

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. Definiciones Generales

1.1.1. Mucílago

Los mucílagos son polisacáridos (conjunto de monosacáridos o hidratos de carbono simple), que se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas y geles, al tomar contacto con el agua aumentan de volumen, estos mucílagos son constituyentes de las plantas y se encuentran principalmente en sus semillas, donde retienen agua para evitar que se sequen.

1.1.2. Gel

Un gel es una disolución coloidal, un compuesto que surge a partir de la disolución de un coloide en un fluido. Este sistema presenta una fase dispersa (líquida) y otra continua (sólido). En la estructura de un gel, hay moléculas que forman una red, la cual está inmersa en un líquido. Según como interactúan estos componentes, el gel tendrá diferentes propiedades. (Pérez, J. & Merino, M., 2019)

1.2. Materia Prima

1.2.1. Semilla de Linaza

La semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) tiene una larga historia de consumo en Europa y Asia. En Brasil, esta oleaginosa está siendo adicionada a panes, cereales para el desayuno, barras energéticas y otros productos de panificación. La linaza presenta algunas variedades de semillas que van del marrón oscuro al amarillo; en Brasil, la forma más común es la marrón, siendo más accesible que la dorada encontrada en Europa. (Lenzi de Almeida, K., Spreafico, F., Teles, G., Guzmán, M. & Silva, A. 2008).

En las últimas décadas ha surgido un gran interés de la industria y los consumidores para los alimentos o los componentes alimenticios fisiológicamente activos, como la semilla de linaza, para promover beneficios a la salud, siendo llamados alimentos funcionales. (Lenzi de Almeida, K. et al. 2008).

1.2.2. Morfología

La planta de lino es de la familia de las Lináceas, especie herbácea, sus raíces son cortas y sus tallos pueden ser simples o ramificados y se caracterizan por su aprovechamiento en la industria textil. Las hojas son estrechas y puntiagudas dispuestas alternamente a lo largo del tallo. A continuación, se describen algunas de sus características. (InforAgro).

1.2.2.1. Taxonomía

Cuadro I-1: Taxonomía de la planta de Lino

Reino:	Plantae
Sub: Reyno	Viridiplantae
Infra Reyno:	Streptophyta
Super división:	Embryophyta
División:	Tracheophyta
Subdivisión:	Spermatophytina
Clase:	Magnoliopsida
Superorden:	Rosanae
Orden:	Malpighiales
Familia:	Lináceas
Género:	Linum L.
Especie:	usitatissimum L.

Fuente: ITIS, the Integrated Taxonomic Information System.

1.2.2.2. Flores

Las flores se encuentran colocadas en los extremos de las ramas y son de color azul-morado o blancas, pétalos delgados y están formadas por 5 pétalos. La figura 1-1, se ilustra una flor de color azul-morado con las características que se mencionó con anterioridad. (InforAgro).

Figura 1-1: Flor de lino



Fuente: Flor de Linaza, *Linum Usitatissimum*.

1.2.2.3. Tallo principal

La planta se caracteriza por su alto y frágil tallo, erguido y delgado, ramificado en su parte superior por sus hojas, la planta crece hasta una altura de entre 70cm a 1,20m.

Figura 1-2: Planta de lino



Fuentes: Lámina de *Linum usitatissimum*.
Tomada de Köhler's medicinal plants, 1887.

1.2.2.4. Fruto o semilla

Los frutos se encuentran en la parte superior de la planta, el fruto tiene forma de capsula y contiene 5 cámaras, en cada una hay dos semillas separadas por un tabique, en total se tiene 10 semillas de color marrón o dorado. El color de la semilla depende de la cantidad de pigmento que tenga la semilla, entre más pigmentación más oscura es la semilla. La figura 1-3, se ilustra la forma de las semillas de linaza.

Figura 1-3: Semillas de Linaza

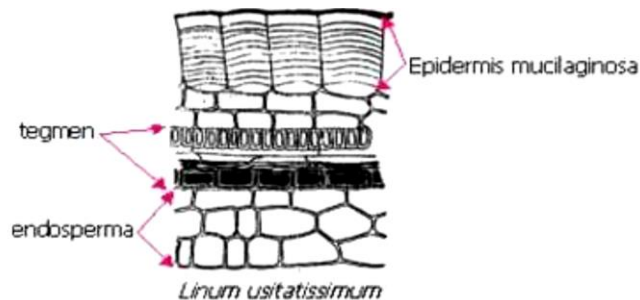


Fuente: Grain Millers. Linaza

1.2.3. Descripción de la semilla

La semilla de linaza es de 4 a 6 mm de longitud, aplanada, de forma oval y con un extremo aguzado. La cubierta de la semilla es de apariencia suave y brillante, y su color puede variar entre marrón oscuro y amarillo claro. El peso de 1000 semillas es de 5 ± 1 g y su peso del hectolitro fluctúa entre 55 y 70 kg (Daun et al., 2003; Oomah et al., 2003).

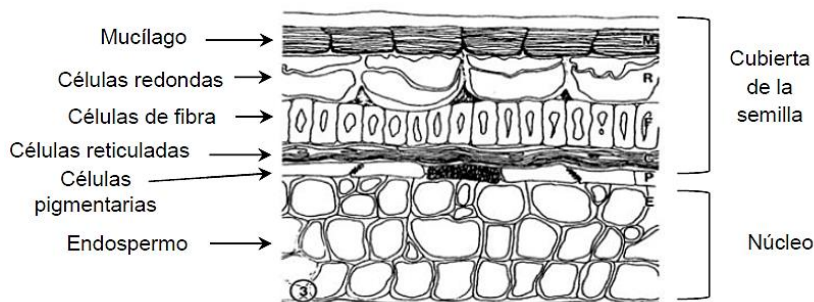
Figura 1-4: Estructura de la semilla de linaza



Fuente: Fahn, A. (1990).

La semilla tiene dos cotiledones aplanados, que constituyen la mayor proporción del embrión; este último está rodeado por las cubiertas de la semilla y por una delgada capa de endosperma. La testa tiene una capa exterior que contiene la mayoría de la fibra soluble y dos interiores ricas en fibra y lignanos. Desde un punto de vista estructural, la testa, endosperma y cotiledones representan el 22, 21 y 57%, respectivamente (Daun et al., 2003; Oomah et al., 2003; Wiesenborn et al., 2003).

Figura 1-5: Formación del mucílago en la semilla de linaza

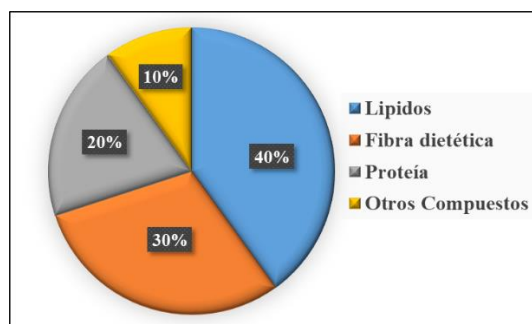


Fuente: Arenas Sánchez, Janet (2015).

1.2.4. Composición química de la semilla

La linaza tiene alrededor de 40% de lípidos, 30% de fibra dietética y 20% de proteína. La composición proximal varía considerablemente entre las variedades y de acuerdo a las condiciones ambientales en las que haya crecido la planta. (Babu y Wiesenfeld, 2003; Daun et al., 2003; Oohma, 2003).

Figura 1-6: Composición química de la semilla de Linaza



Fuente: Elaboración propia a base de información bibliográfica.

Tabla I-1: Composición química de las semillas de linaza

Energía (kcal/kJ)	Grasas (g)	Proteínas (g)	Carbohidratos (g)	Fibra (g)	Magnesio (mg)	Calcio (mg)
492 / 2.059	34,0	19,5	34,3	27,9	362	199

Fuente: Quimica.es - Linaza.

La composición química que se muestra en la tabla I-1, está referida a 100g de producto.

1.2.4.1. Ácidos grasos

La semilla de linaza es rica en aceite (30-40%) y está constituida por triglicéridos ácidos linolénico (40%-70%), linoleico (10-25%), oleico (13-30%) y otros ácidos grasos saturados, como el palmítico y el esteárico (5-10%).

Cuadro I-2: Composición de ácidos grasos en la semilla de linaza

Ácidos grasos saturados	<i>Palmítico</i> (C ₁₆ H ₃₂ O ₂).
	<i>Esteárico</i> (C ₁₈ H ₃₆ O).
Ácidos grasos monoinsaturados	<i>Palmitoleico</i> (C ₁₆ H ₃₀ O), ácido graso omega 7.
	<i>Oleico</i> (C ₁₈ H ₃₄ O), ácido graso de la serie omega 9.
Ácidos grasos poliinsaturados	<i>Linoleico</i> (C ₁₈ H ₃₂ O), ácido graso esencial perteneciente a la serie omega 6.
	<i>Alfa-linoleico</i> (C ₁₈ H ₃₀ O) ácido graso poliinsaturado de la serie omega 3.

Fuente: iquimicas.com, la semilla de linaza composición química (2017).

Tabla I-2: Composición química de ácidos grasos de las semillas de linaza

Ácidos grasos saturados (g)	Ácidos grasos monoinsaturados (g)	Ácidos grasos poliinsaturados (g)
3,2	6,9	22,4

Fuente: Quimica.es - Linaza.

La composición química que se muestra en la tabla I-2, esta referida a 100g de producto.

1.2.4.2. Carbohidratos o Hidratos de Carbono

La linaza contiene muy pequeñas cantidades de azúcares solubles (1 a 2 g/100g). La mayoría de los hidratos de carbono presentes en esta especie, pertenecen al grupo de la fibra dietética. Se destaca entre otros granos por ser una excelente fuente de fibra dietética soluble e insoluble, la que en total puede llegar hasta 28% del peso seco de la

semilla. La relación entre fibra soluble e insoluble fluctúa entre 20:80 y 40:60. En la fracción soluble, se encuentra un hidrocoloide conocido como mucílago (8% del peso de la semilla). Existe muy poca información de la variación del contenido de fibra dietética entre variedades y según las condiciones de cultivo (Daun et al., 2003).

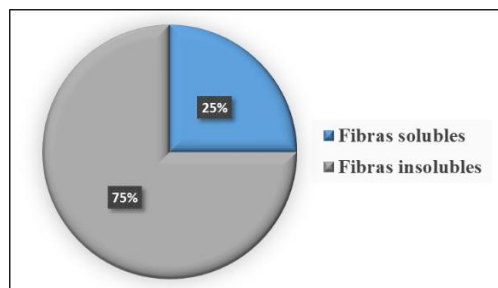
1.2.4.3. Fibras

En la capa externa de la semilla tiene una considerable proporción de fibra dietética (28% de su peso). Los tipos de fibra que se hayan en la linaza son: celulosa, lignina y mucilago. La proporción de este componente es 75% fibra insoluble (lignina y celulosa) y 25% fibra soluble o mucílago. (Ojeda, Noguera y Herrera, 2017: 713).

La alta viscosidad de esta fibra promueve la evacuación y reduce el riesgo de cáncer de colon y recto, ayuda a reducir el colesterol sérico y la obesidad.

(Payne, 2000; Babu and Wiesenfeld, 2003; Oomah, 2003; Stavro et al, 2003; Goh et al., 2006; Hall et al., 2006).

Figura 1-7: Composición de la fibra dietética



Fuente: Elaboración propia a base de información bibliográfica.

Tabla I-3: Composición química de fibras de las semillas de linaza venezolana y canadiense

Componentes (g/100g SS)	Semilla Venezolana	Semilla Canadiense
Fibra dietética total	33,54±0,92	31,97±0,83
Fibra insoluble	17,21±0,14	16,38±0,89
Fibra soluble	16,27±1,05	15,59±0,18

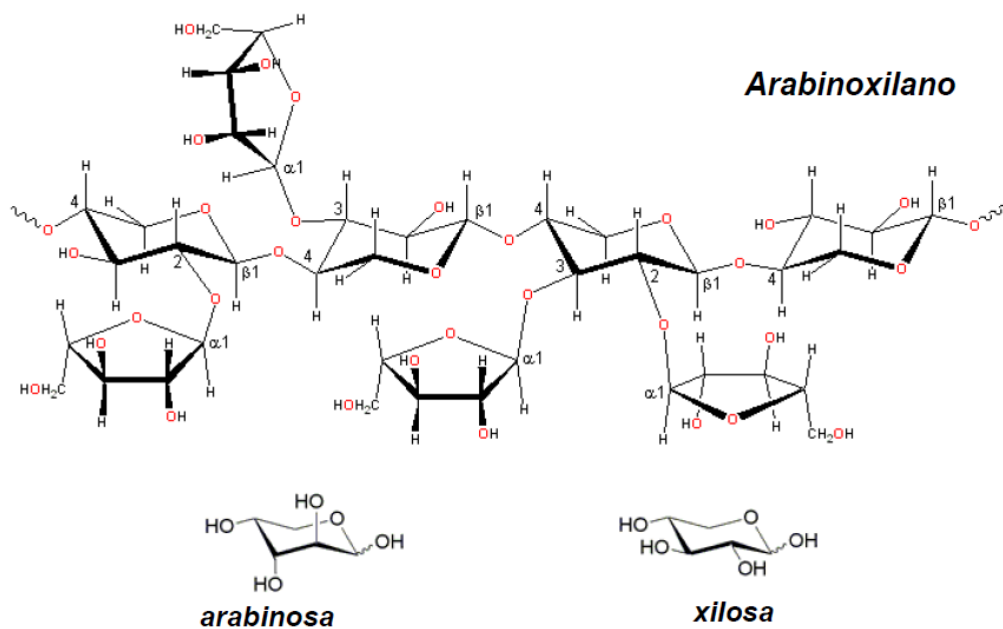
Fuente: Archivos latinoamericanos de nutrición.

La información que se muestra en la Tabla I-3, fue sacada del Trabajo de investigación de la Caracterización de las semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) cultivadas en Venezuela de los autores de Zoitza Ostojich Cuevas, Elba Sangronis donde los datos reportan la media y desviación estándar de triplicados expresados en base seca (SS).

1.2.4.3.1. Mucílago de Linaza

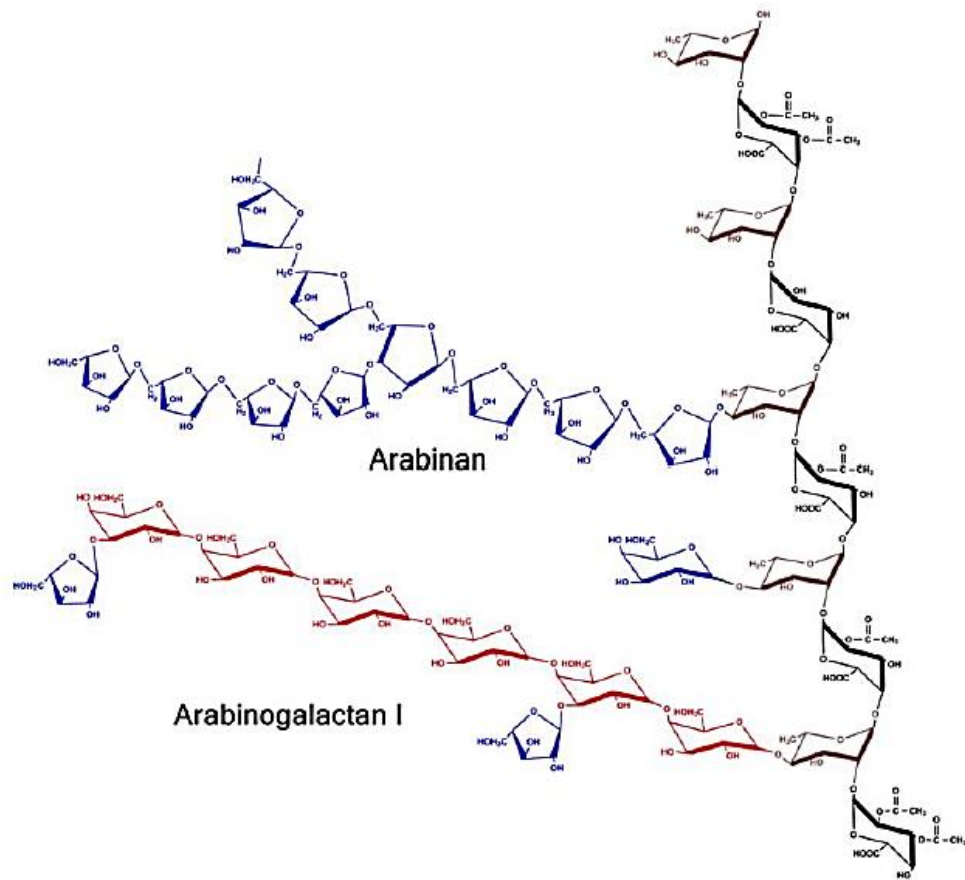
El mucílago está compuesto por dos polisacáridos, uno neutro (aproximadamente 75%) y otro ácido. El polímero neutro está formado por una cadena central de β -D-xilosa unidas con enlaces 1-4, que tiene cadenas laterales de arabinosa y galactosa en posición 2 y 3 (Figura 1-8). El polímero ácido está formado por una cadena principal de residuos de (1 \rightarrow 2)- α -L ramnopiranosil y de ácido (1 \rightarrow 4)- D-galactopiranosilurónico, con cadenas laterales de fucosa y galactosa. (Figura 1-9). El componente principal del polímero neutro es la xilosa (62,8%) y el del polímero ácido es la ramnosa (54,5%), por lo que la relación ramnosa/xilosa se usa frecuentemente para estimar la relación entre polisacáridos ácidos/neutros. Esta relación fluctúa entre 0,3 y 2,2. (Figuerola, et. al. 2008).

Figura 1-8: Estructura primaria de L-arabino-D-xilona (AX)



Fuente: Arenas Sánchez, Janet (2015).

Figura 1-9: Estructura del polisacárido ramnogalacturona I.



Fuente: Arenas Sánchez, Janet (2015).

Los estudios realizados acerca de la composición del mucílago de linaza indican que la composición de monosacáridos del mucílago varía significativamente entre diferentes cultivares de linaza. Los cultivares con mayor contenido de polisacáridos neutros muestran mayor viscosidad aparente y formación de geles más firmes. Pero, el mucílago de la linaza es un hidrocoloide complejo polidisperso y los diferentes comportamientos reológicos observados en los cultivares está causado tanto por las diferencias en la proporción entre polímeros neutros y ácidos como por el peso molecular y la conformación estructural de los polisacáridos (Daun et al., 2003; Goh et al., 2006; Hall et al., 2006).

1.2.4.3.2. Lignanos

Los beneficios para la salud de los lignanos de la linaza residen en su capacidad antioxidante como secuestradores de radicales hidroxilos, y como compuestos estrogénicos y anti-estrogénicos por su similitud estructural con el 17- β -estradiol. La actividad antioxidante del lignano de la linaza (SDG) está relacionada con la supresión de las condiciones oxidantes de las especies reactivas de oxígeno. El diglucósido de secoisolariciresinol y su aglucona secoisolariciresinol muestran una muy alta capacidad antioxidante y efectos protectores del daño al ADN y a los liposomas especialmente en las células epiteliales del colon expuestas a estos compuestos, durante el metabolismo de las bacterias del colon que los transforman en lignanos de mamíferos (Rajasha et al., 2006; Hu et al., 2007).

1.2.4.4. Proteínas

El contenido de proteínas de la mayoría de los cultivares de linaza fluctúa entre 22,5 y 31,6 g/100 g. Las condiciones de procesamiento (descascarado o desgrasado) afectan el contenido de proteínas del producto derivado de la linaza. La cáscara tiene menores contenidos de proteína, por lo que, la harina sin cáscara y desgrasada tiene un alto contenido proteico. Como en muchas otras semillas, el contenido de globulinas es mayoritario, llegando al 77% de la proteína presente, en tanto que el contenido de albúminas representa al 27% de la proteína total. La proteína de linaza es relativamente rica en arginina, ácido aspártico y ácido glutámico; los aminoácidos limitantes son lisina, metionina y cisteína (Daun et al., 2003; Hall et al., 2006).

1.3. Métodos de extracción sólido-líquido

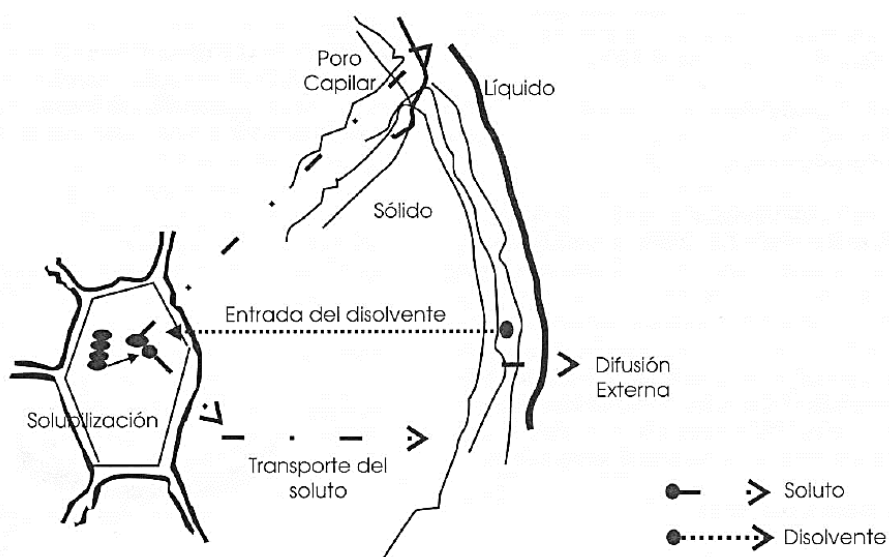
“La extracción sólido-líquido, consiste en la extracción del analito a partir de una matriz sólida empleando un disolvente adecuado capaz de solubilizar el componente en estudio”. (Zumbado Fernández, H., 2004, pág. 42).

Según Aguilera (1990) suceden una serie de etapas lógicas durante el periodo de extracción del soluto en la partícula sólida y el líquido que lo disuelve.

En el proceso de extracción se tienen las siguientes etapas (Álvarez, 2001):

- La entrada del solvente a la matriz del sólido.
- La solubilización y/o ruptura de los componentes.
- El transporte del soluto hacia el exterior de la matriz del sólido.
- La migración del soluto extraído de la superficie externa del sólido dentro del volumen de la solución.
- El movimiento del extracto con respecto al sólido (desplazamiento del extracto).
- La separación y descarga del extracto y sólido.

Figura 1-10: Etapas principales durante la extracción Sólido-líquido



Fuente: Tecnología, Ciencia, Educación, Álvarez, 2001.

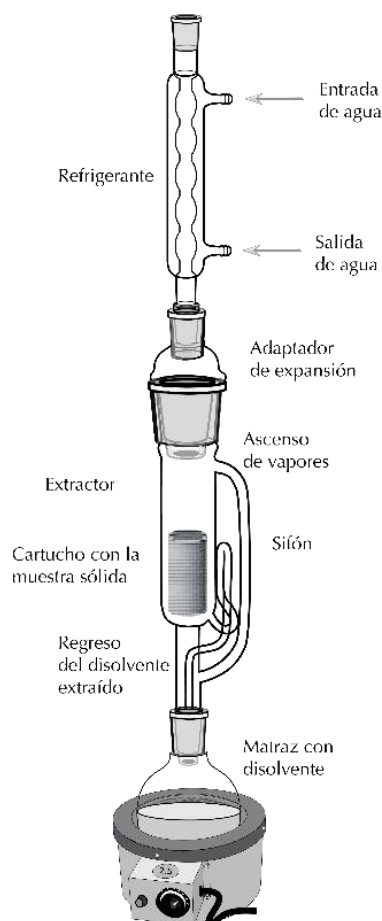
Clasificación de los métodos de extracción sólido-líquido:

1.3.1. Extracción mediante aparato de Soxhlet

Lamarque, A., Zygadlo, J., Labuckas, S., Lopez, L., Torres, M. & Maestri, D. (2008), en su libro de “Fundamentos Teórico-Prácticos de Química Orgánica”, nos explica en que consiste la extracción mediante el aparato de Soxhlet.

“Es un método de extracción continuo que se utiliza para materiales sólidos. Consiste en colocar el material a extraer, previamente molido y pesado, en un cartucho de celulosa que se introduce en la cámara de extracción, conectada por una parte a un balón de destilación y por otra a un refrigerante. El disolvente contenido se calienta a ebullición, el vapor asciende por el tubo lateral y se condensa en el refrigerante, cayendo sobre el material. Cuando alcanza el nivel conveniente sifona por el tubo regresando al balón. El proceso se repita hasta conseguir el agotamiento deseado del material”. (pág. 51).

Figura 1-11: Extracción Soxhlet



Fuente: Recursos Educativos de Química.

1.3.2. Maceración

El proceso de maceración consiste en remojar el material a extraer, debidamente fragmentado, con un disolvente apropiado, hasta que este penetre en los tejidos

ablandando y disolviendo las porciones solubles. En un recipiente se coloca el material a extraer y se cubre con el disolvente elegido. (Lamarque, A. et. al., 2008, pág. 48).

La maceración simple consiste en dejar la materia prima en contacto con el solvente durante varios días, con una agitación cuando lo requiera, lo que hace que el proceso sea lento. En la maceración dinámica se reduce el tiempo de operación por medio de la agitación constante se le puede aplicar temperatura según las necesidades del producto.

Figura 1-12: Extracción por maceración dinámica



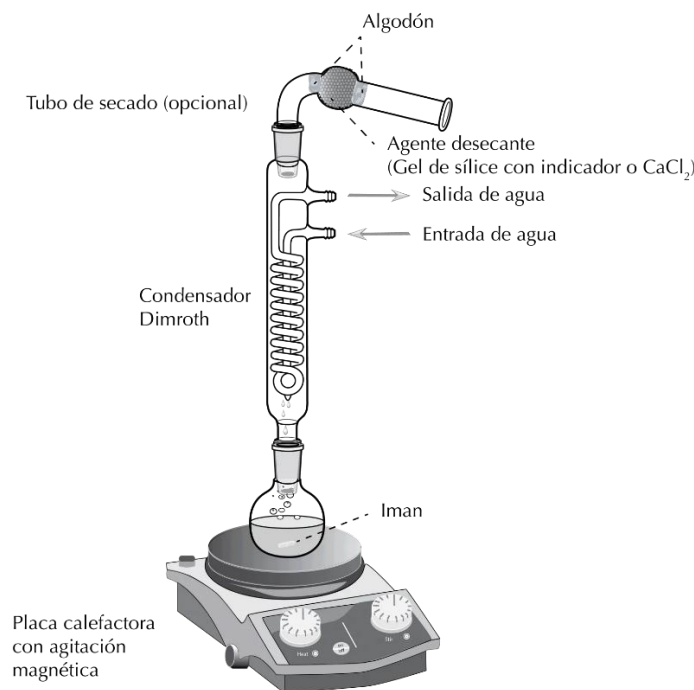
Fuente: Elaboración propia, 2021.

1.3.3. Reflujo

Lamarque, A. et. al., (2008) en su libro de “Fundamentos Teórico-Prácticos de Química Orgánica”, nos explica el proceso de reflujo. (pág. 49).

“En este proceso, el material fragmentado disuelto en un disolvente convenientemente escogido, se somete a ebullición. Debido a que un calentamiento prolongado de la solución podría conducir a la evaporación total del disolvente, se utiliza un equipo de reflujo que consta de un balón de destilación (que contiene el material a extraer más el disolvente) y un refrigerante. La temperatura elevada del disolvente permite una mejor extracción de los componentes deseados ya que la solubilidad de la mayoría de las sustancias aumenta con la temperatura. Este método presenta el inconveniente de que muchos compuestos termolábiles se alteran o descomponen a la temperatura de ebullición del disolvente”.

Figura 1-13: Extracción por reflujo



Fuente: Recursos Educativos de Química.

1.4. Factores que influyen en la velocidad de la extracción

Coulson, J. M., Richardson J. F., Backhurst J. F. & Harker, J. H. (2003), en su libro de “Ingeniería Química Operaciones Básicas”, describe los factores que influyen en el proceso de extracción los cuales se mencionaran a continuación.

- ✓ **El tamaño de partícula**, el tamaño de las partículas afecta a la velocidad de extracción de diversas maneras. Cuanto más pequeño es el tamaño, mayor es el área de contacto entre el sólido y el líquido y, por lo tanto, más elevada es la velocidad de transferencia del material. Además, menor es la distancia que debe recorrer el soluto por el interior del sólido. Por otra parte, la superficie puede ser utilizada de una forma totalmente eficaz con un material muy fino, si se dificulta la circulación del líquido, siendo más difíciles la separación de las partículas del líquido y el escurrido del residuo sólido. (Coulson, J. M. et. al., 2003, pág. 482).
- ✓ **El disolvente**, el líquido escogido debe ser un buen disolvente selectivo con una viscosidad suficiente baja para que pueda circular con facilidad. En general se

utiliza un disolvente relativamente puro, pero a medida que la extracción vaya teniendo lugar la concentración de soluto aumenta. Coulson, J. M. et. al., 2003, pág. 482).

- ✓ **La temperatura**, en la mayor parte de los casos, la solubilidad del material que se está extrayendo aumentará con la temperatura ocasionando una mayor velocidad de extracción. Además, es de esperar que el coeficiente de difusión aumente al elevarse la temperatura mejorándose también así dicha velocidad. (Coulson, J. M. et. al., 2003, pág. 483).
- ✓ **La Agitación del fluido**, aumenta la difusión de remolino, incrementando por lo tanto la transferencia de material desde la superficie de las partículas hacia la masa de la disolución además la agitación de las suspensiones de pequeña partícula evita la sedimentación y hace que se utilice de una forma más eficaz la superficie de contacto. (Coulson, J. M. et. al., 2003, pág. 483).

1.5. Fundamentos del proceso de extracción

1.5.1. Transferencia de masa

La transferencia de masa se verifica cuando el componente de una mezcla emigra en una misma fase o de una fase a otra, a causa de la diferencia de concentración entre dos puntos. (Geankoplis, 1998).

Las operaciones de transferencia de masa se caracterizan por transferir una sustancia a través de otras a escala molecular. Por ejemplo, cuando el agua, por evaporación, pasa de una alberca a una corriente de aire que fluye sobre la superficie del agua, las moléculas de vapor de agua se difunden, a través de las moléculas de aire en la superficie, dentro de la masa de la corriente de aire, la cual las arrastra consigo. la transferencia de masa es un resultado de la diferencia de concentraciones, o gradiente, en donde la sustancia que se difunde abandona un lugar en que está muy concentrada y pasa a un lugar de baja concentración. (Treybal, Robert).

Por ejemplo: el líquido de un recipiente abierto lleno de agua se evapora en el aire estacionario debido a la diferencia de concentración del vapor de agua entre la

superficie del líquido y el aire que lo rodea. Existe una “fuerza impulsora” de la superficie al aire. Cuando la madera verde recién cortada se expone a la acción atmosférica, se seca parcialmente a medida que el agua de la madera se difunde hasta la superficie cortada y después, a la atmósfera. (Geankoplis, 1998).

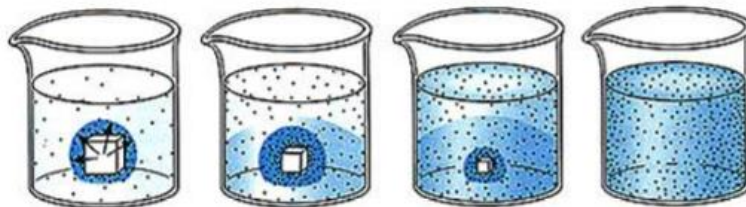
La ecuación general de transporte molecular, en los tres procesos de transferencia (materia, calor e inercia) se caracterizan por el mismo tipo de ecuación general (Geankoplis, 1998).

$$\text{Velocidad de un proceso de transferencia} = \frac{\text{fuerza impulsora}}{\text{resistencia}} \text{ --- Ec. (1-1)}$$

1.5.2. Ley de Fick para la difusión Molecular

La difusión molecular (o transporte molecular) puede definirse como la transferencia (o desplazamiento) de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los desplazamientos individuales y desordenados de las moléculas. Podemos imaginar a las moléculas desplazándose en línea recta y cambiando su dirección al rebotar con otras moléculas cuando chocan. Debido que las moléculas se desplazan en trayectorias al azar, la difusión molecular a veces se llama también proceso con trayectoria aleatoria, la difusión de las moléculas se debe a la gradiente de concentración (Geankoplis, 1998).

Figura 1-14: Solubilización de un cristal y difusión molecular hacia el líquido

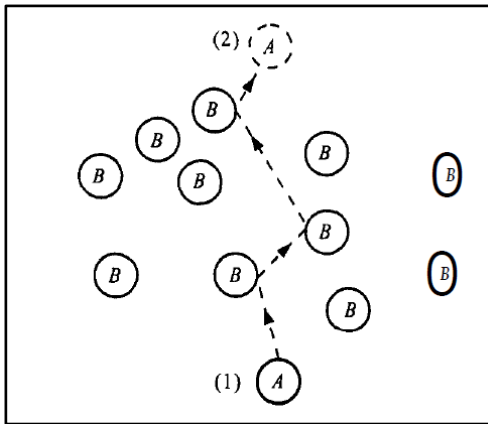


Fuente: Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa, 2011.

En la figura 1-15, se muestra esquemáticamente el *proceso de difusión molecular*. Se ilustra la trayectoria desordenada que la molécula A puede seguir al difundirse del punto (1) al (2) a través de las moléculas de B. Si hay un número mayor de moléculas de A cerca del punto (1) con respecto al punto (2), entonces y puesto que las moléculas

se difunden de manera desordenada, en ambas direcciones, habrá más moléculas de A difundiendo de (1) a (2) que de (2) a (1). La difusión neta de A va de una región de alta concentración a otra de baja concentración. (Geankoplis, 1998).

Figura 1-15: Diagrama esquemático del proceso de difusión molecular



Fuente: Geankoplis, 1998.

La ecuación para la difusión molecular de masa es la ley de Fick (Geankoplis, 1998).

$$J_{AZ}^* = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} \text{----- Ec. (1-2)}$$

Donde:

J_{AZ}^* = Flujo molar del componente A en la dirección z causado por la difusión molecular, expresado en kg mol de A/sm².

D_{AB} = Difusividad molecular o coeficiente de difusión de un componente A en solución B (m²/s).

dc_A = Gradiente de concentración (kg mol/m³).

Z = Distancia que recorre (m).

(-) = La difusión ocurre en el sentido del decrecimiento de concentración.

1.5.3. Equilibrio sólido-líquido

El mecanismo de la extracción de un soluto contenido en una partícula sólida mediante un líquido, se considera que ocurre en tres etapas sucesivas hasta que se alcanza el equilibrio (Ibarz, Barbosa, 2005).

Estas etapas se detallan a continuación:

1.5.3.1. Cambio de fase del soluto

Es el paso del soluto desde la fase sólida al líquido. La disolución del soluto se realiza a través de una interfase sólido-líquido. Aunque para el estudio de esta etapa podría aplicarse la teoría de la capa límite, no ha sido desarrollada en este caso, y es por ello que suele considerarse que este fenómeno de disolución es instantáneo, por lo que no influye en la velocidad global de extracción. (Ibarz, Barbosa, 2005):

1.5.3.2. Difusión del soluto en el disolvente contenido en los poros del sólido

En la mayoría de los casos, el soluto se encuentra en el interior de las partículas sólidas, siendo preciso que el disolvente se ponga en contacto con él, por lo que debe llenar los poros del sólido inerte. La transferencia del soluto desde el interior de la partícula sólida hasta su superficie, se realiza debido al gradiente de concentración existente entre la interfase sólido-líquido y la superficie exterior del sólido. Se considera que el disolvente en el interior de los poros permanece prácticamente estacionario, por lo que, a transferencia de soluto desde zonas de mayor concentración al exterior, se realiza únicamente por difusión molecular. La expresión de la velocidad de transferencia de materia en esta etapa vendrá dada por la ecuación 1-2 (Ibarz, Barbosa, 2005):

$$J_{AZ}^* = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$$

Con lo que si se quiere aumentar la transferencia de materia se logrará aumentando la temperatura, ya que ello provoca un aumento de la difusividad. Además, si las partículas se desmenuzan se logra que la longitud de los poros disminuya, lo que trae consigo el que la velocidad de transferencia aumente. (Ibarz, Barbosa, 2005).

1.5.3.3. Transferencia del soluto desde la superficie de las partículas hasta el seno de la disolución

Una vez que el soluto ha alcanzado la superficie de la partícula, se transfiere desde este punto hasta el seno de la disolución gracias a un gradiente de concentración, realizándose esta transferencia de materia por transporte molecular y turbulento, de

forma simultánea. En esta etapa la velocidad de transferencia de materia viene dada por la expresión (Ibarz, Barbosa, 2005):

$$\frac{dE}{dt} = K_L A (C_S - C) \quad \text{Ec. (1-3)}$$

Donde:

$\frac{dE}{dt}$ = Velocidad de extracción (m^3/s).

A= Arena superficial de las partículas (m^2).

K_L = Coeficiente de transferencia de masa (m/s).

C_S = Concentración de saturación del soluto en la solución ($\text{kg}/\text{mol m}^3$).

C=Concentración del soluto en la solución en el tiempo t, ($\text{kg}/\text{mol m}^3$).

Si se quiere aumentar la transferencia de materia se consigue agitando la disolución, ya que ello favorece el aumento del coeficiente K_L . (Ibarz, Barbosa, 2005).

1.6. Proceso de extracción del Mucílago de diferentes plantas

Existe información respecto al tema de extracción de Mucílago de diferentes plantas que fueron realizadas por instituciones como así también, fueron temas de proyectos de grados. A continuación, se detallarán los diferentes métodos utilizados para extraer el Mucílago de las diferentes plantas, realizadas por diferentes autores.

1.6.1. Extracción del mucilago de la cascara de la tuna

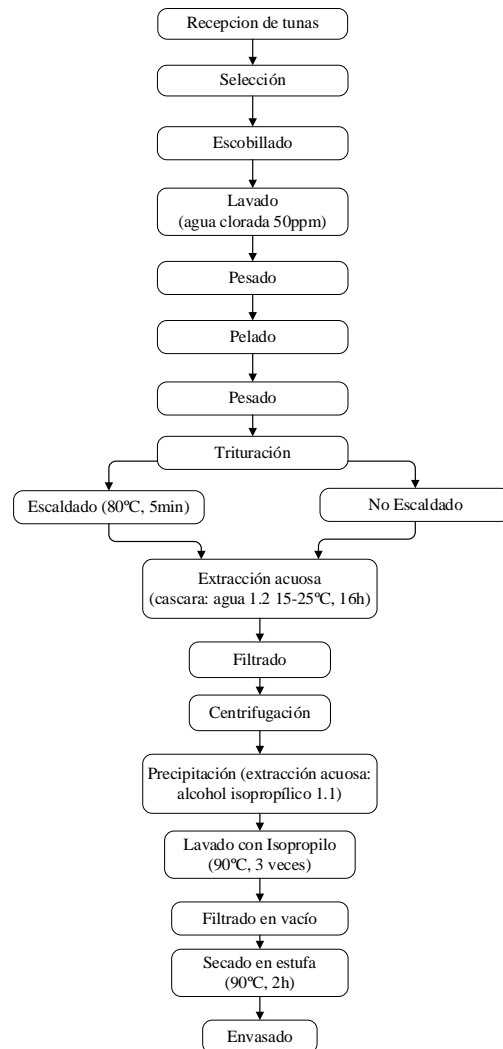
Jiménez Fernández, E. (2014) en su tesis de “Obtención del mucílago de la cáscara de la tuna (*opuntia ficus-indica*) a partir de diferentes métodos de extracción”, realizó la extracción del mucílago de la cáscara de tuna por dos métodos diferentes aplicando el escaldado a uno de los procesos, a continuación, se detalla la forma en que realizó su extracción.

1. Recepción de tunas, inspección visual para verificar su buena calidad (aparencia general).
2. Almacenamiento de la materia prima en un medio controlado (refrigerado o congelado).

3. Selección de las tunas que presentaban una cáscara de calidad óptima, es decir, de coloración verde y sin manchas, para la elaboración del hidrocóide.
4. Escobillado, para eliminar las espinas presentes en la cáscara y además facilitar su manipulación.
5. Lavado del exterior de las tunas mediante el proceso de inmersión en agua clorada 50 ppm, con el fin de eliminar residuos, materias extrañas, polvo y microorganismos que puedan estar adheridos a las tunas.
6. Pesado de las tunas antes de ser peladas.
7. Pelado de las tunas manualmente con cuchillo con el fin de separar la pulpa de la cáscara.
8. Pesado de las cáscaras de tuna para determinar el rendimiento.
9. Trituración de las cáscaras del fruto del nopal hasta obtener un tamaño uniforme.
10. Escaldado, etapa que es aplicada solo en uno de los métodos de extracción. El producto triturado es escaldado con vapor, siendo sometido a 80°C durante 5 minutos.
11. Extracción acuosa, las cáscaras de tuna previamente trituradas y escaldadas inmersas en agua en una proporción cáscara: agua = 1:2 con el fin de extraer el mucílago a una temperatura entre 15-18°C por 5 horas.
12. Filtrado del producto por medio de un colador para separar los trozos gruesos de cáscara.
13. Centrifugación a 3500 rpm a fin de separar al máximo el mucílago extraído de las impurezas (paredes celulares u otras) de la cáscara.
14. Precipitación. Al extracto de mucílago concentrado se agrega alcohol isopropílico en proporción extracto: alcohol = 1:1.
15. Lavado con Isopropanol. El mucílago precipitado es lavado con Isopropanol a 90°C, repitiendo la operación 2 veces.
16. Filtrado al vacío. Luego del lavado, la mezcla es filtrada al vacío con el fin de separar el mucílago del alcohol.
17. Secado del mucílago en estufa a 90°C por 2 horas aproximadamente.

18. Envasado. Las muestras obtenidas se envasan en bolsas de polietileno para sus análisis posteriores.

Diagrama 1-1: Etapas del proceso de extracción de los mucílagos a partir de las cáscaras de tunas escaldadas y no escaldadas.



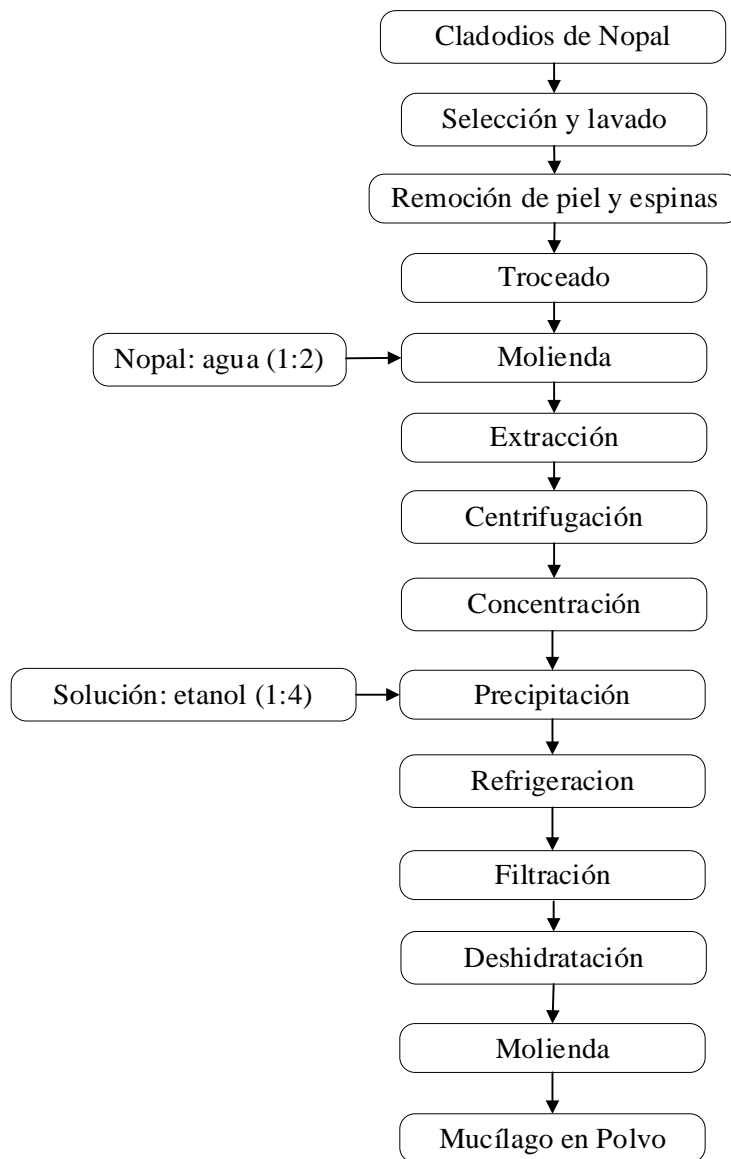
Fuente: Jiménez Fernández, E. (2014). “Obtención del mucílago de la cáscara de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) a partir de diferentes métodos de extracción”.

1.6.2. Extracción y purificación de mucílago de Nopal

Lozada Gaytán, M. (2015) en su tesis de “Efecto de la temperatura y tiempo de extracción en el rendimiento y color del mucílago de nopal (*Opuntia ficusindica*)”,

realizo la extracción del mucílago del nopal por el método de maceración a continuación se detalla la forma en que realizó su extracción.

1. Selección y lavado: Selección de cladodios de nopal (pencas) y posteriormente el lavado con agua potable.
2. Remoción de piel y espinas: Pelado manual del nopal y eliminación de las espinas de los cladodios.
3. Troceado: Cortado de los cladodios de nopal en trozos.
4. Molienda: Mezcla de los trozos de nopal con agua destilada en una licuadora en una relación de 1:2 (nopal: agua),
5. Extracción: Calentando la mezcla de la molienda (nopal y agua destilada) en una cocina eléctrica a una temperatura de 70°C y 90°C por tiempos de 20, 40, 60 minutos.
6. Centrifugación: La mezcla obtenida lo centrifugó a 3500rpm durante 30 minutos. Posteriormente eliminó el precipitado (fibra y materiales insolubles), para luego recuperar el sobrenadante.
7. Concentración: El sobrenadante lo calentó en baño maría durante 150 minutos, con la finalidad de perder humedad.
8. Precipitación: Precipitado con etanol al 96°GL en una relación de 1:4 (solución: etanol). (Fortiz-Hernández y Rodrigo-Feliz,2010).
9. Refrigeración: Refrigeración a 4°C durante 48 horas.
10. Filtración: Eliminación del sobrenadante (materiales solubles en agua y etanol), recuperando del precipitado (material insoluble en etanol).
11. Deshidratación: Deshidratación del Mucílago de nopal en la estufa a 70°C por 18 horas hasta un porcentaje de humedad final de 5%. (Fortiz-Hernández y Rodrigo-Feliz, 2010).
12. Molienda del mucílago de nopal.

Diagrama 1-2: Proceso de extracción del mucílago de Nopal

Fuente: Lozada Gaytán, M. (2015). “Efecto de la temperatura y tiempo de extracción en el rendimiento y color del mucílago de nopal (*Opuntia ficusindica*)”.

1.6.3. Extracción del mucílago de la semilla de Chan

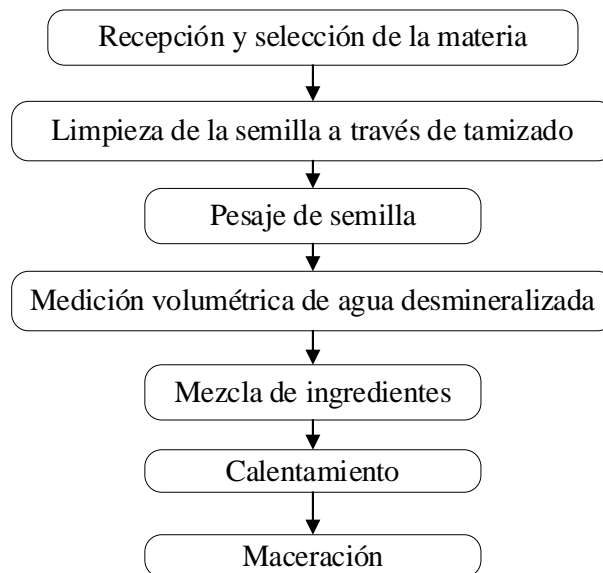
Farela Lara, L. E. (2017) en su tesis de "Extracción y caracterización del mucílago de la semilla de chan (*Salvia hispánica L.*) para la determinación de los parámetros de aplicación como aditivo espesante en función a la concentración en mermelada de

fresa", realizó la extracción del mucílago de la semilla de Chan por el método de maceración a continuación se detalla la forma en que realizó su extracción.

Procedimiento de hidratación de las semillas de chan (*Salvia hispánica L.*):

1. Recepción y selección de materia prima: revisión de la calidad de las semillas y del agua desmineralizada para que ningún otro componente interfiera.
2. Limpieza de semilla a través de tamizado para separar partículas extrañas.
3. Pesaje de ingredientes (semillas).
4. Medición volumétrica de agua desmineralizada, volumen de agua necesario según la relación de hidratación a utilizar.
5. Mezcla de ingredientes: mezcla de la semilla y el agua en un beacker suficientemente grande y mezclado manualmente.
6. Calentamiento en una estufa hasta 37°C durante 2horas.
7. Maceración: agitación contante con ayuda de agitadores magnéticos, entre 3000 y 4000rpm, dejar hidratar durante 2horas.

Diagrama 1-3: Proceso de hidratación de la semilla de chan (*Salvia hispánica L.*)

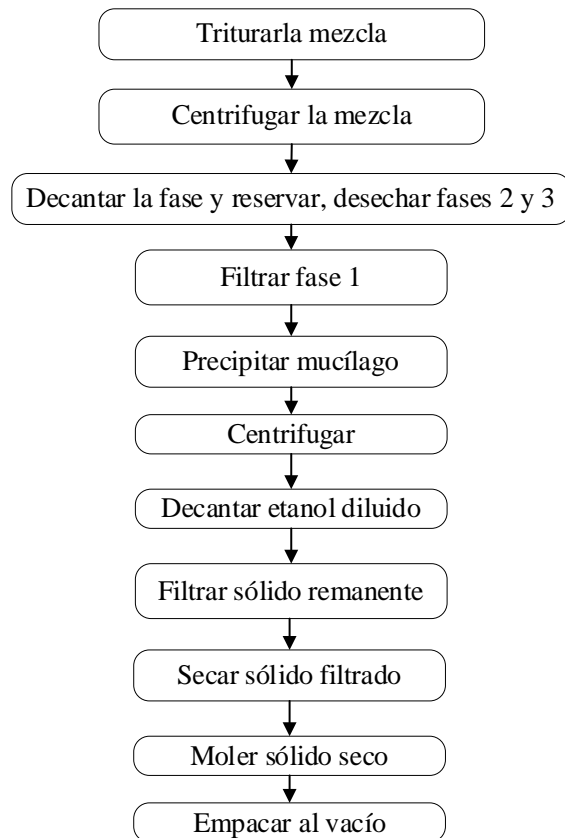


Fuente: Farela Lara, L. E. (2017). "Extracción y caracterización del mucílago de la semilla de chan (*Salvia hispánica L.*)"

Procedimiento de extracción de mucílago des semillas de chan (*Salvia hispánica L.*).

1. Triturar la mezcla: con apoyo de una licuadora durante 5 minutos. Se llevó la licuadora a la velocidad más alta para mejor extracción.
2. Centrifugar mezcla durante 10 minutos a 3000rpm.
3. Decantar fase 1 y reservar, desechar fases 2 y 3: se decantó la fase 1 y se reserva para su posterior precipitación, se descarta las fases 2 y 3.
4. Filtrar fase 1: con el equipo de filtración al vacío se filtra la fase 1 haciendo uso de papel filtro como medio de separación. Este proceso ayuda a separar posibles sólidos presentes.
5. Precipitar mucílago: se precipita la fibra soluble (mucílago) con etanol al 98% en una relación 1:3 (solución: etanol).
6. Centrifugar la solución precipitada durante 5 minutos a 3000rpm.
7. Decantar etanol diluido: decantar la solución centrifugada y separar el etanol diluido del sólido sedimentado.
8. Filtrar sólido remanente: para reducir humedad en sólido, se filtra y se hacen 2 lavados de los recipientes con 5ml de etanol cada uno.
9. Secar sólido filtrado: secado del sólido filtrado en un horno deshidratador durante 6 horas a 60°C.
10. Moler el sólido seco con ayuda de un mortero hasta obtener partículas lo más pequeñas posibles.
11. Empacar al vacío: haciendo uso de bolsas de polietileno para que el producto no absorba humedad.

Diagrama 1-4: Proceso de extracción del mucílago de las semillas de chan



Fuente: Farela Lara, L. E. (2017). Extracción y caracterización del mucílago de la semilla de chan (*Salvia hispánica L.*).

1.7. Proceso de extracción de Mucílago de las semillas de linaza

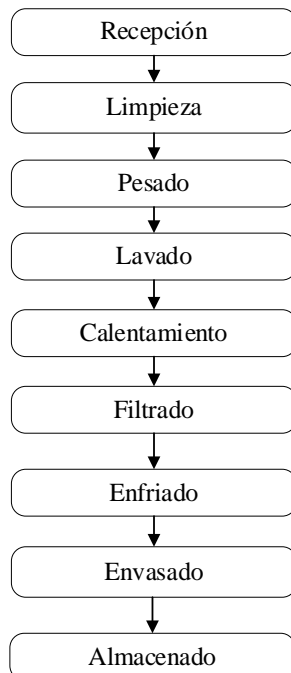
1.7.1. Extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración

Guerrero Ramírez, T. M. (2018) en su tesis de "Efecto del mucílago y harina de *Linum usitatissimum* (linaza) en las propiedades sensoriales de galletas y su impacto en el tiempo de vida útil", realizó la extracción del mucílago de las semillas de linaza por el método de maceración a continuación se detalla la forma en que realizó su extracción.

1. Recepción de las semillas de linaza de variedad nacional.
2. Limpieza de las semillas, para retirar las semillas dañadas, semillas de malas hierbas, trozos pequeños de pajas y otras materias extrañas.

3. Pesado de las semillas en una proporción de agua: semillas de 13:1, para obtener el mucílago de linaza.
4. Lavado de las semillas con el fin de eliminar cualquier posible trozo pequeño de tierra.
5. Calentamiento de las semillas con agua a una temperatura de 80°C, 85°C y 90°C por 10 minutos, para permitir la extracción de fibra soluble de la semilla.
6. Filtrado de la extracción del mucílago de linaza utilizando una malla de tela, procurando ejercer una leve fricción entre las semillas para ayudar a despegar el mucílago que aún se encontraba adherido a la semilla.
7. Enfriado del mucílago a temperatura de 50°C por 20 minutos.
8. Envasado del mucílago en recipientes de vidrio de 200 g.
9. Almacenado a una temperatura de 4°C a 5°C, para que conserve sus características organolépticas y tenga mayor tiempo de vida útil.

Diagrama 1-5: Proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración



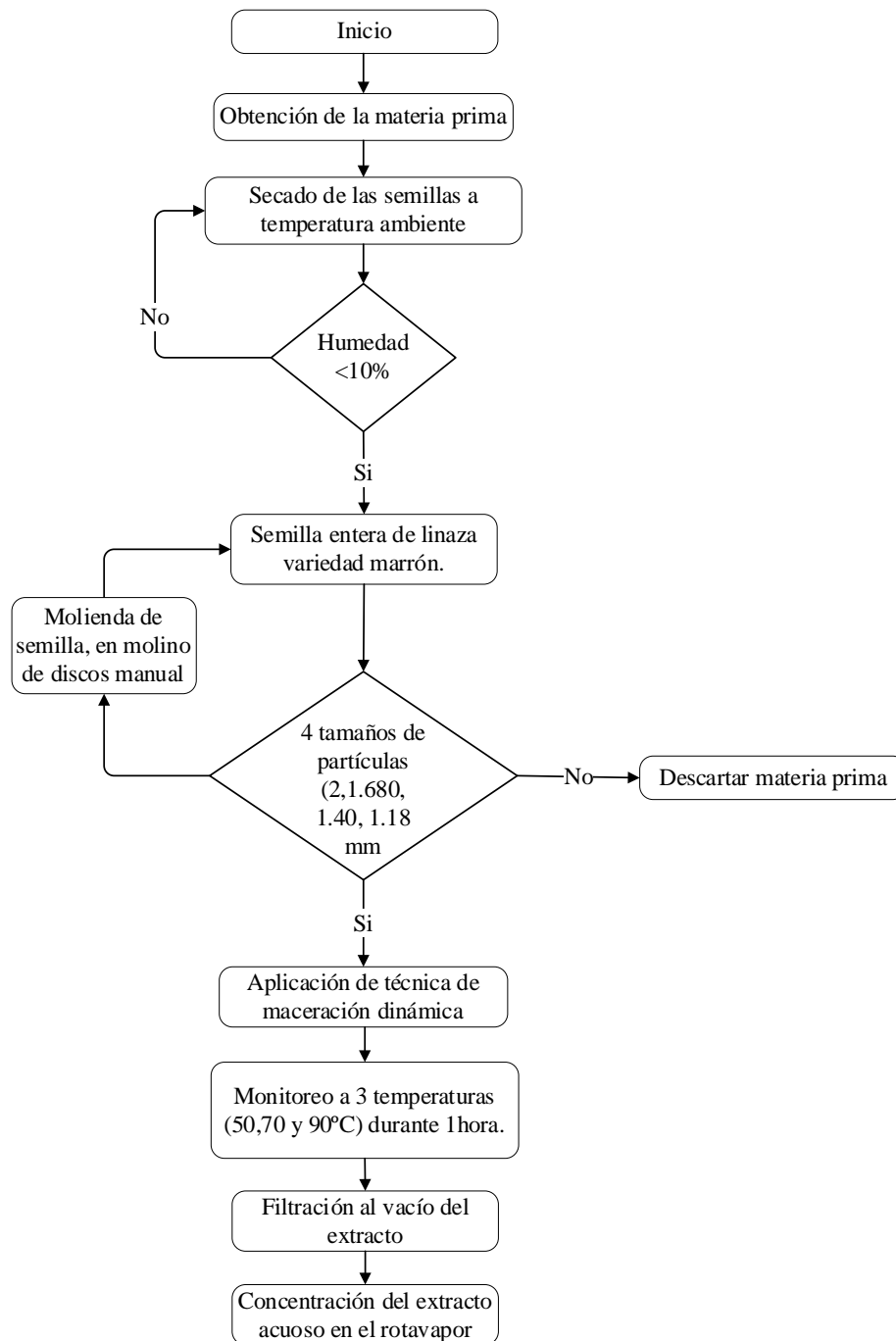
Fuente: Guerrero Ramírez, T. M. (2018). "Efecto del mucílago y harina de *Linum usitatissimum* (linaza) en las propiedades sensoriales de galletas y su impacto en el tiempo de vida útil".

1.7.2. Extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración dinámica con reflujo

Castillo Armas, E. M. (2017) en su tesis de “Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica del extracto acuoso de la semilla de linaza variedad marrón (*Linum Usitatissimum L.*) aplicado a cosméticos mediante técnica de maceración dinámica”, realizó la extracción del extracto acuoso utilizando el equipo Soxhlet, a continuación, se detalla los pasos que realizó para la extracción del mucílago.

1. Preparación de la materia prima, limpieza de la semilla y secado de la semilla con humedad menor al 10%.
2. Trituración de la semilla en un molino de discos manual con el fin de disminuir el tamaño de partícula.
3. Tamizado de la semilla entera y molida, con el objetivo de clasificar y obtener diferentes tamaños de partículas.
4. Lixiviación de mucílagos por maceración dinámica: El solvente y el material vegetal lo introdujo en un balón de fondo plano en un sistema de reflujo que permite que la temperatura permanezca constante, al igual que la agitación de 50rpm, por tratarse de un sistema cerrado y el tiempo de extracción 1hora por muestra. Utilizó agua desmineralizada como solvente. La relación entre el material vegetal y el solvente de 1:10.
5. Filtración al vacío: Luego de obtener el extracto acuoso, realizó la filtración por medio de un sistema de vacío utilizando manta como filtro, el cual facilitó la separación de la semilla del extracto acuoso.
6. Concentración del extracto por medio de la evaporación y separación del solvente mediante la aplicación de vacío a 744mmHg y temperatura de 40°C, parámetros propios del agua.

Diagrama 1-6: Proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza por maceración dinámica con reflujo



Fuente: Castillo Armas, E. M. (2017). “Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica del extracto acuoso de la semilla de linaza variedad marrón”.

1.8. Análisis Físicoquímicos del Mucílago de la semilla de Linaza

Entre los análisis físicoquímicos más importantes que se deben realizar al mucílago de la semilla de linaza se encuentran los siguientes:

- **Determinación de fibra dietética**, la fibra dietética (o fibra alimentaria, como también se le llama) puede realizarse a través de métodos gravimétricos, espectrofotométricos y cromatográficos.

Zumbado Fernández, H. (2004) en su libro de “Análisis Químico de los Alimentos. Métodos Clásicos”, nos explica el procedimiento para determinar la fibra dietética.

“En este texto nos referiremos únicamente a los métodos gravimétricos. Los métodos gravimétricos miden un residuo insoluble después de la solubilización química o enzimática de los constituyentes digeribles que no forman parte de la fibra. La metodología general de trabajo consiste en adicionar a la muestra (previamente seca y desgrasada), en un número variable de etapas, agentes químicos o enzimáticos que se encargan de solubilizar las proteínas y los carbohidratos digeribles. Posteriormente, una etapa de filtración permite separar los compuestos solubilizados del residuo insoluble que contiene la fibra dietética y los minerales. El residuo se seca, se pesa exactamente y luego se incinera y se vuelve a pesar, calculándose la cantidad de fibra por diferencia de pesada del residuo seco menos las cenizas”. (pág. 189).

Los resultados se expresan en porcentaje según como se muestra en la ecuación (1-4):

$$\%Fibra = \frac{masa(Fibra)}{b} * 100 \text{ --- Ec. (1-4)}$$

Donde:

$$m_{(Fibra)} = m_{(residuo\ seco)} - m_{(ceniza)} \text{ --- Ec. (1-5)}$$

Donde b es el volumen (mL) o masa (g) de la muestra tomada para el análisis. Los métodos enzimáticos son capaces de determinar también los componentes de la fibra dietética soluble a través de una precipitación con etanol y posterior ultrafiltración o diálisis. Según el tipo de agente que se emplee para la solubilización de los componentes que no forman parte de la fibra, los métodos de determinación se clasifican en: métodos de determinación de fibra cruda,

métodos detergentes y métodos enzimáticos. (Zumbado Fernández, H., 2004, pág. 198).

- **Determinación de fibra cruda**, el método de fibra cruda o el método de Weende fue desarrollado en el año 1850 para la determinación del material indigerible en alimentos y forrajes. El método implica la extracción secuencial de los componentes que no forman parte de la fibra (proteínas y carbohidratos asimilables, con ácido diluido (H_2SO_4 1,25% m-V) y álcali diluido (NaOH 1,25% m-V) y posterior aislamiento del residuo insoluble (fibra cruda) mediante filtración. (Zumbado Fernández, H., 2004, pág. 190).

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción y análisis de la materia prima

La materia prima que se utilizó en la presente investigación es la semilla de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) variedad marrón, producida en el departamento de Tarija.

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima se realizaron en el laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Los análisis realizados a la semilla de Linaza fueron los siguientes:

- ✓ Determinación porcentual de ceniza
- ✓ Determinación porcentual de fibra.
- ✓ Determinación porcentual de grasa.
- ✓ Determinación porcentual de hidratos de carbono.
- ✓ Determinación porcentual de humedad.
- ✓ Determinación porcentual de materia seca.
- ✓ Determinación porcentual de proteína total.

Los resultados del análisis fisicoquímico que se le realizó a la materia prima se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II-1: Composición Fisicoquímica de las semillas de Linaza

Parámetros	Unidad	Resultados
Ceniza	%	2,99
Fibra	%	24,59
Fósforo	mg/100g	257,0
Grasa	%	38,53
Hidratos de carbono	%	8,37
Humedad	%	6,92
Materia Seca	%	93,08
Proteína total (Nx5,71)	%	18,6
Valor energético	Kcal/100g	454,65

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2021.

2.2. Descripción del método de investigación

2.2.1. Selección del método experimental para la extracción del Mucílago de las semillas de Linaza

A continuación, se detalla la razón por la cual se escogió el método de extracción mencionado en los objetivos, ya que la selección de un método de extracción es de gran importancia y depende en gran medida de los recursos de equipamiento de laboratorio y de la materia prima.

De acuerdo a las referencias bibliográficas que se tienen, se reporta que se puede realizar la extracción mediante dos métodos: extracción por maceración y extracción por reflujo.

Para la selección del método experimental de la extracción del Mucílago de las semillas de Linaza, se consideró los distintos métodos mencionados en el marco teórico. Para la selección del método a utilizar se hizo el uso de la escala de Likert. (tabla II-2), donde se observan las calificaciones ponderadas que permiten seleccionar el método más adecuado.

Tabla II-2: Escala de Calificación Likert

Escala de puntuación	Puntuación
Excelente	5
Muy buena	4
Buena	3
Regular	2
Mala	1

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-3: Selección del método experimental de extracción del Mucílago de las semillas de Linaza

Criterio evaluado	Comentarios del evaluador	Calificación	
		Extracción por Maceración	Extracción por Reflujo
Aplicabilidad del método	La extracción por Maceración es la que más se utiliza para la extracción de Mucílagos. La extracción por reflujo es utilizada ampliamente en los laboratorios.	5	4
Disponibilidad del Equipamiento	Se dispone de los materiales para la maceración. No se dispone del equipo de reflujo.	5	1
Rendimiento del método	Se tiene buenos resultados con los métodos de extracción por maceración y reflujo.	5	5
Costos	El equipo de reflujo tiene un costo mayor en comparación de los materiales que se utilizan para realizar la maceración.	4	3
Tiempo de extracción	El tiempo de extracción del Mucílago por medio del equipo de reflujo es un poco menor en comparación con la maceración.	3	3

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-4: Matriz de decisión del método experimental de la extracción del Mucílago de las semillas de linaza

Parámetros	Selección del método experimental de extracción del Mucílago de las semillas de Linaza				
	Valoración Porcentual (%)	Extracción por Maceración		Extracción por Reflujo	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Aplicabilidad del método	20	5	20	4	16
Disponibilidad del Equipamiento	25	5	25	1	5
Rendimiento del método	25	5	25	5	25
Costos	20	4	16	3	12
Tiempo de extracción	10	3	6	3	6
TOTAL	100		92		64

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Según los resultados obtenidos de la matriz de decisión, el método experimental más adecuado para la extracción del Mucílago de las semillas de Linaza, es la extracción por maceración.

2.3. Diseño factorial

Grima C., P. & Tort-Martorell, J. (1995) en su libro “Técnicas para la Gestión de la Calidad”, nos explica que es un diseño factorial. (pág. 71).

“Se entiende por *diseño factorial*, un plan de experimentación que tiene como característica más destacable el que los valores de todos los factores de diseño se van moviendo simultáneamente. Este tipo de plan representa la estrategia que mejor se adapta a las

necesidades de la industria, y la que proporciona la máxima información con el mínimo número de experimentos. A continuación, vamos a comentar los conceptos más habituales que intervienen en el planteamiento de este tipo de diseños experimentales.

Factor (factor de diseño), se designa de esta forma a las variables que se considera pueden efectuar a la respuesta y, por tanto, se incluyen en el plan de experimentación.

Nivel, es el valor que puede tomar un factor en un determinado experimento. Normalmente los factores toman solo dos niveles y los valores correspondientes a estos se codifican asignando al nivel bajo el valor -1 (o simplemente -) y al alto valor +1 (o simplemente +)".

2.3.1. Selección de la variable del proceso

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se determinaron los parámetros de operación para el proceso de extracción, los cuales se mencionan a continuación.

En la tabla II-5 se muestran las variables que se utilizaron para la extracción del Mucílago de la semilla de Linaza:

Tabla II-5: Variables de control

Análisis de proceso			
Nº	Variables	Dimensiones	Factor de diseño
1	Tamaño de la partícula	mm	Variable
2	Temperatura	Celsius (°C)	Variable
3	Tiempo de extracción	Horas	Variable

Fuente: Elaboración propia 2021.

2.3.2. Diseño factorial

Teniendo en cuenta las variables que influirán en el proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza, se eligió para el desarrollo del presente proyecto de investigación el diseño factorial:

$$2^k$$

Donde:

2 = Número de niveles.

k = Número de factores o variables.

El número de experimentos que se realizará será de: $2^3=8$

En el presente proyecto de investigación se plantea realizar dos réplicas.

Teniendo en total un número de 16 experimentos.

En la tabla II-6, se presenta los niveles y las variables de operación.

Tabla II-6: Variables y niveles de operación

N°	Variables	Niveles	
		Bajo	Alto
1	Tamaño de la partícula (mm)	0,5	1
2	Temperatura (°C)	70	80
3	Tiempo de extracción (Hrs.)	1	3

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-7: Diseño factorial para el proceso de extracción

N° Exp.	Factores			Respuesta 1	Respuesta 2
	Tamaño de la partícula (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo de extracción (Hrs.)		
1	1	70	1	R1	R11
2	0,50	70	1	R2	R22
3	1	80	1	R3	R33
4	0,50	80	1	R4	R44

5	1	70	3	R5	R55
6	0,50	70	3	R6	R66
7	1	80	3	R7	R77
8	0,50	80	3	R8	R88

Fuente: Elaboración propia, 2021.

R= Variable respuesta a medir.

2.4. Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados

2.4.1. Equipos y materiales utilizados en la extracción del Mucílago de las semillas de linaza

El presente proyecto de investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias “LOU”, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

2.4.1.1. Descripción de los equipos utilizados

2. Tamiz vibratorio

Es un equipo compuesto por un juego de mallas de la serie Tyler. Este equipo se utilizó para clasificar el tamaño de las semillas de linaza molida.

Figura 2-1: Tamiz Vibratorio



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3. Balanza analítica

Balanza analítica de marca EGIBERTINI, que consta de una pantalla digital y tiene una precisión de 0,001g con capacidad máxima de 510g. Esta balanza se utilizó para el pesaje de las muestras.

Figura 2-2: Balanza Analítica



Fuente: Elaboración propia, 2021.

4. Licuadora

Licuadora de marca OSTERIZER, está provisto por cuatro cuchillas de acero inoxidable, la licuadora trabaja a diez velocidades que se pueden regular según las necesidades con los botones. Se utilizó para la reducción de tamaño de la materia prima.

Figura 2-3: Licuadora



Fuente: Elaboración propia, 2021.

5. Rotavapor

Evaporador rotativo de marca HEIDOLPH modelo LABOROTA 4000, está provisto de un baño calefactor HB digital, con velocidad de rotación entre 0-270rpm ajustable mediante botón giratorio y con un rango de temperatura entre 20 - 180°C, con pantalla de temperatura digital, el equipo consta de un elevador manual para regular la profundidad de inmersión. Se utilizó para concentrar la muestra extraída después de la maceración.

Figura 2-4: Rotavapor



Fuente: Elaboración propia, 2021.

6. Calentador eléctrico

Agitador magnético con plato superior de acero inoxidable, con velocidad regulable desde 0 a 1600rpm consta con regulación electrónica digital de la velocidad y temperatura del calefactor para temperaturas regulables desde 50°C hasta 350°C. Se utilizó para realizar el proceso de maceración dinámica.

Figura 2-5: Calentador eléctrico



Fuente: Elaboración propia, 2021.

7. Agitador Electrónico

Agitador electrónico, provisto de una paleta metálica que trabaja con una velocidad constante que es regulada por un botón giratorio de tres niveles. Se utilizó para la agitación en el proceso de maceración dinámica.

Figura 2-6: Agitador Electrónico



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.1.2. Material de laboratorio utilizado

En la tabla II-8 se detalla el material utilizado.

Tabla II-8: Material de laboratorio

Material	Especificaciones	Cantidad
Bandeja de acero inoxidable	-	1
Barbijos	-	16
Coladera de plástico	-	1
Cucharilla	-	1
Tela de lienzo	-	2
Guantes	-	5
Frasco de plásticos pequeños	-	8
Frasco de plástico medianos	-	8
Olla de aluminio	5000ml	1
Probeta de plástico	500ml	1
Recipiente de acero inoxidable	-	2
Termómetro de alcohol	100°C	1
Vaso de precipitación de vidrio	1000ml	1
Vaso de precipitación de vidrio	600ml	1

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.1.3. Reactivos

En la tabla II-9 se describen las especificaciones del agua destilada.

Tabla II-9: Especificaciones del Agua destilada

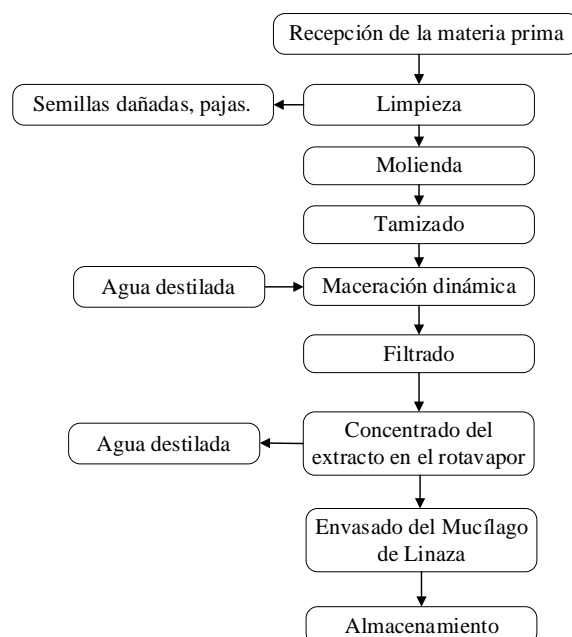
Propiedades físicas y químicas	
Aspecto	Líquido incoloro
Olor	Inoloro
Punto de fusión	0°C
Punto de ebullición	95°C
Gravedad específica (Agua=1)	1,000

Fuente: Distribuidora de Químicos industriales.

2.4.2. Descripción del proceso tecnológico experimental de obtención del Mucílago de las semillas de linaza

En el diagrama 2-1 se describe de forma ordenada los pasos y procedimientos que se realizaron desde la obtención de la materia prima hasta la obtención del Mucílago de las semillas de linaza.

Diagrama 2-1: Proceso tecnológico experimental de la extracción del mucílago



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.1. Recepción de la materia prima

La materia prima utilizada para la parte experimental, son las semillas de Linaza (*Linum Usitatissimum* L.) variedad marrón, las cuales fueron adquiridas del mercado Campesino, misma que son cultivadas en la zona de yesera del departamento de Tarija.

Figura 2-7: Semillas de Linaza recolectada



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.2. Limpieza

Se realizó la limpieza de las semillas de linaza de manera manual y utilizando una ventiladora, con el objetivo de retirar las semillas dañadas, trozos pequeños de pajas y otras materias extrañas.

Figura 2-8: Separación de impurezas de la materia prima



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.3. Molienda

Antes de llevar a cabo esta etapa, según la referencia bibliográfica se sabe que las semillas de linaza deben contener un porcentaje de humedad menor al 10%. La materia prima que se utilizó según los análisis reportados por el CEANID tiene un porcentaje de humedad 6,92%, que es un valor menor al 10%, una vez que se comprobó que el porcentaje de humedad era el adecuado se procedió a moler las semillas en una licuadora eléctrica (licuadora de uso domestica), se molieron 200g de semillas por un tiempo de 1min, hasta alcanzar el tamaño de la partícula requerida, durante la molienda se observó que a medida que se realizaba la reducción de las semillas por medio de las aspas de la licuadora, la semilla no se prendía en las aspas, si el porcentaje de humedad de la semilla hubiera estado elevado la semilla se prendería en las aspas y se observaría como una pequeña masa incrustada.

Figura 2-9: Molienda de la materia prima



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.4. Tamizado

El proceso de tamizado se realizó en el tamiz vibratorio con el objetivo de clasificar el tamaño de las partículas. Primero se procedió a ordenar los tamices de forma decreciente de acuerdo al número de malla, se tomó 100g. de muestra (semilla molida) y se tamizo durante un tiempo de 15min.

Según los datos bibliográficos para una mejor extracción del mucílago de las semillas de linaza el tamaño de la semilla no debe de ser muy pequeña, por lo cual se procedió a realizar el tamizado de la muestra molida en los tamices de 1mm, 0.50mm y 0.25mm.

Figura 2-10: Tamizado de la materia prima molida



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla II-10, se describe el número de tamiz y el tamaño de la abertura de cada tamiz.

Tabla II-10: Descripción del número de tamiz y tamaño de apertura

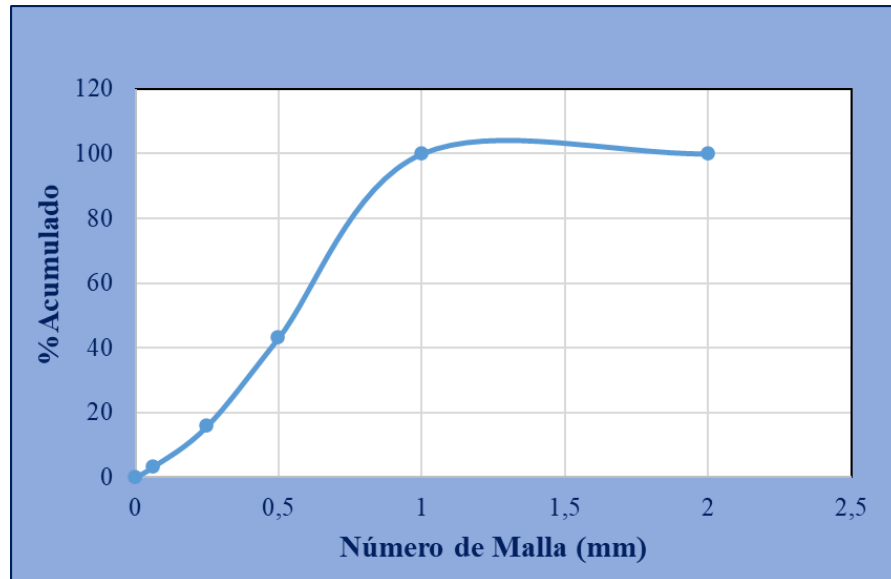
Número de malla (mm)	Masa (gr)	% Masa	%Acumulado
2	0,000	0,000	100
1	55,925	56,931	100,000
0,5	26,816	27,298	43,069
0,25	12,314	12,536	15,771
0,063	3,160	3,217	3,235
0	0,018	0,018	0,018
Total:	98,233	100,000	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla mostrada anteriormente se observa las cantidades de semilla de linaza molida que son retenida en cada número de malla según el tamaño de la partícula, observando así que en la malla de 1mm se tiene 55,925gr retenido y en la malla de

0,5mm se tiene retenido 26,816gr, que en porcentaje de masa son 56,931% y 27,298% respectivamente.

Figura 2- 11: %Acumulado Vs Número de Malla



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.5. Extracción del Mucílago por maceración dinámica.

Para el proceso de extracción del Mucílago de las semillas de Linaza se establecieron 2 tamaños de la partícula (1mm y 0,50mm), las cuales fueron sometidas a 2 temperaturas diferentes (70°C y 80°C) y 2 tiempos diferentes (1hrs. y 3Hrs.), teniendo una relación constante de semilla:agua (1:20), la cual fue establecida como la más adecuada según bibliografía de estudios previos realizados por otros autores.

El solvente y la materia prima se colocaron dentro del vaso de precipitación de 1000ml, la cual se encontraba colocada encima del calentador eléctrico de tal modo que se mantenga la temperatura constante con una agitación constante. En la figura 2-12 se ilustra la forma en que se armó el sistema para aplicar la maceración dinámica.

Figura 2-12: Sistema de maceración dinámica



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.6. Filtración

Luego se procedió a realizar el proceso de filtrado del extracto acuoso, la cual se realizó por medio de una malla de plástico. En la figura 2-13 se ilustra el proceso de filtrado.

Figura 2-13: Proceso de filtrado

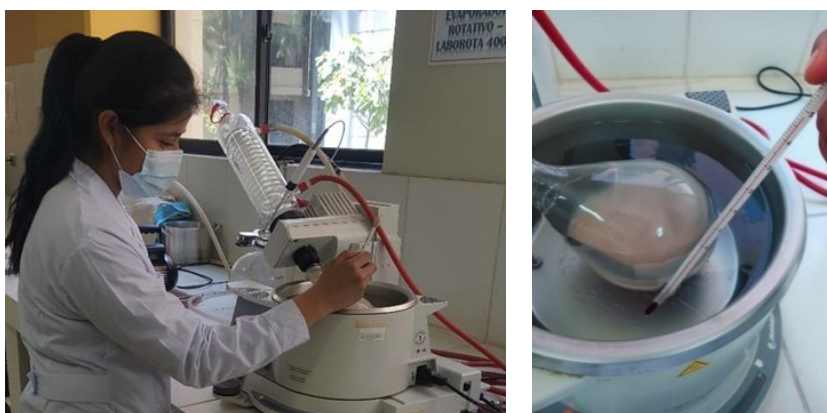


Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.7. Concentración del extracto en el rotavapor

El producto obtenido de la filtración se lo colocó en el balón de vidrio que posteriormente fue conectado a la boquilla del destilador, el recipiente de baño se llenó con agua la cual se trabajó a temperaturas entre 70°C-75°C, se trabajó a esa temperatura con el objetivo de lograr que se evapore el agua destilada, por medio de una bomba de vacío se logró reducir el tiempo de ebullición. En la figura 2-14 se ilustra el proceso para la concentración del extracto.

Figura 2-14: Concentrado

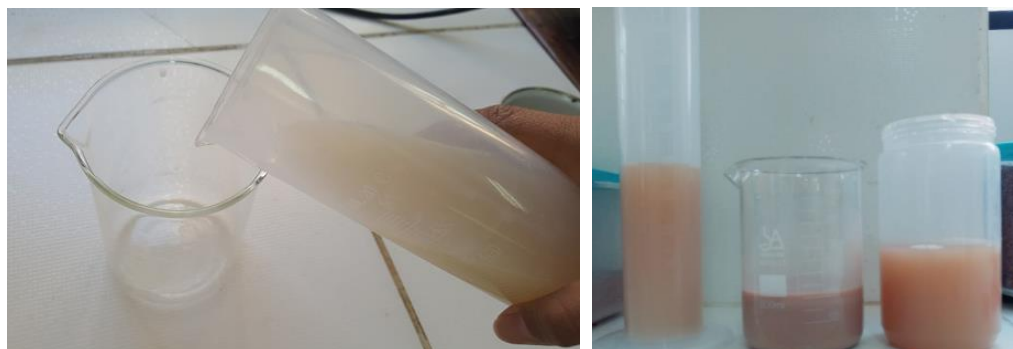


Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.2.8. Envasado del Mucílago de Linaza y almacenamiento

El Mucílago de las semillas de Linaza se almacenó en frascos de plástico cerrados herméticamente.

Figura 2-15: Mucílago de las semillas de Linaza

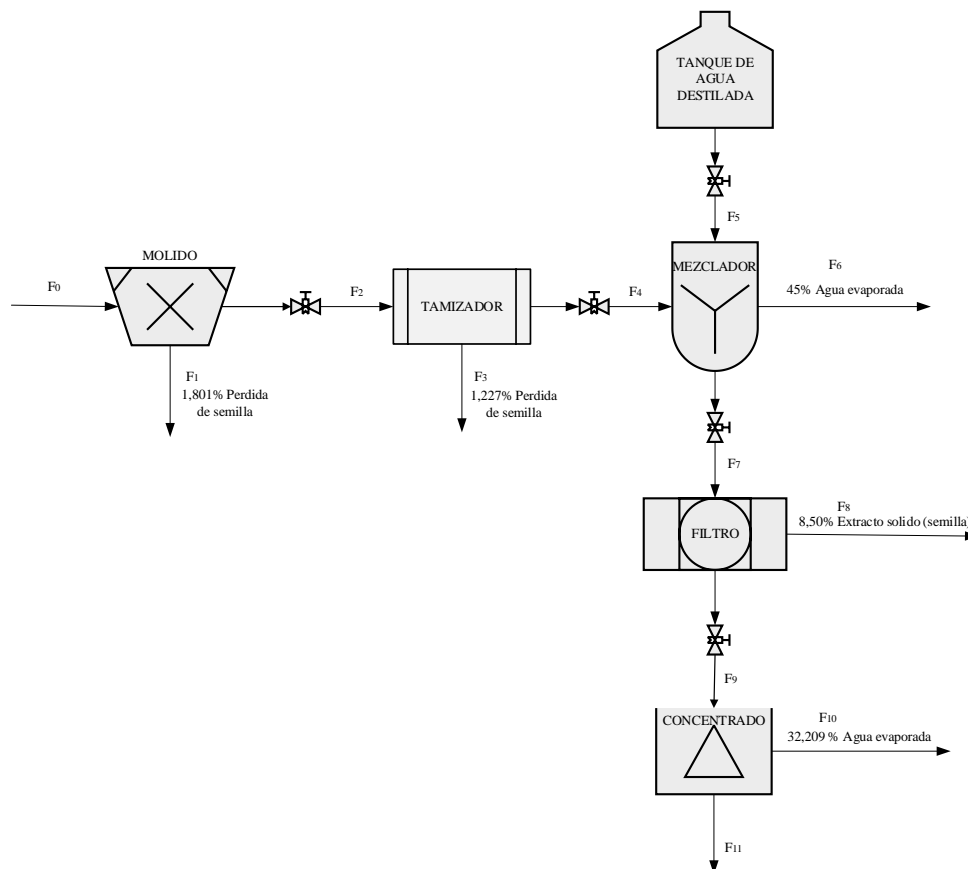


Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.3. Balance de materia del proceso tecnológico experimental de la extracción del Mucílago de las semillas de Linaza

En el Diagrama 2-2, se brinda la información de cada una de las etapas del proceso datos que fueron medidos cuidadosamente en cada una de las etapas del proceso.

Diagrama 2-2: Flujo del proceso experimental de la extracción del mucílago de las semillas de linaza



Fuente: Elaboración propia, 2021.

ETAPA 1: MOLIENDA

Para poder obtener el dato del porcentaje de pérdida de semilla en la etapa de molienda se procedió a realizar 17 moliendas tomando como masa inicial 200g.

Tabla II-11: Datos experimentales al inicio de la molienda

Nº	Masa inicial (gr)	Masa final obtenida (gr)
1	200	196,740
2	200	196,840
3	200	196,790
4	200	196,750
5	200	196,605
6	200	196,590
7	200	196,489
8	200	196,450
9	200	196,255
10	200	196,150
11	200	196,165
12	200	196,170
13	200	196,155
14	200	196,201
15	200	196,185
16	200	196,260
17	200	196,300
18	200	196,325
19	200	196,200
20	200	196,350

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con el valor de la masa obtenida se procedió a realizar el cálculo de la masa perdida.

$$\text{masa perdida} = \text{masa inicial} - \text{masa final obtenida}$$

Tabla II-12: Datos experimentales de la perdida de semilla durante la molienda

Nº	Masa inicial (gr)	Masa final obtenida (gr)	Masa perdida (gr)
1	200	196,740	3,260
2	200	196,840	3,160
3	200	196,790	3,210
4	200	196,750	3,250
5	200	196,605	3,395
6	200	196,590	3,410
7	200	196,489	3,511
8	200	196,450	3,550

9	200	196,255	3,745
10	200	196,150	3,850
11	200	196,165	3,835
12	200	196,170	3,830
13	200	196,155	3,845
14	200	196,201	3,799
15	200	196,185	3,815
16	200	196,260	3,740
17	200	196,300	3,700
18	200	196,325	3,675
19	200	196,200	3,800
20	200	196,350	3,650
Total	4000	3927,970	72,030

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con los datos del total de masa inicial, masa final obtenida y la masa perdida, se procede a calcular el porcentaje de perdida aplicando la siguiente fórmula.

$$\%Perdida = \frac{100 * Masa\ perdida}{Masa\ inicial}$$

$$\%Perdida = \frac{100 * 72,030gr}{4000gr}$$

$$\%Perdida = 1,801\% \dots \dots \dots \text{Porcentaje de pérdida de semilla molida}$$

Una vez que ya se tiene el dato de la perdida de semilla en la molienda se procede a realizar el siguiente balance de materia.

$$F_0 = \text{Masa de semilla} = 0,550kg$$

$$\text{Humedad} = 6,92\%$$

$$\text{Porcentaje de pérdida de semilla en la molienda} = 1,801\%$$

$$\text{Pérdida de semilla en la molienda } F_1 = F_0 * 0,01801$$

$$F_1 = 0,550kg * 0,01801$$

$$F_1 = 0.009906 \text{ kg}$$

$$F_0 = F_1 + F_2 \quad \text{----->} \quad F_2 = F_0 - F_1$$

F_2 = Masa de semilla molida

$F_2 = 0,550\text{kg} - 0,009906\text{kg}$

$F_2 = 0,540094\text{kg}$

ETAPA 2: TAMIZADO

Para poder obtener el dato del porcentaje de pérdida de semilla en la etapa de tamizado se procedió a realizar 17 tamizados tomando como masa inicial 100g.

Tabla II-13: Datos experimentales obtenidos del tamizado

Nº	Masa inicial (gr)	Número de mallas utilizadas		
		1mm	0,5mm	0,25mm
		Masa tamizada (gr)	Masa tamizada (gr)	Masa tamizada (gr)
1	100	61,848	23,866	11,010
2	100	61,057	24,628	13,266
3	100	61,625	24,235	13,486
4	100	62,958	23,958	12,650
5	100	64,012	24,008	11,611
6	100	62,714	24,507	12,230
7	100	63,451	23,441	12,310
8	100	62,650	24,299	10,455
9	100	64,219	24,025	11,410
10	100	64,398	23,148	11,550
11	100	63,628	24,072	11,956
12	100	64,063	22,648	12,818
13	100	64,123	23,332	12,080
14	100	63,480	23,608	11,400
15	100	26,845	42,328	29,050
16	100	28,850	45,489	22,303
17	100	30,155	49,258	18,630

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Una vez que se realizó el tamizado de cada una de las muestras, se obtuvo la cantidad de masa retenida en cada número de tamiz con los valores obtenidos se procedió a sumar las masas retenidas en cada número de malla.

$$\text{masa final obtenida} = \text{masa}_{\text{tamizada (1mm)}} + \text{masa}_{\text{tamizada (0,5mm)}} + \text{masa}_{\text{tamizada (0,25mm)}}$$

Tabla II-14: Datos experimentales de la masa final retenida en cada tamiz

Número de mallas utilizadas			Masa final obtenida (gr)
1mm	0,5mm	0,25mm	
Masa tamizada (gr)	Masa tamizada (gr)	Masa tamizada (gr)	
61,848	23,866	11,010	96,724
61,057	24,628	13,266	98,951
61,625	24,235	13,486	99,346
62,958	23,958	12,650	99,566
64,012	24,008	11,611	99,631
62,714	24,507	12,230	99,451
63,451	23,441	12,310	99,202
62,650	24,299	10,455	97,404
64,219	24,025	11,410	99,654
64,398	23,148	11,550	99,096
63,628	24,072	11,956	99,656
64,063	22,648	12,818	99,529
64,123	23,332	12,080	99,535
63,480	23,608	11,400	98,488
26,845	42,328	29,050	98,223
28,850	45,489	22,303	96,642
30,155	49,258	18,630	98,043

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con el valor de la masa obtenida se procedió a realizar el cálculo de la masa perdida.

$$\text{masa perdida} = \text{masa inicial} - \text{masa final obtenida}$$

Tabla II-15: Datos experimentales de la cantidad de semilla molida perdida en cada tamiz

Nº	Masa inicial (gr)	Masa final obtenida (gr)	Masa perdida (gr)
1	100	96,724	3,276
2	100	98,951	1,049
3	100	99,346	0,654
4	100	99,566	0,434
5	100	99,631	0,369
6	100	99,451	0,549
7	100	99,202	0,798
8	100	97,404	2,596
9	100	99,654	0,346
10	100	99,096	0,904
11	100	99,656	0,344
12	100	99,529	0,471
13	100	99,535	0,465
14	100	98,488	1,512
15	100	98,223	1,777
16	100	96,642	3,358
17	100	98,043	1,957
Total	1700	1679,141	20,859

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con los datos del total de masa inicial, masa final obtenida y la masa perdida, se procede a calcular el porcentaje de perdida aplicando la siguiente fórmula.

$$\%Perdida = \frac{100 * \text{masa perdida}}{\text{masa inicial}}$$

$$\%Perdida = \frac{100 * 20,859\text{gr}}{1700\text{gr}}$$

$\%Perdida = 1,227\%.....$ Porcentaje de pérdida de semilla molida en el tamizado

Una vez que ya se tiene el dato de la perdida de semilla en el tamizado se procede a realizar el siguiente balance de materia.

Porcentaje de pérdida de semilla molida en el tamizado= 1,227 %

Pérdida de semilla en el tamizado $F_3 = F_2 * 0,01227$

$F_3 = 0,540094\text{kg} * 0,01227$

$F_3 = 0,006627\text{kg}$

$$F_2 = F_3 + F_4 \quad \text{-----} > \quad F_4 = F_2 - F_3$$

$F_4 =$ Masa de semilla molida

$F_4 = 0,540094\text{kg} - 0,006627\text{kg}$

$F_4 = 0,533467\text{kg}$

ETAPA 3: MACERACIÓN DINÁMICA

Para determinar el porcentaje de agua evaporada se realizó 16 experimentos tomando como masa inicial 50gr de semilla molida y 1000ml de agua destilada, utilizando como densidad del agua $0,998 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}$.

Aplicando la fórmula de densidad: $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad \text{-----} > \quad \text{masa} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} * \text{volumen}$$

$$\text{masa}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,998 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} * 1000\text{ml}$$

$$\text{masa}_{\text{H}_2\text{O}} = 998\text{gr}$$

Tabla II-16: Datos experimentales al inicio de la maceración

Nº	Masa de semilla molida (gr)	Masa de agua destilada (gr)	Masa inicial hacer calentada (gr)
1	50	998	1048
2	50	998	1048
3	50	998	1048
4	50	998	1048
5	50	998	1048
6	50	998	1048

7	50	998	1048
8	50	998	1048
9	50	998	1048
10	50	998	1048
11	50	998	1048
12	50	998	1048
13	50	998	1048
14	50	998	1048
15	50	998	1048
16	50	998	1048

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De cada experimento se obtiene el concentrado líquido y la masa de la semilla filtrada como se detalla a continuación.

Tabla II-17: Datos experimentales en el proceso de filtración

Nº	Masa inicial hacer calentada (gr)	Masa filtrada (gr)	Masa de semilla filtrada (gr)
1	1048	600,545	95,950
2	1048	615,455	90,870
3	1048	625,796	103,150
4	1048	505,534	81,550
5	1048	340,855	85,482
6	1048	345,265	84,550
7	1048	488,254	85,850
8	1048	324,264	80,264
9	1048	650,696	108,115
10	1048	579,655	84,550
11	1048	611,790	100,115
12	1048	647,835	99,655
13	1048	323,646	80,650
14	1048	319,765	80,501
15	1048	472,225	81,505
16	1048	345,515	82,502

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para determinar la masa de agua evaporada se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Masa}_{\text{Evap}} = \text{Masa inicial} - (\text{Masa filtrada} + \text{Masa de semilla filtrada})$$

Tabla II-18: Datos experimentales para la obtención de la masa de agua evaporada

Nº	Masa inicial hacer calentada (gr)	Masa filtrada conc. (gr)	Masa de semilla filtrada (gr)	Masa de agua evaporada (gr)
1	1048	600,545	95,950	351,505
2	1048	615,455	90,870	341,675
3	1048	625,796	103,150	319,054
4	1048	505,534	81,550	460,916
5	1048	340,855	85,482	621,663
6	1048	345,265	84,550	618,185
7	1048	488,254	85,850	473,896
8	1048	324,264	80,264	643,472
9	1048	650,696	108,115	289,189
10	1048	579,655	84,550	383,795
11	1048	611,790	100,115	336,095
12	1048	647,835	99,655	300,510
13	1048	323,646	80,650	643,704
14	1048	319,765	80,501	647,734
15	1048	472,225	81,505	494,270
16	1048	345,515	82,502	619,983

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Aplicando la siguiente fórmula se obtiene el porcentaje de agua evaporada para cada experimento.

$$\% \text{Masa}_{\text{Agua Evap}} = \frac{m_{\text{Agua evap. total}} * 100}{\text{masa inicial total}}$$

Tabla II-19: Datos experimentales a utilizar para determinar el porcentaje de agua evaporada

Nº	Masa inicial hacer calentada (gr)	Masa de agua evaporada (gr)
1	1048	351,505
2	1048	341,675
3	1048	319,054
4	1048	460,916
5	1048	621,663
6	1048	618,185
7	1048	473,896
8	1048	643,472
9	1048	289,189
10	1048	383,795
11	1048	336,095
12	1048	300,510
13	1048	643,704
14	1048	647,734
15	1048	494,270
16	1048	619,983
Total	16768	7545,646

Fuente: Elaboración propia, 2021.

$$\%Masa_{\text{Agua evap.}} = \frac{7545,646\text{gr} * 100}{16768\text{gr}}$$

$$\%Masa_{\text{Agua evap}} = \frac{7545,646\text{gr} * 100}{16768\text{gr}}$$

$$\%Masa_{\text{Agua evap}} = 45\%$$

F₄ = Masa de semilla molida

F₅ = Masa de agua destilada

Porcentaje de agua evaporada = 45%

Masa de agua evaporada **F₆** = F₅*0,45

$$F_6 = 0,998\text{kg} * 0,45$$

$$F_6 = 0,4491\text{kg}$$

$$F_4 + F_5 = F_6 + F_7 \text{ ----> } F_7 = F_4 + F_5 - F_6$$

F_7 = Masa de la mezcla (semilla + agua destilada)

$$F_7 = 0,533467\text{kg} + 0,998\text{kg} - 0,4491\text{kg}$$

$$F_7 = 1,0823\text{kg}$$

ETAPA 4: FILTRACIÓN

Con los datos anteriores de masa filtrada concentrada y masa de la semilla filtrada se obtiene el porcentaje del extracto sólido.

Tabla II-20: Datos experimentales en el proceso de filtración utilizados para determinar el porcentaje de semilla que se obtiene de la filtración

Nº	Masa inicial hacer calentada (gr)	Masa filtrada conc. (gr)	Masa de semilla filtrada (gr)
1	1048	600,545	95,950
2	1048	647,835	90,870
3	1048	625,796	103,150
4	1048	505,534	81,550
5	1048	340,855	85,482
6	1048	345,265	84,550
7	1048	488,254	85,850
8	1048	324,264	80,264
9	1048	650,696	108,115
10	1048	579,655	84,550
11	1048	611,79	100,115
12	1048	615,455	99,655
13	1048	323,646	80,650
14	1048	319,765	80,501
15	1048	472,225	81,505
16	1048	345,515	82,502
Total	16768	7797,095	1425,259

Fuente: Elaboración propia, 2021.

$$\%Masa_{Semilla\ filtrada} = \frac{m_{Semilla\ filtrada\ total} * 100}{masa\ inicial\ total}$$

$$\%Masa_{Semilla\ filtrada} = \frac{1425,259gr * 100}{16768gr}$$

$$\%Masa_{Semilla\ filtrada} = 8,499\%$$

$$\%Masa_{Semilla\ filtrada} = 8,50\%$$

Porcentaje de extracto sólido (semilla) = 8,50%

Masa de extracto sólido $F_8 = F_7 * 0,085$

$$F_8 = 1,0823kg * 0,085$$

$$F_8 = 0,0920kg$$

$$F_7 = F_8 + F_9 \quad \text{-----} > \quad F_9 = F_7 - F_8$$

$$F_9 = 1,0823kg - 0,0920kg$$

$$F_9 = 0,9903kg$$

ETAPA 5: CONCENTRACIÓN DEL MUCÍLAGO

Para obtener el porcentaje de agua que se pierde en el proceso de destilación en el rotavapor, se utilizó los valores experimentales que se obtuvieron en el laboratorio.

Del proceso de concentración del mucílago en el rotavapor se obtuvieron los datos de concentrado en gramos y el agua recibida en el balón en mililitros.

Tabla II-21: Datos experimentales del proceso de concentración

Nº	Masa filtrada conc. (gr)	Volumen de agua que se recupera del destilado (ml)	Masa del concentrado (gr)
1	600,545	30	360,500
2	647,835	85	468,682
3	625,796	45	451,306
4	505,534	65	340,540
5	340,855	30	266,034
6	345,265	30	247,434

7	488,254	50	317,890
8	324,264	10	197,509
9	650,696	35	369,958
10	579,655	110	385,876
11	611,79	40	450,100
12	615,455	25	488,577
13	323,646	35	210,500
14	319,765	25	230,150
15	472,225	40	300,150
16	345,515	15	200,500

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Aplicando la fórmula de densidad: $\rho_{H_2O} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$

$$\rho_{H_2O} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \text{ -----} \rightarrow \text{masa} = \rho_{H_2O} * \text{volumen}$$

$$\text{masa}_{H_2O} = \rho_{H_2O} * \text{volumen}$$

Se obtiene la cantidad en gramos del agua que se tiene en el balón de destilación.

Tabla II-22: Datos experimentales del volumen de agua recuperada en el rotavapor

Nº	Volumen de agua que se recupera del destilado (ml)	Masa de agua que se recupera del destilado (gr)
1	30	29,940
2	85	84,830
3	45	44,910
4	65	64,870
5	30	29,940
6	30	29,940
7	50	49,900
8	10	9,980
9	35	34,930
10	110	109,780
11	40	39,920
12	25	24,950
13	35	34,930
14	25	24,950
15	40	39,920
16	15	14,970

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Una vez que ya se tiene el dato del agua en gramos aplicando por diferencia se obtiene el dato de la cantidad de agua que se pierde en el destilado.

$$\text{masa}_{\text{Agua perdida}} = \text{masa}_{\text{filtrada conc.}} - \text{masa}_{\text{concentrado}} - \text{masa}_{\text{Agua recuperada}}$$

Tabla II-23: Datos experimentales en el proceso de concentración para determinar la pérdida de agua evaporada

Nº	Masa filtrada conc. (gr)	Masa del concentrado (gr)	Masa de agua que se recupera del destilado (gr)	Masa de agua perdida en el destilado (gr)
1	600,545	360,500	29,940	210,105
2	647,835	468,682	84,830	94,323
3	625,796	451,306	44,910	129,580
4	505,534	340,540	64,870	100,124
5	340,855	266,034	29,940	44,881
6	345,265	247,434	29,940	67,891
7	488,254	317,890	49,900	120,464
8	324,264	197,509	9,980	116,775
9	650,696	369,958	34,930	245,808
10	579,655	385,876	109,780	83,999
11	611,79	450,100	39,920	121,770
12	615,455	488,577	24,950	101,928
13	323,646	210,500	34,930	78,216
14	319,765	230,150	24,950	64,665
15	472,225	300,150	39,920	132,155
16	345,515	200,500	14,970	130,045

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Aplicando la siguiente fórmula se obtiene la masa de agua evaporada.

$$\text{masa}_{\text{Agua Evaporada}} = \text{masa}_{\text{Agua recuperada}} + \text{masa}_{\text{Agua perdida destilado}}$$

Tabla II-24: Datos experimentales en el proceso de concentración para determinar la cantidad de agua evaporada

Nº	Masa filtrada conc. (gr)	Masa de agua que se recupera del destilado (gr)	Masa de agua perdida en el destilado (gr)	Masa de agua evaporada (gr)
1	600,545	29,940	210,105	240,045
2	647,835	84,830	94,323	179,153
3	625,796	44,910	129,580	174,490
4	505,534	64,870	100,124	164,994
5	340,855	29,940	44,881	74,821
6	345,265	29,940	67,891	97,831
7	488,254	49,900	120,464	170,364
8	324,264	9,980	116,775	126,755
9	650,696	34,930	245,808	280,738
10	579,655	109,780	83,999	193,779
11	611,79	39,920	121,770	161,690
12	615,455	24,950	101,928	126,878
13	323,646	34,930	78,216	113,146
14	319,765	24,950	64,665	89,615
15	472,225	39,920	132,155	172,075
16	345,515	14,970	130,045	145,015

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con los valores obtenidos y aplicando la siguiente fórmula se obtiene el dato del porcentaje de agua evaporada.

$$\% \text{Masa}_{\text{Agua evaporada}} = \frac{\text{m}_{\text{Agua evaporada total}} * 100}{\text{masa filtrada conc. total}}$$

Tabla II-25: Datos experimentales en el proceso de concentración para determinar el porcentaje de agua evaporada

Nº	Masa filtrada conc. (gr)	Masa del Concentrado (gr)	Masa de agua evaporada (gr)
1	600,545	360,500	240,045
2	647,835	468,682	179,153
3	625,796	451,306	174,490
4	505,534	340,540	164,994
5	340,855	266,034	74,821
6	345,265	247,434	97,831
7	488,254	317,890	170,364
8	324,264	197,509	126,755
9	650,696	369,958	280,738
10	579,655	385,876	193,779
11	611,79	450,100	161,690
12	615,455	488,577	126,878
13	323,646	210,500	113,146
14	319,765	230,150	89,615
15	472,225	300,150	172,075
16	345,515	200,500	145,015
Total	7797,095	5285,706	2511,389

Fuente: Elaboración propia, 2021.

$$\%Masa_{\text{Agua evaporada}} = \frac{2511,389\text{gr} * 100}{7797,095\text{gr}}$$

$$\%Masa_{\text{Agua evaporada}} = 32,209\%$$

Porcentaje de agua que se evapora = 32,209 %

Masa de agua evaporada $F_{10} = F_9 * 0,32209$

$$F_{10} = 0,9903\text{kg} * 0,32209$$

$$F_{10} = 0,3190\text{kg}$$

$$F_9 = F_{10} + F_{11} \text{ ----> } F_{11} = F_9 - F_{10}$$

F_{11} = Masa de mucílago concentrado

$$F_{11} = 0,9903\text{kg} - 0,3190\text{kg}$$

$$F_{11} = 0,6713\text{kg}$$

RENDIMIENTO:

Para sacar el rendimiento se hizo uso de 0,533467kg de semilla molida que se obtuvo del proceso de molienda, con el volumen de agua que se utilizó en el proceso de maceración 0,998kg.

$$F_4 = 0,533467\text{kg}$$

$$F_5 = \text{Masa de agua destilada} \text{ ---> } \text{masa}_{\text{H}_2\text{O}} = 998\text{gr} \text{ ---> } \text{masa}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,998\text{kg}$$

$$\text{Masa inicial en el proceso de maceración} = 0,533467\text{kg} + 0,998\text{kg} = 1,5315\text{kg}$$

$$\% \text{Rend.} = \frac{0,6713\text{kg}}{1,5315\text{kg}} * 100 \text{ ---> } \% \text{Rend.} = 43,8328\%$$

Resumen del balance de materia

Tabla II-26: Resumen del balance de materia

Fase	Molienda	Tamizado	Maceración dinámica	Filtración	Concentración
Masa Inicial	0,550kg	0,540094kg	0,533467kg	1,0823kg	0,9903kg
Masa añadida			0,998kg		
Perdida	0,009906kg	0,006627kg	0,4491kg	0,0920kg	0,3190kg
Masa final	0,540094kg	0,533467kg	1,0823kg	0,9903kg	0,6713kg

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.4. Análisis estadístico del diseño experimental

Para el análisis estadístico del diseño experimental, se utilizó el programa SPSS25 (Statistical Package for the Social Sciences). La variable respuesta de los datos experimentales, esta expresada por el rendimiento de la extracción del Mucílago de las semillas de linaza (expresada en porcentaje).

En la tabla II-27, se muestran los resultados obtenidos de manera experimental dentro del proceso de extracción del Mucílago de las semillas de linaza, ejecutados de acuerdo al diseño factorial planteado.

El porcentaje de rendimiento, es el porcentaje de la cantidad de producto que puede producirse en una reacción química.

Aplicando la siguiente ecuación se obtiene el rendimiento de cada experimento realizado en el laboratorio.

$$\%Rend. = \frac{\text{masa conc.}}{\text{masa inicial hacer calentada}} * 100$$

Tabla II-27: Rendimiento de los 16 experimentos realizados según el diseño experimental planteado

Nº	Masa inicial hacer calentada (gr)	Masa del Concentrado (gr)	Masa de agua evaporada (gr)	%Rendimiento
1	1048	360,500	240,045	34,399
2	1048	468,682	179,153	44,722
3	1048	451,306	174,490	43,064
4	1048	340,540	164,994	32,494
5	1048	266,034	74,821	25,385
6	1048	247,434	97,831	23,610
7	1048	317,890	170,364	30,333
8	1048	197,509	126,755	18,846
9	1048	369,958	280,738	35,301
10	1048	385,876	193,779	36,820

11	1048	450,100	161,690	42,948
12	1048	488,577	126,878	46,620
13	1048	210,500	113,146	20,086
14	1048	230,150	89,615	21,961
15	1048	300,150	172,075	28,640
16	1048	200,500	145,015	19,132

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-28: Datos experimentales del proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza

N° Exp.	Factores			%Rendimiento
	Tamaño de la partícula (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo de extracción (Hrs.)	
1	1	-1	-1	34,399
2	-1	-1	-1	44,722
3	1	1	-1	43,064
4	-1	1	-1	32,494
5	1	-1	1	25,385
6	-1	-1	1	23,610
7	1	1	1	30,333
8	-1	1	1	18,846
9	1	-1	-1	35,301
10	-1	-1	-1	36,820
11	1	1	-1	42,948
12	-1	1	-1	46,620
13	1	-1	1	20,086
14	-1	-1	1	21,961
15	1	1	1	28,640
16	-1	1	1	19,132

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se realiza un Análisis de Varianza Univariante, para poder determinar la influencia de los factores tamaño, temperatura y tiempo, con el objetivo de saber si todos los factores y sus combinaciones son significativos respecto a la variable respuesta (%Rendimiento).

Los factores inter-sujetos se muestran en la tabla II-29 con la codificación de cada nivel.

Tabla II-29: Factores inter-sujetos

		N
Tamaño	-1,00	8
	1,00	8
Temperatura	-1,00	8
	1,00	8
Tiempo	-1,00	8
	1,00	8

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla II-30, se muestran los resultados del análisis de varianza, aplicado a los datos experimentales del proceso de extracción del mucílago de las semillas de linaza. Se puede observar que el tiempo de extracción, influyen sobre el porcentaje de mucilago extraído como así también la interacción entre Tamaño*Temperatura son significativos, esto se debe a que el nivel de significancia es menor al 5 % o 0,05.

Tabla II-30: Pruebas de los efectos inter-sujetos

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1215,276 ^a	6	202,546	12,265	,001
Intersección	15898,751	1	15898,751	962,742	,000
Tamaño	15,902	1	15,902	,963	,352

Temperatura	24,485	1	24,485	1,483	,254
Tiempo	1030,009	1	1030,009	62,372	,000
Tamaño * Temperatura	99,177	1	99,177	6,006	,037
Tamaño * Tiempo	41,728	1	41,728	2,527	,146
Temperatura * Tiempo	3,975	1	3,975	,241	,635
Error	148,626	9	16,514		
Total	17262,654	16			
Total, corregido	1363,902	15			
a. R al cuadrado = ,891 (R al cuadrado ajustada = ,818)					

Fuente: Elaboración propia, SPSS 25, 2021.

En la tabla II-31, se muestra las variables introducidas y eliminadas a través del programa por no ser significativa, en la presente tabla se observa que el programa no eliminó ninguna de las variables que se tomó para la investigación (tiempo, temperatura y tamaño). Lo que significa que las variables tomadas son las correctas por ser significativas para el proyecto.

Tabla II-31: Variables introducidas/eliminadas

Variables entradas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	Tiempo, Temperatura, Tamaño ^b	.	Introducir
a. Variable dependiente: Rendimiento			
b. Todas las variables solicitadas introducidas.			

Fuente: Elaboración propia, SPSS 25, 2021.

En la Tabla II-32, se muestra un resumen del modelo matemático y del análisis Anova para el rendimiento de Extracto del mucilago de las semillas de linaza, donde el exponente hace referencia a las variables: Predictores: (Constante), Tiempo, Temperatura, Tamaño.

Tabla II-32: Resumen del Modelo Matemático Resumen del Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,886 ^a	,785	,731	4,94559
a. Predictores: (Constante), Tiempo, Temperatura, Tamaño				
b. Variable dependiente: Rendimiento				

Fuente: Elaboración propia, SPSS 25, 2021.

En la Tabla II-33 se muestra el análisis de varianza (Anova), donde se observa un nivel de significación de 0,000, demostrando así que el modelo matemático escogido es el correcto.

Tabla II-33: Resultados del Análisis Anova

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1070,396	3	3536,799	14,588	,000 ^b
	Residuo	393,506	12	24,459		
	Total	1363,902	15			
a. Variable dependiente: Rendimiento						
b. Predictores: (Constante), Tiempo, Temperatura, Tamaño						

Fuente: Elaboración propia, SPSS 25, 2021.

En la Tabla II-34, se muestran los coeficientes para el modelo matemático del rendimiento del mucilago de las semillas de linaza.

Tabla II-34: Coeficientes del Modelo Matemático Coeficientes^a

Coeficientes ^a								
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)	31,523	1,236		25,495	,000	28,829	34,216
	Tamaño	,997	1,236	,108	,806	,436	-1,697	3,691
	Temperatura	1,237	1,236	,134	1,001	,337	-1,457	3,931
	Tiempo	-8,023	1,236	-,869	-6,489	,000	-10,717	-5,330
a. Variable dependiente: Rendimiento								

Fuente: Elaboración propia, SPSS 25, 2021.

Según los coeficientes indicados en la tabla II-34, el modelo matemático para la extracción del mucílago de las semillas de linaza corresponde a la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = 31,523 + 0,997 * \text{Tamaño} + 1,237 * \text{Temperatura} - 8,023 * \text{Tiempo}.$$

Con el modelo lineal, se obtiene un nuevo rendimiento, que recibe el nombre de rendimiento calculado, el cual se graficará junto al rendimiento obtenido de cada experimento.

El rendimiento calculado, es el valor que se obtiene del modelo matemático obtenido de la regresión lineal, que relaciona las variables dependientes con las variables independientes.

$$\text{Rendimiento Calculado} = 31,523 + 0,997 * \text{Tamaño} + 1,237 * \text{Temperatura} - 8,023 * \text{Tiempo}.$$

Para el cálculo del rendimiento calculado se utilizó los datos del tamaño, temperatura y tiempo que se detalla en la II-35.

Tabla II-35: Datos del rendimiento calculado

N° Exp.	Factores			Rendimiento Obtenido	Rendimiento Calculado
	Tamaño de la partícula (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo de extracción (Hrs.)		
1	1	-1	-1	34,400	39,306
2	-1	-1	-1	44,720	37,312
3	1	1	-1	43,060	41,780
4	-1	1	-1	32,490	39,786
5	1	-1	1	25,390	23,260
6	-1	-1	1	23,610	21,266
7	1	1	1	30,330	25,734
8	-1	1	1	18,850	23,740
9	1	-1	-1	35,300	39,306
10	-1	-1	-1	36,820	37,312
11	1	1	-1	42,950	41,780
12	-1	1	-1	46,620	39,786
13	1	-1	1	20,090	23,260
14	-1	-1	1	21,960	21,266
15	1	1	1	28,640	25,734
16	-1	1	1	19,130	23,740

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Error, es el valor que se obtiene de la diferencia del rendimiento obtenido con el rendimiento calculado, es un valor que indica la distancia que se tiene entre el rendimiento obtenido y rendimiento calculado.

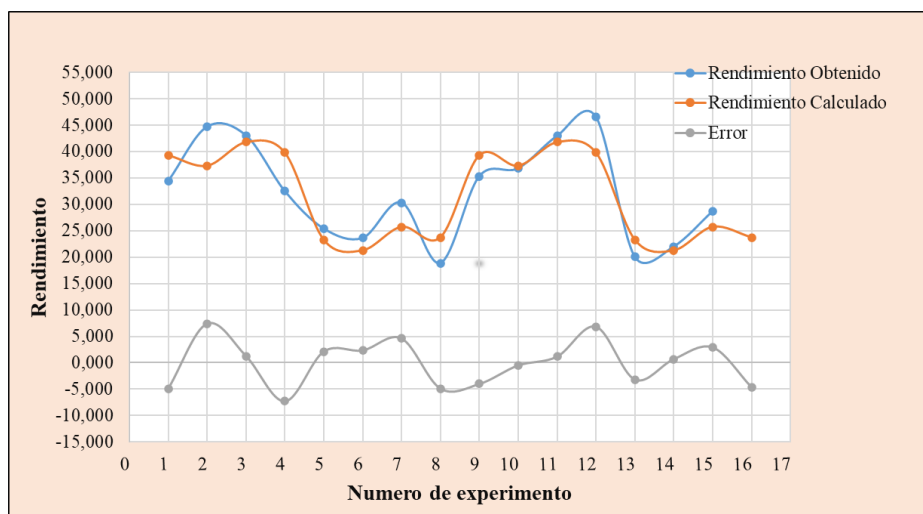
$$\text{Error} = \text{Rendimiento obtenido} - \text{Rendimiento calculado}$$

Tabla II-36: Resultados de los Rendimientos de la extracción del mucílago de las semillas de linaza.

Nº de Experimentos	Rendimiento Obtenido	Rendimiento Calculado	Error
1	34,400	39,306	-4,906
2	44,720	37,312	7,408
3	43,060	41,780	1,280
4	32,490	39,786	-7,296
5	25,390	23,260	2,130
6	23,610	21,266	2,344
7	30,330	25,734	4,596
8	18,850	23,740	-4,890
9	35,300	39,306	-4,006
10	36,820	37,312	-0,492
11	42,950	41,780	1,170
12	46,620	39,786	6,834
13	20,090	23,260	-3,170
14	21,960	21,266	0,694
15	28,640	25,734	2,906
16	19,130	23,740	-4,610

Fuente: Elaboración propia, 2021.

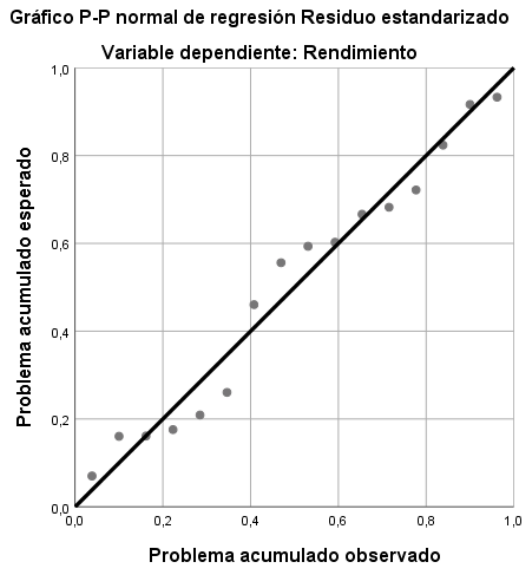
Figura 2-16: Rendimientos Observado, Calculado y Error.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 2-17, se puede observar el modelo escogido y la posición de los puntos respecto al modelo, algunos puntos no se ajustan al modelo, sin embargo, según el análisis Anova no muestra gran significancia el desajuste, motivo por el cual el modelo escogido es correcto.

Figura 2-17: Modelo Lineal.



Fuente: Elaboración propia, SPSS 25, 2021

Tabla II-37: Tabla estadística de residuos^a

Estadísticas de residuos ^a					
	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	N
Valor pronosticado	21,2651	41,7800	31,5226	8,44747	16
Desv. Valor pronosticado	-1,214	1,214	,000	1,000	16
Error estándar de valor pronosticado	2,473	2,473	2,473	,000	16
Valor pronosticado corregido	20,4835	42,2168	31,5226	8,57519	16
Residuo	-7,29213	7,41000	,00000	4,42347	16

Desv. Residuo	-1,474	1,498	,000	,894	16
Residuo estud.	-1,703	1,730	,000	1,033	16
Residuo eliminado	-9,72283	9,88000	,00000	5,89796	16
Residuo eliminado estud.	-1,872	1,912	,003	1,086	16
Distancia Mahal.	2,813	2,813	2,813	,000	16
Distancia de Cook	,001	,249	,083	,084	16
Valor de influencia centrado	,188	,188	,188	,000	16
a. Variable dependiente: Rendimiento					

Fuente: Elaboración propia, SPSS 25, 2021

Del análisis estadístico se puede concluir lo siguiente:

8. La elección del modelo es correcta, por cuanto la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza de 95 %.
9. El factor que más influye en el proceso de extracción, es el tiempo de extracción con una elevada significancia, siguiéndole la relación del tamaño*temperatura de extracción, siendo las variables más significativas en el proceso de extracción del mucilago de las semillas de linaza.

2.5. Determinación del coeficiente de masa

Se utilizó el modelo cinético de transferencia de masa para representar nuestros datos de experimento.

$$\frac{dE}{dt} = K_L(C_S - C)$$

Dado que la extracción se realizó con un volumen constante, se podría representar mediante un proceso tipo discontinuo (batch) de primer orden, el que matemáticamente puede escribirse:

$$-\frac{dC_A}{dt} = KC_A$$

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} -\frac{dC_A}{C_A} = \int_0^t K dt$$

Integrando y despejando la ecuación se obtiene:

$$\ln(C_{A0}-C_A) = Kt$$

$$K = \frac{\ln(C_{A0} - C_A)}{t}$$

Tabla II-38: Valores del promedio del rendimiento

N° Exp.	Factores			Rendimiento		Promedio del rendimiento
	Tamaño de la partícula (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo de extracción (Hrs.)	1	2	
1	1	70	1	34,400	35,300	34,850
2	0,50	70	1	44,720	36,820	40,770
3	1	80	1	43,060	42,950	43,005
4	0,50	80	1	32,490	46,620	39,555
5	1	70	3	25,390	20,090	22,740
6	0,50	70	3	23,610	21,960	22,785
7	1	80	3	30,330	28,640	29,485
8	0,50	80	3	18,850	19,130	18,990

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Observando los resultados obtenidos de la parte experimental se determina que $C_{A0}=43,005$.

Tabla II-39: Valores de $\ln(C_{A0} - C_A)$ para diferentes condiciones de operación

N° Exp.	Factores			C_A	$\ln(C_{A0}-C_A)$
	Tamaño de la partícula (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo de extracción (Hrs.)		
1	1	70	1	34,850	2,099
2	0,50	70	1	40,770	0,804
3	1	80	1	43,005	0,000
4	0,50	80	1	39,555	1,238
5	1	70	3	22,740	3,009
6	0,50	70	3	22,785	3,007
7	1	80	3	29,485	2,604
8	0,50	80	3	18,990	3,179

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-40: Valores de K para diferentes condiciones de operación

N° Exp.	Factores			C_A	$\ln(C_{A0}-C_A)$	K
	Tamaño de la partícula (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo de extracción (Hrs.)			
1	1	70	1	34,850	2,099	2,099
2	0,50	70	1	40,770	0,804	0,804
3	1	80	1	43,005	0,000	0,000
4	0,50	80	1	39,555	1,238	1,238
5	1	70	3	22,740	3,009	1,003
6	0,50	70	3	22,785	3,007	1,002

7	1	80	3	29,485	2,604	0,868
8	0,50	80	3	18,990	3,179	1,060

Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.6. Análisis de costos

2.6.1. Costo del estudio

Los costos que conlleva la realización del presente proyecto de investigación se muestran a continuación en las siguientes tablas

Tabla II-41: Detalle de los costos de Materia Prima y Solvente

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Semilla de linaza	kg	8	7	56
Agua destilada	Litros	17	8	136
Total				192Bs

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-42: Detalle del Costo de los Materiales

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Taper medianos	Pza	3	11	33
Frasco de vidrio	Pza	2	11	22
Taper pequeños	Pza	2	5	10
Olla pequeña	Pza	1	40	40
Probeta de 500ml	Pza	1	85	85
Frasco de plásticos de 850ml	Pza	8	3.75	30
Frasco de plásticos de 500ml	Pza	6	4	24
Total				244Bs

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-43: Detalle de costo de los Análisis Físicoquímico de la materia prima

Parámetros	Precio (Bs)
Ceniza	50
Fibra	75
Materia Grasa	60
Hidratos de carbono	45
Humedad	25
Proteína total (Nx5,71)	85
Valor energético	10
Total	350

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-44: Detalle de costo de los Análisis Físicoquímicos del Mucílago de las semillas de Linaza

Parámetros	Precio (Bs)
Sólidos Totales	65
Cenizas	100
Materia Grasa	140
Proteína Total	200
Carbohidratos	45
Sólidos Solubles	300
Valor energético	45
Fibra alimentaria	300
Densidad	70

Grados Brix	35
Total	1300

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-45: Detalle de costo de servicios directos e indirectos

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Transporte	40	2	80
Internet	6	143	858
Total			938

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-46: Detalle de Costos del Material de Apoyo.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Cuaderno pequeño anillado	1	12	12
Impresión del trabajo	800	0,25	200
Anillados	6	4	24
Empastados	3	70	210
Total			446

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-47: Detalle de Costos Totales de la investigación

Descripción	Costo total (Bs)
Detalle de los costos de Materia Prima y Solvente	192
Detalle del Costo de los Materiales.	244
Detalle de costo de los Análisis Fisicoquímico de la materia prima	350
Detalle de costo de los Análisis Fisicoquímicos del Mucílago de las semillas de Linaza	1300
Detalle de costo de servicios directos e indirectos	938
Detalle de Costos del Material de Apoyo	446
Total	3470

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El costo total de la investigación 3470Bs.

2.6.2. Costo de producción

Los datos que se presentan a continuación es una estimación aproximada del costo de producción para la extracción del mucílago de las semillas de linaza.

Los costos son:

Costo de energía eléctrica 0,73Bs/ kWh según SETAR.

Costo de Agua destilada 8Bs/litro.

Costo de agua 2,93Bs/m³ según la información que se encuentra en la página del Ministerio de Ambiente y Agua del Estado Plurinacional de Bolivia.

Tabla II-48: Consumo eléctrico en equipos utilizados

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Energía (kWh)	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Agitación	0,105	32	3,36	0,73	2,453
Calentador	0,64	32	20,48	0,73	14,950
Tamiz vibratorio	0,08	30	2,40	0,73	1,752
Balanza Analítica	0,022	35	0,77	0,73	0,562
Licuada eléctrica	0,22	6	1,32	0,73	0,964
Rota-vapor	1,32	9	11,88	0,73	8,673
Bomba de aire	0,40	9	3,60	0,73	2,628
Total					31,982

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-49: Consumo de servicio de agua

Detalle	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Agua	Lavado	Litros	50	$2,93 \times 10^{-3}$	0,147
	Baño del Rotavapor	Litros	56	$2,93 \times 10^{-3}$	0,164
	Agua que circula en el refrigerante	Litros	2560	$2,93 \times 10^{-3}$	7,501
Agua destilada	Maceración dinámica	Litros	17	8	136
Total					143,812

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla II-50: Detalle de Costos Totales de producción

Descripción	Costo total (Bs)
Consumo eléctrico en equipos utilizados	31,982
Consumo de servicio de agua	143,812
Total	175,794

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El costo total de producción es 175,794Bs.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de la materia prima

Las características de la materia prima utilizada en el presente proyecto de investigación, se detalla a continuación en la tabla III-1.

Tabla III-1: Composición Físicoquímica de las semillas de Linaza

Parámetros	Unidad	Resultados
Ceniza	%	2,99
Fibra	%	24,59
Fósforo	mg/100g	257,0
Grasa	%	38,53
Hidratos de carbono	%	8,37
Humedad	%	6,92
Materia Seca	%	93,08
Proteína total (Nx5,71)	%	18,6
Valor energético	Kcal/100g	454,65

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2021.

3.2. Análisis físicoquímicos del producto obtenido

Los análisis físicoquímicos del Mucílago de las semillas de Linaza, se realizaron en el laboratorio Bromatológico Alimentos Seguro (LABRAS).

Los resultados de los análisis físicoquímicos que se realizaron a la muestra con un rendimiento 46,620% (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 80°C y tiempo 1hr), se muestran en la Tabla III-2.

Tabla III-2: Características fisicoquímicas del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 80°C y tiempo 1hr)

Parámetros	Unidad	Resultados
Solidos Totales	%(m/m)	1,12
Cenizas	%(m/m)	0,09
Materia Grasa	%(m/m)	0,22
Proteína Total	%(m/m)	0,62
Carbohidratos	%(m/m)	0,19
Solidos Solubles	Grados Brix	1,10
Valor energético	kcal	5,22

Fuente: Laboratorio Bromatológico Alimentos Seguro “LABRAS”, 2021.

En la Tabla III-3, se muestra la información nutricional del mucílago de las semillas de linaza, información obtenida de los análisis que se realizaron en el laboratorio, donde % VRN significa % Valores de referencia nutricionales con base a una dieta de 2000kcal y 8400kJ.

Tabla III-3: Información nutricional del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 80°C y tiempo 1hr)

Parámetros	Cantidad por porción/ Unidad	Dieta 2000cal	%VRN
Valor energético (kcal)	8,49	2000kcal	0,42%
Carbohidratos (g)	0,19	300g	0,06%
Fibra alimentaria total (g)	4,61	30g	15,35%

Fibra Insoluble (g)	1,77	30g	5,90%
Fibra soluble (g)	2,84	30g	9,50%
Proteínas (g)	0,62	50g	1,24%
Grasas Totales (g)	0,22	66g	0,33%

Fuente: Laboratorio Bromatológico Alimentos Seguro “LABRAS”, 2021

Para fines compartidos se realizó también los análisis fisicoquímicos de otra muestra que tenía otro rendimiento del 44,722% (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 70°C y tiempo 1hr). Los análisis fisicoquímicos del Mucílago de las semillas de Linaza, se realizaron en el laboratorio Bromatológico Alimentos Seguro (LABRAS). Los resultados de los análisis fisicoquímicos que se le realizó al producto final se muestran en la Tabla III-4.

Tabla III-4: Características fisicoquímicas del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 70°C y tiempo 1hr)

Parámetros	Unidad	Resultados
Solidos Totales	%(m/m)	4,10
Cenizas	%(m/m)	0,12
Materia Grasa	%(m/m)	0,44
Proteína Total	%(m/m)	0,91
Carbohidratos	%(m/m)	0,22
Densidad	g/cc	10,066
Solidos Solubles	Grados Brix	1,60
Valor energético	kcal	8,49

Fuente: Laboratorio Bromatológico Alimentos Seguro “LABRAS”, 2021.

En la Tabla III-5, se muestra la información nutricional del mucílago de las semillas de linaza, información obtenida de los análisis que se realizaron en el laboratorio, donde % VRN significa % Valores de referencia nutricionales con base a una dieta de 2000kcal y 8400kJ.

Tabla III-5: Información nutricional del Mucílago de las semillas de Linaza (tamaño de la partícula 0,50mm, temperatura 70°C y tiempo 1hr)

Parámetros	Cantidad por porción/ Unidad	Dieta 2000cal	%VRN
Valor energético (kcal)	8,49	2000kcal	0,42%
Carbohidratos (g)	0,22	300g	0,07%
Fibra alimentaria total (g)	4,98	30g	16,58%
Fibra Insoluble (g)	2,41	30g	8,03%
Fibra soluble (g)	2,57	30g	8,60%
Proteínas (g)	0,91	50g	1,82%
Grasas Totales (g)	0,44	66g	0,67%

Fuente: Laboratorio Bromatológico Alimentos Seguro “LABRAS”, 2021.

% VRN=% Valores de referencia nutricionales

En tabla III-6, se muestra una tabla de valores comparativos entre los dos mejores rendimientos de la extracción del mucilago de las semillas de linaza.

Tabla III-6: Tabla comparativa de los dos mejores rendimientos de la extracción del mucílago de las semillas de linaza.

Parámetros	Mucílago de las semillas de linaza Rend. 46,620% (tamaño part. 0,50mm, temp.80°C y tiempo 1hr)		Mucílago de las semillas de linaza Rend. 44,722% (tamaño part. 0,50mm, temp.70°C y tiempo 1hr)	
	Cantidad por porción/ Unidad	%VRN	Cantidad por porción/ Unidad	%VRN
Valor energético (kcal)	8,49	0,42%	8,49	0,42%
Carbohidratos (g)	0,19	0,06%	0,22	0,07%
Fibra alimentaria total (g)	4,61	15,35%	4,98	16,58%
Fibra Insoluble (g)	1,77	5,90%	2,41	8,03%
Fibra soluble (g)	2,84	9,50%	2,57	8,60%
Proteínas (g)	0,62	1,24%	0,91	1,82%
Grasas Totales (g)	0,22	0,33%	0,44	0,67%

Fuente: Laboratorio Bromatológico Alimentos Seguro “LABRAS”, 2021

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Respondiendo a los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación, basados en los resultados, las conclusiones son las siguientes:

- Los análisis fisicoquímicos de la semilla de linaza variedad marrón fueron realizados por el laboratorio del CEANID, cuyos valores son los que se detalla a continuación:

Parámetros	Unidad	Resultados
Ceniza	%	2,99
Fibra	%	24,59
Fósforo	mg/100g	257,0
Grasa	%	38,53
Hidratos de carbono	%	8,37
Humedad	%	6,92
Materia Seca	%	93,08
Proteína total (Nx5,71)	%	18,6
Valor energético	Kcal/100g	454,65

- Con el método de extracción por maceración dinámica, se concluye que con el método seleccionado se tiene un menor costo y una menor complejidad a diferencia de otros métodos.
- Concluida la parte experimental y según los resultados obtenidos las condiciones más adecuadas para la extracción son las siguientes:

Tamaño de la partícula	0,50mm
Temperatura	80°C
Tiempo de extracción	1hr

- Con los datos que se obtuvieron del programa SPSS 25, se llega a la conclusión, que el tiempo de extracción es uno de los factores más importantes que afectan al rendimiento.
- Con los rendimientos obtenidos de la parte experimental se llega a la conclusión que, a tiempos más largos de extracción, el rendimiento es bajo, corroborando así lo que se expresa en el programa SPSS 25.
- También se llega a la conclusión que la temperatura es un factor muy importante al momento de extraer el mucílago de las semillas de linaza, esto se pudo notar al observar los valores que se obtuvieron de los análisis fisicoquímicos donde a una temperatura de 80°C se tiene mayor cantidad de fibra soluble a comparación a una temperatura de 70°C.

Parámetros	Temperatura 80°C		Temperatura 70°C	
	Cantidad por porción/ Unidad	%VRN	Cantidad por porción/ Unidad	%VRN
Fibra soluble (g)	2,84	9,50%	2,57	8,60%

4.2.Recomendaciones

- ❖ Se debe tener el cuidado necesario en el control de la temperatura durante la maceración dinámica, ya que es una variable que influye en la calidad del producto.
- ❖ Se debe controlar la presión interna en el interior del balón de destilación del rotavapor, regulando la misma con la llave de conexión con la atmósfera con el objetivo de evitar que el producto se suba al refrigerante.
- ❖ Se recomienda realizar la elaboración de productos a base del mucílago de las semillas de linaza.
- ❖ En base a los resultados obtenidos en el laboratorio se recomienda realizar estudios de prefactibilidad en la implementación de una planta piloto de extracción del mucílago de las semillas de linaza, para su aplicación en la industria alimentaria.