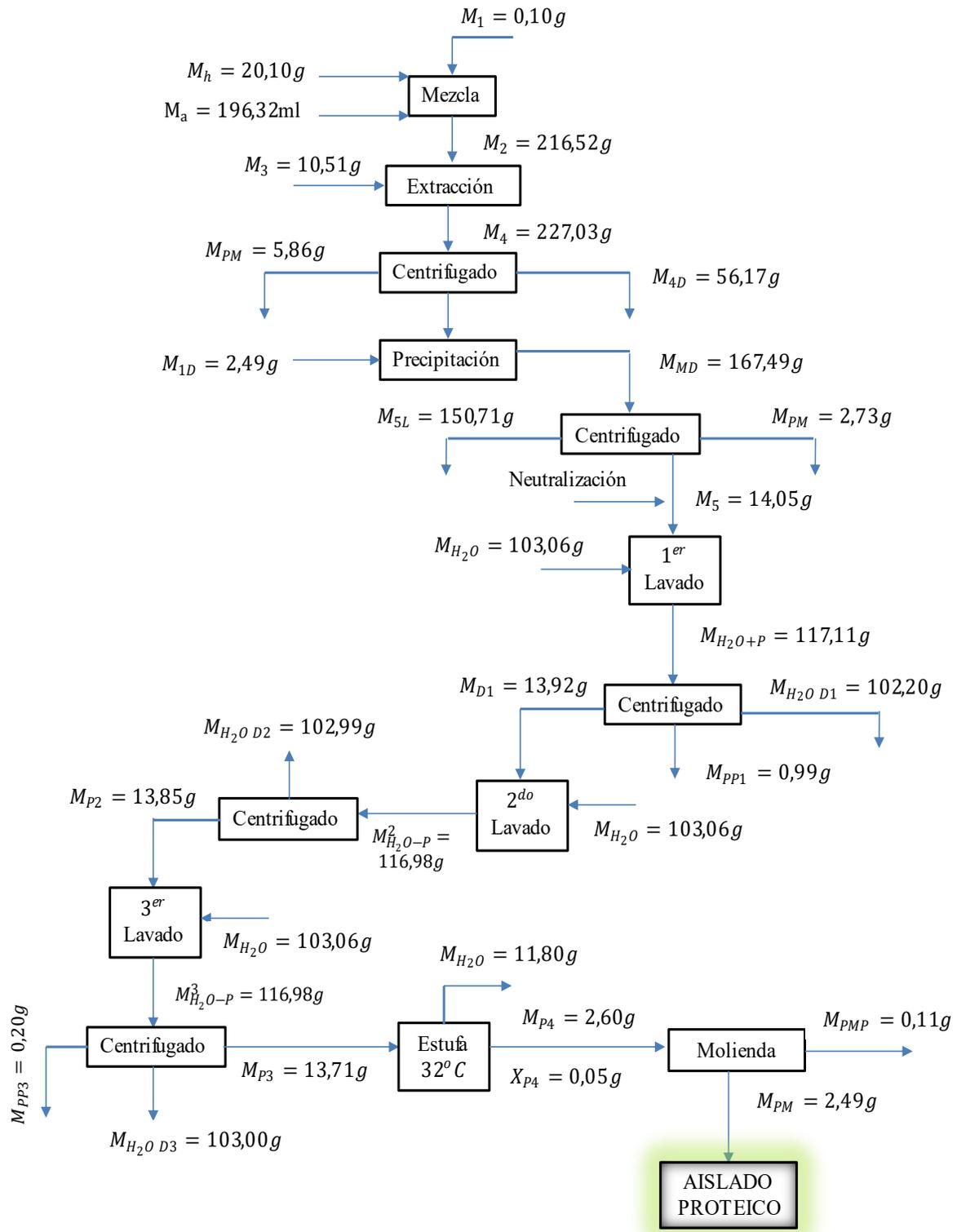
$$M_{PMP} = 2,60\text{g} - 2,49\text{g}$$

### **$M_{PMP} = 0,11\text{g}$ De proteína que se pierde en la molienda**

A continuación, en el diagrama se muestra todo el balance de materia en general desde el inicio hasta la obtención del producto final. Donde se detalla las corrientes con los valores calculados en referencia a las pérdidas del producto final que se presentó en cada etapa del proceso de obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.

El balance de materia general detallada en el **diagrama IV-1** está elaborada en base a la combinación que presento mejor porcentaje de extracción, dicha combinación corresponde al tratamiento nueve M 9, en el diagrama se muestran todos los resultados obtenidos del balance de materia.

Diagrama IV-1: Balance de materia general



Fuente: Elaboración propia 2022

#### 4.24. Balance de energía

El gasto energético o energía eléctrica consumida solo se realizó en los equipos que así lo requieren como en el agitador magnético, centrífuga y en la etapa de secado en la cual se utilizó una estufa de convección mecánica sin flujo de aire.

##### 4.24.1. Equipo: agitador magnético

A continuación, se detalla en la **tabla IV-28**, todo el tiempo de uso del agitador magnético en diferentes etapas.

**Tabla IV-28:** Detalle del tiempo de uso del agitador magnético en todo el proceso

Proceso	Tiempo (min)	Nº de agitaciones de Todos los ensayos y réplicas	Total (min)	Total (h)
Mezclado harina- agua	10	19	190	3,16
Agitación en medio alcalino	60	19	1140	19,00
Agitación en medio ácido	15	19	285	4,75
Total			1615	26,91

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

#### Datos del equipo

**Potencia: 640 watt**

$$P = 640 \text{ watt} \cdot \frac{1\text{kw}}{1000\text{watt}} = 0,64 \text{ kw}$$

$$P = \frac{E}{T}$$

Ecuación: 3-22

Dónde:

P= Potencia eléctrica (kw)

E = Energía consumida en una unidad de tiempo (kwh)

t = Tiempo (h)

Despejando E de la ecuación (3-22),

$$\epsilon = P \cdot t \quad \text{Ecuación 3-23}$$

$$\epsilon = 0,64\text{kw} \cdot 26,91\text{h} = 17,22\text{kwh}$$

El gasto energético del agitador magnético que se requirió para toda la parte experimental del proyecto, que son los ensayos propuestos en el diseño factorial con sus respectivas réplicas; cada ensayo fue de 17,22 kwh.

#### 4.24.2. Equipo: centrífuga

A continuación, se detalla en la **tabla IV-29**, todo el tiempo de uso la centrífuga en diferentes etapas.

**Tabla IV-29:** Detalle del tiempo de uso de la centrífuga en todo el proceso

Proceso	Tiempo (min)	Nº de Centrifugación rpm	Total (min)	Total (h)
Extracción	15	19	285	4,75
Precipitación	15	19	285	4,75
Lavado	15	19x3	855	14,25
Total			1.425	23,75

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

Datos de equipo

Potencia: 520 watt

$$P = 520 \text{ watt} \cdot \frac{1\text{kw}}{1000\text{watt}} = 0,52\text{kw}$$

$$P = \frac{\epsilon}{T} \quad \text{Ecuación 3-24}$$

**Donde:**

P= Potencia eléctrica (kw)

E = Energía consumida en una unidad de tiempo (kwh)

t = Tiempo (h)

Despejando E de la ecuación (3-24)

$$E = P \cdot t \quad \text{Ecuación 3-25}$$

$$E = 0,52kw \cdot 23,75h = 11,96kwh$$

El gasto energético de la centrifuga que se requirió para toda la parte experimental del proyecto, que son los ensayos propuestos en el diseño factorial con sus respectivas replicas cada ensayo fue de 11,96 kwh.

#### 4.24.3. Equipo: estufa eléctrica sin flujo de aire

A continuación, se detalla en la **tabla IV-30**, el tiempo de uso la estufa eléctrica.

**Tabla IV-30:** Detalle del tiempo de uso de estufa eléctrica en todo el proceso

Equipo	Tiempo (hora)	Nº de muestras a secar	Total (h)	Total (día)
Estufa	24	19	456	19

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

#### Datos de equipo

Potencia: 120 watt

$$P = 120 \text{ watt} \cdot \frac{1kw}{1000watt} = 0,12kw$$

$$P = \frac{E}{T} \quad \text{Ecuación: 3-26}$$

Dónde:

P= Potencia eléctrica (kw)

E = Energía consumida en una unidad de tiempo (kwh)

t = Tiempo (h)

Despejando E de la ecuación (3-26)

$$\epsilon = P \cdot t \quad \text{Ecuación: 3-27}$$

$$\epsilon = 0,12\text{kw} \cdot 456,00\text{h} = 54,72\text{kwh}$$

El gasto energético requerido por la estufa eléctrica sin flujo de aire para toda la parte experimental del proyecto, que son los ensayos propuestos en el diseño factorial con su respectiva replica cada ensayo fue de 54,72 kwh..

#### 4.24.4. Gasto energético total

El gasto energético total que se requirió para todo el proceso de obtención de aislado proteico a partir de harina amarilla de maíz criollo, mediante método alcalino a escala laboratorio, lo detalla la **tabla IV-31**.

**Tabla IV-31:** Detalle del gasto energético de cada equipo

Equipo	Potencia (kw)	Tiempo (h)	Gasto energético (kwh)
Agitador magnético	0,64	26,91	17,22
Centrífuga	0,52	23,75	11,96
Estufa eléctrica	0,12	456,00	54,72
Total	1,28	506,66	83,90

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

Tal como indica la **tabla IV- 31**, se muestra el detalle del gasto de energía eléctrica de cada equipo y el gasto total de todos los equipos requeridos para el presente proyecto, que es de 83,9 kwh de energía eléctrica requerido para todo el proceso de obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo mediante método alcalino a escala laboratorio.

**CAPÍTULO V**  
**ANÁLISIS DE COSTOS DE PROYECTO**

### 5.1. Determinación del costo para la obtención del aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo

El análisis de costo es simplemente el proceso e identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto planteado. El análisis de costo determina la calidad y cantidad de recursos necesarios. Entre otros factores, analiza el costo del proyecto en términos de dinero.

Para determinar los costos del presente proyecto se toman en cuenta los datos empleados en el balance de materia, insumos, análisis, materiales, gastos energéticos de los equipos y otros utilizados durante el proceso de obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.

En la **tabla V-1**, se muestra a detalle los costos de la materia prima e insumos para llegar a cabo la parte experimental del proyecto.

**Tabla V-1:** Costo de materia prima y reactivos

N°	Detalle	Cantidad	Unidad	Costo (Bs.)	Total (Bs.)
1	Harina de Monte Cristo	2	kg	18,00	36
2	Harina amarilla criolla	4	kg	7,00	28
3	NaOH 1 N	2	litros	25,00	50
4	HCl 1N	1	litros	130,00	130
5	Agua destilada	20	litros	6,50	130
<b>TOTAL</b>					374

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la siguiente tabla V-2 se muestra los costos de los materiales utilizados en la investigación.

**Tabla V-2:** Costos de materiales de trabajo

N°	Detalle	Cantidad	Costo Unitario (Bs.)	Total (Bs.)
1	Vaso de precipitado	3	30,0	90,0
2	pH metro	1	250,0	250,0
3	Cajas Petri	6	25,0	150,0
4	Cucharillas	5	2,0	10,0
5	Espátula plástica	2	5,0	10,0
6	Probeta plástica	2	35,0	70,0
7	Recipiente	2	10,0	20,0
10	Pipeta graduada 10 ml	1	20,0	20,0
11	Pipeta graduada 5 ml	1	16,0	16,0
12	Mortero de porcelana	1	50,0	50,0
13	Bolsas plásticas	15	0,5	7,5
14	Frascos pequeños vidrio	18	2,0	36,0
15	Guantes látex	3 pares	1,5	4,5
16	Jarras de plástico	2	10,0	20,0
17	Cocina eléctrica	1	110,0	110,0
<b>TOTAL</b>				<b>884</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la siguiente tabla V-3 se detalla los materiales de escritorio utilizado.

**Tabla V-3:** Costo de materiales de escritorio

N°	Detalle	Cantidad	Costo Unitario (Bs.)	Total (Bs.)
1	Cuaderno de apuntes	1	15,00	15,0
2	Marcadores	2	5,00	10,0
3	Cinta masking	3	5,00	15,0
5	Fotocopias	30	0,15	4,5
6	Papel filtro	5	5,00	25,0
<b>TOTAL</b>				<b>69.50</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la siguiente tabla se describe el costo de investigación del proyecto de obtención de aislado proteico.

**Tabla V-4:** Costo de investigación del proyecto

Nº	Descripción	Especificación	Costo Unitario (Bs.)	Total (Bs.)
1	Internet	Internet	3	150
2	Comunicación	Llamadas consultas	1	20
3	Transporte	Pasajes	2	200
<b>TOTAL</b>				<b>370</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

En la siguiente tabla V-5 se detalla el costo de los análisis de laboratorio realizados en la materia prima y en el producto final.

**Tabla V-5:** Costos de análisis de laboratorio

Nº	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Bs.)	Total (Bs.)
1	Azúcares reductores	%	1	90	90
2	Azúcares totales	%	1	100	100
3	Cenizas	%	2	70	140
4	Fibra	%	2	100	200
5	Materia grasa	%	3	90	270
6	Hidratos de carbono	%	2	10	20
7	Humedad	%	2	40	80
8	Proteína total	%	3	100	300
9	Fósforo	%	1	90	90
10	Hierro total	mg/100 g	1	180	180
11	Potasio total	mg/100 g	1	180	180
12	Magnesio total	mg/100 g	1	180	180
13	Zinc total	mg/100 g	1	180	180
14	Valor energético	kcal/100g	2	10	20
15	Coliformes totales	UFC/g	1	100	100
16	Coliformes fecales	UFC/g	1	100	100
17	Mohos y levaduras	UFC/g	1	100	100
<b>TOTAL</b>					<b>2770</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**Tabla V-6:** Costos de energía eléctrica

Nº	Equipo	Potencia (kw)	Tiempo (hora)	Energía (kwh)	Costo unitario (Bs.)	Total (Bs.)
1	Agitador magnético	0,64	26,91	17,22	0,84	14,46
2	Centrifuga	0,52	23,75	11,96	0,84	10,04
3	Estufa	0,12	456	54,72	0,84	45,96
<b>TOTAL</b>						70,46

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

El costo de 1 kwh de energía eléctrica suministrado por la empresa SETAR S.A de la ciudad de Tarija Bolivia es de 0,84 Bs.

En la siguiente tabla el costo de otros servicios adicionales que se requirieron en el proyecto de investigación.

**Tabla V-7:** Detalle de otros servicios

Nº	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs.)	Total (Bs.)
1	Agua potable	m <sup>3</sup>	1	6,4	6,4
2	Gas para calentar el agua	m <sup>3</sup>	5	0,6	3,0
<b>TOTAL</b>					9,4

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

El costo de 1m<sup>3</sup> de agua potable suministrado por la empresa COSSALT de la ciudad de Tarija Bolivia es de 6,4 Bs, y del m<sup>3</sup> de gas domiciliario dotado por la empresa EMTAGAS es de 0,6 Bs.

En la siguiente **tabla V-8** se detalla la inversión total requerida en el proyecto de obtención de aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo.

**Tabla V-8:** Detalle de costos totales del proyecto

N°	Descripción	Costo Total (Bs.)
1	Investigación de proyecto	370,00
2	Materia prima e insumos	374,00
3	Materiales de trabajo	884,00
4	Materiales de escritorio	69,50
5	Costo de análisis de laboratorio	2.770,00
6	Costos de energía eléctrica	70,46
7	Costo de otros servicios	9,40
<b>TOTAL</b>		<b>4.546,36</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2022

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

Referente a los resultados obtenidos del presente proyecto de investigación, se tiene las siguientes conclusiones.

- La materia prima seleccionada para obtención del aislado proteico, es la harina amarilla de maíz criollo (*Zea Mays*), producida en el departamento de Tarija, siendo sus principales parámetros fisicoquímicos los siguientes: Proteína total 7,19%; materia grasa 4,70%; fibra 4,53%; cenizas 1,19%; humedad 10,87 % y carbohidratos 71,52%.
- El proceso tecnológico seleccionado para la obtención del aislado proteico a partir de harina amarilla de maíz criollo fue el método alcalino (extracción básica seguido de una precipitación acida), donde se comprobó que, **es factible la obtención del aislado proteico, obteniendo parámetros óptimos de proceso a pH 12 en la etapa de extracción, relación 1:10 p/v, seguido de una etapa de precipitación acida a pH 5,5.**
- De acuerdo al diseño experimental 3<sup>2</sup>, aplicado al proceso de obtención del aislado proteico, se pudo establecer que el pH de extracción, pH de precipitación y la interacción entre ambos factores son significativos para un nivel de confianza del 95%, ya que las colas de significación son menores a  $\alpha$  0,05.
- En la **gráfica IV-6** se muestra la comparación entre la observación experimental y la del programa estadístico, IBM SPSS, donde se puede observar que son similares, con un error menor a 1,5 para un nivel de confianza del 95%. y se llega a la conclusión de que el modelo escogido es correcto.
- De acuerdo al balance de materia, se calculó la cantidad de producto final que se pierde en todo el proceso de obtención del aislado proteico, que fue de 0,11 gramos de pérdida del total obtenido en referencia al tratamiento de máxima extracción "muestra nueve".
- De acuerdo al balance de energía, el gasto energético que se requiere para desarrollar el presente proyecto, es de 54,72 kwh en referencia a los equipos utilizados.
- Los resultados de la caracterización fisicoquímica del producto final (aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo) son: 64,88 % de proteína total, 0,8 % de cenizas, 0,54 %

de fibra, 5,68 % de hidratos de carbono, 2,99 % de humedad y 508,23 kcal/100gr de valor energético.

- Se comprobó que se puede obtener un mayor concentrado de aislado proteico de la harina amarilla de maíz criollo, realizando un previo tratamiento antes de la extracción. El cual consiste en eliminar la mayor cantidad de lípidos insolubles mediante una extracción sólido líquido, así extraer la mayor cantidad de materia grasa de la harina, y como resultado se observó un incremento significativo del aislado de: 38,88% sin el desgrasado a 64,89% después del desgrasado, evidenciando que el contenido de materia grasa en la harina afecta de manera directa la extracción del aislado proteico.
- La prueba sensorial realizada en el aislado proteico obtenido experimentalmente fue realizado exitosamente, evidenciando que los resultados de las encuestas de los jueces calificadores, así lo manifiestan, considerando los mismos que el aislado proteico presenta: un buen color, olor y sabor agradable, evaluado los mismos en una escala hedónica de 9 puntos, obteniendo una puntuación promedio global de los 3 atributos de 6,53%.
- Los resultados obtenidos del análisis microbiológico del producto final presentaron los siguientes resultados  $<10^{(*)}$  de coliformes fecales,  $<10^{(*)}$  de coliformes totales,  $<10^{(*)}$  de mohos y levaduras. Llegando a la conclusión final que el aislado proteico obtenido es óptimo sin contaminación microbiana y apta para el consumo humano. También se comprobó que el conservante utilizado (sulfito de sodio) es un conservante muy efectivo, ya que los resultados de los análisis microbiológicos en los aislados proteicos, éstos no presentaron formación de mohos ni de levaduras, conservando muy bien el producto final, sin que haya afectación alguna del medio ambiente y la humedad.

## **6.2. Recomendaciones**

- Estudiar el efecto de otras variables en el porcentaje de extracción y las propiedades funcionales como ser: el uso de ultrasonido, fuerza iónica entre otras.
- Por el alto contenido proteico se recomienda utilizar el aislado proteico de harina amarilla de maíz criollo en la alimentación humana.

- Se recomienda determinar el potencial de aprovechamiento de la harina de maíz, así desarrollar investigaciones, ya que se carece de antecedentes acerca del aislado proteico de harina de maíz.
- Se recomienda probar el proceso tecnológico de obtención del aislado proteico, con rangos de pH de extracción superior a 12, como así también en la etapa de precipitación ácida con rangos superior a pH 5,5.