

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Generalidades

En la antigüedad la elaboración de aceite en la antigua Roma vino de la mano de fenicios y griegos, aunque fueron los romanos quienes lo produjeron a gran escala y lo convirtieron en algo consumido habitualmente por todas las clases sociales. El aceite se obtenía en las villas, explotaciones agrícolas de carácter rural que también solían cultivar cereal y elaborar vino.

Un indicativo de la importancia del aceite en la dieta romana es que Julio César lo incorporó a la *annona* (reparto y comercio), abastecimiento gratuito de grano que se entregaba al ejército para su manutención. A partir de entonces, la demanda de aceite se incrementó en gran manera. La presencia de este producto entre los soldados acantonados en la frontera norte del Imperio indica que los pueblos del centro y norte de Europa lo fueron incorporando a su dieta.

El aceite tenía otras utilidades fundamentales en la vida cotidiana de los romanos. Por un lado, se empleaba como combustible para la iluminación. Los romanos utilizaban lucernas fabricadas a molde y huecas que se llenaban con el aceite de oliva de peor calidad. Éste empapaba una mecha de fibras vegetales, como lino hilado o papiro, que de este modo podía mantenerse largo tiempo encendida.

El aceite se utilizaba también como ungüento; de ahí justamente la frase de Plinio "el vino por dentro y el aceite por fuera". Los que practicaban ejercicio físico en las termas se unguían el cuerpo con aceite antes de entrenarse en la palestra o gimnasio. De esta forma protegían su piel del sol y la hidrataban. Tras el entrenamiento se limpiaban el cuerpo con un estrígilo, una herramienta curvada de bronce que les permitía quitarse la capa de aceite, polvo y sudor acumulada. Aunque cueste creerlo, esta mezcla era muy cotizada y los directores de los gimnasios la vendían para usos medicinales. Como explicaba Plinio, "es conocido que los magistrados que estaban a su cargo [de la palestra] llegaron a vender las raspaduras del aceite a ochenta mil sesteracios". El equipo del deportista incluía, por tanto, uno o varios estrígilos y un pequeño frasco, también de bronce o vidrio, donde guardar el aceite (María José Noain, 2018).

Por estas razones, la extracción de aceites vegetales, de grano o de fruto constituye una alternativa industrial de gran importancia económica. Actualmente dichos aceites son ampliamente comercializados en el mercado internacional, debido al crecimiento de la oferta y demanda mundial

de los mismos y sus perspectivas de expansión previstas, que dan lugar a un escenario actual y futuro de magnitud crecimiento en cantidad y calidad.

Aceite de Nuez y sus Propiedades

El aceite de nuez es un aceite extraído de las nueces del nogal, es un aceite comestible pero bastante caro, tiene un leve color y un olor y sabor delicado. Generalmente no se utiliza para freír porque pierde parte de sus propiedades distintivas, se suele utilizar en platos fríos y en salsas para ensaladas, tiene propiedades antioxidantes.

El aceite de nueces de nogal es una buena fuente de los ácidos grasos esenciales Omega-3.

El aceite de nuez tiene propiedades nutritivas para la piel, la regenera dándole elasticidad, hidratación y tonificándola.

El aceite de nuez es muy indicado para usarlo en pieles secas, escamadas, prevenir el envejecimiento, etc.

Se fabrican cremas, jabones y lociones con el aceite de nuez, precisamente para curar y proteger las pieles sensibles y dañadas, es un perfecto antiarrugas.

Es muy indicado para usarlo como aceite de base para elaborar otros aceites de masajes o, incluso, se puede utilizar solo.


Nutricionalmente, el aceite de nuez tiene propiedades antioxidantes, cardiovasculares, previene la trombosis, refuerza el sistema nervioso e inmunológico. Es indicado para la infancia al contribuir muy positivamente en la creación del tejido nervioso y la creación de anticuerpos. Si miras la tabla de valor nutricional verás la cantidad de ácidos grasos linoleico y linolénico que tiene el aceite de nuez y entenderás porque es tan beneficioso para nuestros hijos, les hace crecer fuertes y libres de infecciones (EcuRed).

Aplicaciones del Aceite de Nuez

En la siguiente tabla se señalan algunas aplicaciones importantes del Aceite de Nuez.

Tabla i-1 *Aplicaciones del Aceite de Nuez*

Nombre de compañía	Sitio web	Aplicacion	Producto
NATUR GREEN	https://naturgreen.es/product/nturgreen-aceite-nuez-blo-250-ml/	Producto apto para ser consumido directamente o para ser utilizado como ingrediente en preparaciones culinarias	
GREEN PHARMACY	https://www.mlfarma.es/green-pharmacy-crema-pies-acido-aceite-de-nuez-y-extracto-de-abeto-75-ml/	Crema para pies, enriquecido con aceite de nuez, fuente de vitamina E, que aporta suavidad e hidratación.	
AL BOSQUE	https://albosquebio.com/proct/crema-de-dia-jojoba-y-nuez-pecan/	Ideal para nutrir, hidratar e iluminar la piel, brindando un aspecto saludable y vital.	

NAISSANCE	https://www.amazon.es/Naissance-Aceite-Vegetal-Macadamia-Litro/dp/B004RGOCA2/ref=sr_1_54?keywords=macadamia&qid=1564813526&s=gateway&sr=8-54	Ideal para añadirlo a sopas, batidos, salsa, marinados y aderezos para la ensalada. Sabor agradable a nuez.	
-----------	---	---	---

Fuente: Elaboración propia.

Mercado del Aceite de Nuez

En lo que respecta el Mercado de Aceite de Nuez, a continuación, se presentan distintos datos estadísticos que ilustran sobre la situación del mismo.

Así, en la Tabla i-2, se muestran datos estadísticos mundiales del Aceite de Nuez referidos a la exportación e importación.

Tabla i-2 *Estadísticas Mundiales del Aceite de Nuez (Toneladas)*

Año	2020
Exportaciones de Aceite de Nuez	185 400
Importaciones de Aceite de Nuez	188 400

Fuente: Tridge Customer Specialists, 2020 TRIDGE.

Los datos indicados, se refieren la importancia que tiene el Mercado del Aceite de Nuez a nivel global que evidencia la existencia de una demanda potencial interesante.

El precio de Aceite de Nuez a granel en el mercado internacional está entre 8,77-10,96 \$ dólar americano el litro.

En las siguientes tablas, Tablas i-3 y Tabla i-4, se muestra la lista de los cinco principales países exportadores e importadores de Aceite de Nuez.

Tabla i-3 *Principales Países Exportadores de Aceite de Nuez*

País	Valor (USD)
Malasia	1.65B
Indonesia	297.58M
Los Paises Bajos	228.07M
Alemania	223.89M
Suecia	124.24M

Fuente: Tridge Customer Specialists, 2020 TRIDGE.

Tabla i-4 *Principales Países Importadores de Aceite de Nuez*

País	Valor (USD)
China	570.85M
Turquia	125.04M
Los Paises Bajos	117.90M
Los Estados Unidos	115.40M

Fuente: Tridge Customer Specialists, 2020 TRIDGE.

Según los montos de dinero indicados en cada país, mismos que representan tanto le valor de las exportaciones como importaciones respectivamente, en el año 2020, Malasia es el mayor exportador y China el principal importador de Aceite de Nuez.

Importaciones de Grasas y Aceites Vegetales en Bolivia

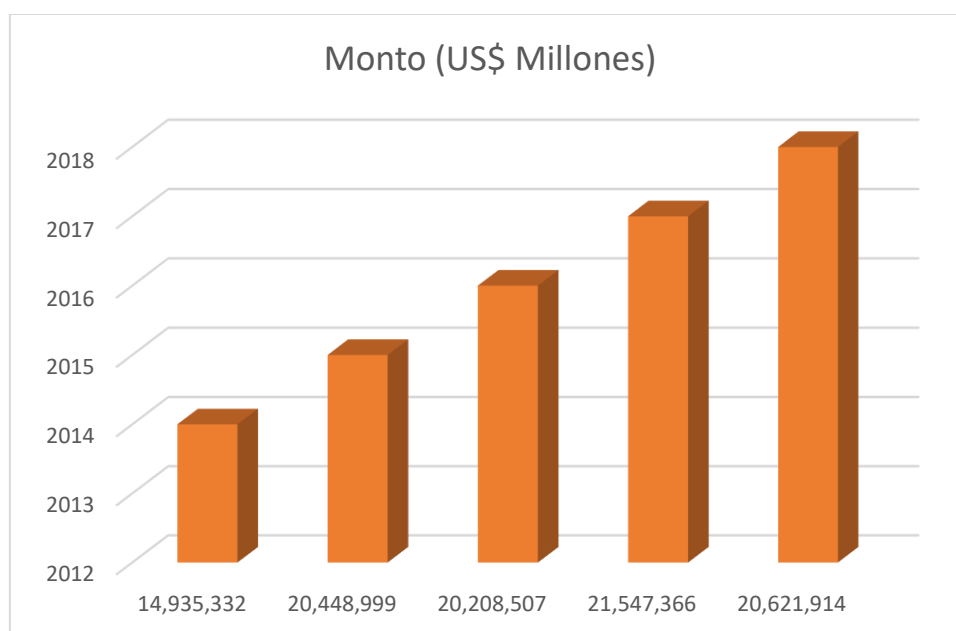
En la tabla i-5 se presenta el valor de las importaciones de Grasas y Aceites vegetales (girasol, soja, castaña, nuez, cacahuete, palma, oliva, etc.) por año en Bolivia.

Tabla i-5 *Valor de Importaciones de Grasas y Aceites Vegetales en Bolivia*

Años	Monto (\$ Miles de dólares americanos)
2014	14,935,332
2015	20,448,999
2016	20,208,507
2017	21,547,366
2018	20,621,914

Fuente: Nosis Trade Comex, 2018.

De los datos indicados, en 2018, Bolivia tenía un monto de \$ 20,621,914 como valor de las importaciones de Grasas y Aceites Vegetales, se observa un mantenimiento, misma que puede atribuirse a la elaboración de dichos productos por algunas empresas en el país, tales como Productos Itenez Santa Cruz.

Grafico i-1 **Evolución del Valor de las Importaciones de Grasas y Aceites Vegetales por año en Bolivia**

Fuente: Nosis Trade Comex, 2018.

A partir de los datos anteriormente mostrados, se realizó una proyección del valor de las importaciones de Grasas y Aceites Vegetales por año en Bolivia para los siguientes diez años, a través del Método de Proyección de la Tasa Promedio, aplicando la siguiente relación:

$$M_n = M_o(1+i)^n$$

Donde:

M_n : Monto del año proyectado

M_o : Monto inicial

i : Variación porcentual [0.2749] (obtenido de la suma algebraica de las variaciones porcentuales dividido entre los años de variación).

n : Años para la proyección

Por ejemplo, cálculo para la proyección del año 2019:

$$M_{2019} = M_{2018}(1+(0.2749))^1$$

$$M_{2019} = 20,621,914 (1+0.2749)^1 = 26.189.830,84 \$$$

Así sucesivamente se puede calcular la proyección para los años siguientes, obteniéndose la siguiente Tabla i-6.

Tabla i-6 *Proyección Valor de Importaciones de Grasas y Aceites Vegetales por año en Bolivia*

Años	Monto Proyectado (\$)
2019	26.189.830,84
2020	33.261.085,09
2021	42.241.575,07
2022	53.646.804,14
2023	68.131.441,26
2024	86.526.930,40
2025	109.889.201,60
2026	139.559.286
2027	177.240.293,30
2028	225.095.172,50

Fuente: Elaboración propia.

Los montos proyectados indican que Bolivia, en 2028, tendría un valor de importaciones de Grasas y Aceites Vegetales de \$ 225.095.172,5 lo que significa una baja en la demanda de importación, pero eso significaría un aumento de la producción local para la exportación.

Procesos de Extracción de Aceite de Nuez

Históricamente, los tres procesos más comunes para extraer aceite a partir de semillas oleaginosas, granos o nueces son el prensado hidráulico, el prensado expeller y la extracción con solvente. El uso del prensado hidráulico ha declinado, debido a la producción intensiva de aceites. Las prensas del tornillo como los expellers han reemplazado a los originales equipos hidráulicos y son usados para una amplia variedad de materiales oleaginosos; y la extracción con

solventes surge con el objeto de aumentar la eficiencia en la extracción. Para materiales que contienen altos contenidos de aceite se llevan a cabo dos procesos, los cuales consisten en una etapa continua de pre-prensado seguida de extracción por solvente. La principal ventaja del pre-prensado es que permite realizar la extracción por solvente a materiales que son muy dificultosos de procesar por métodos de extracción directa. Además, los requerimientos de solvente disminuyen en forma considerable. Estos procesos combinados son usados generalmente, con oleaginosas de alto contenido en aceite (alrededor de 35%) tal es el caso de las semillas de linaza (Florencia Verónica Graso, 2013).

La Nuez.

La nuez es el fruto del nogal, de forma redondeada u ovoide, con una cáscara dura y rugosa de color pardo rojiza. La parte comestible de su interior tiene un sabor dulce particular.

En el mercado hay nueces descascarilladas, troceadas o molidas y productos elaborados con ellas.

Normalmente, la nuez se consume en crudos como tentempié o de postre, bien solos o combinados con otro alimento. Se utiliza como ingrediente en muchos platos, salsas y helados.

En el mercado se pueden encontrar nueces enteras, troceadas o molidas a modo de harina más o menos fina.

Además de ser uno de los frutos secos más apreciados por su agradable sabor, es uno de los más ricos en aceite por lo que se usan para su obtención.

El aceite de nuez tiene un sabor dulce y agradable.

El fruto inmaduro se utiliza para la fabricación del licor conocido como 'Ratafia' y las hojas de nogal se utilizan para preparar infusiones de uso tópico. (FAO Trade ,1999)

En Bolivia se destina principalmente para el consumo humano con fines alimenticios; consumo directo, aderezo para tortas (ej. Dolly, Fridolin, etc.), budines y panetones (ej. San Gabriel, Gustossi, Mabels, etc.). También para producir aceites con fines cosméticos (ej. Productos Itenez Santa Cruz, Tierra Verde).

En la siguiente Tabla i-7, se muestran los departamentos productores de nuez en Bolivia.

Tabla i-7 Departamentos Productores de Nuez en Bolivia

Departamento	Ha	Toneladas
Tarija	700	90
Chuquisaca	200	15
Cochabamba	250	30

Fuente: Instituto Nacional de Innovación Agraria y Tierras, 2019

En esta tabla no incluyen la variedad de nueces de macadamia, avellanas y almendras, pero si nueces de castilla o común y nueces de pecana. Según los datos indicados, del total de nueces cosechadas en Bolivia, en 2019, Tarija aportó con 90 toneladas posesionándose como el primer productor de Bolivia y solo abasteciendo un 30% y el 70% se importa de otros países como Argentina, Chile y Perú.

Planteamiento Técnico Propuesto

Extraer a escala laboratorio el aceite contenido en las nueces, mediante extracción sólido-líquido con solvente, analizando como las variables que afectan la granulometría y tiempo de extracción influyan en el rendimiento del proceso (mediante el diseño experimental planteado), como parte fundamental del presente proyecto de investigación para definir y caracterizar fisicoquímicamente el producto obtenido bajo la Norma Boliviana NB 103, con la finalidad principal de conocer el rendimiento en materia grasa y analizar la calidad del mismo.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Obtener, a escala laboratorio, Aceite de Nuez (*Carya Illinoensis*) a partir del método de extracción sólido-líquido con solvente.

Objetivos Específicos

- Caracterizar propiedades fisicoquímicas y composición de ácidos grasos: fruto de la nuez (*Carya Illinoensis*).
- Seleccionar el proceso para la obtención de aceite de nuez (*Carya Illinoensis*).

- Ejecutar la fase experimental del proceso tecnológico de obtención de aceite de nuez (*Carya Illinoensis*) mediante el método de extracción solido-liquido con solvente.
- Determinar propiedades fisicoquímicas y composición de ácidos grasos del producto obtenido mediante el método de extracción solido-liquido con solvente.
- Determinar el rendimiento el proceso de la extracción.
- Realizar un balance de materia y energía al proceso.

JUSTIFICACIÓN

Justificación Tecnológica

Debido a que el método de extracción por prensado permite obtener la obtención de aceite virgen a partir de las nueces, mantiene el olor y aroma a nuez, la presente investigación sirve para obtener datos referenciales del proceso de obtención de Aceite de nuez (*Carya Illinoensis*) mediante el método de extracción por solvente., generando información técnica acerca del método, que ayude en el desarrollo de proyectos o futuros estudios que se realicen.

Justificación Económica

Dado que el valor de las exportaciones del aceite de nuez a nivel mundial ha aumentado \$425 millones desde 1995 a 2017 (Observatory of Economic Complexity, 2017 OEC), es una alternativa económica para Bolivia ya que exporta nueces de diferentes tipos de variedades (castaña y macadamia) como materia prima, darle un valor agregado fortalecería la producción nacional.

Justificación Social

La extracción de aceite de nuez trae consigo beneficios sociales tales como:

- Nuevos puestos de trabajo en el sector (Proceso de obtención de aceite de nuez)
- Variedad de usos en la industria química, el aceite de nuez es utilizada para preparación de jabones, masillas y recubridor de pinturas. También se usa además en cosméticos como materia prima para cremas, lociones.
- Por otro lado, el aceite no es el único producto aprovechado de la nuez en el proceso de obtención de su aceite; la nuez desaceitada tiene proteína, hierro, zinc y potasio que puede ser aprovechado como abono para suelos arcillosos.

Justificación Ambiental

Durante el proceso de obtención de aceite de nuez (*Carya Illinoensis*), mediante extracción por solvente, se disminuye en lo posible el impacto ambiental generado por el tipo de solvente utilizado, a través de un proceso de recuperación del mismo, contenido en el producto principal “aceite”.

CAPITULO I
MARCO TEORICO

1.1 ACEITE

La palabra aceite (del árabe az-záyt, el jugo de la aceituna, y éste del arameo zaytā). Es un término genérico para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y que tienen menor densidad que ésta. Es sinónimo de óleo (del latín óleum), pero este término se emplea solo para los sacramentos de la Iglesia Católica y en el arte de la pintura.

Originalmente la palabra aceite se refería únicamente a la oliva denominar a aceites vegetales, animales o minerales sustituyendo a óleo en la mayoría de sus acepciones. (Real Academia Española RAE, 2014).

1.2 LIPIDOS

Los **lípidos** son el principal constituyente de las membranas celulares, son las biomoléculas más hidrofóbicas y con mayor poder energético a nivel celular. Son un grupo químicamente diverso y por tanto, desempeñan funciones biológicas muy variadas. Al agrupar un conjunto muy heterogéneo de moléculas orgánicas cuya particularidad es que son insolubles o muy pocos solubles en agua pero muy solubles en compuestos orgánicos no polares, pueden ser extraídos a partir de los materiales naturales en que se encuentran (tejidos vegetales o animales), por medio de solventes orgánicos, por ejemplo éter, hexano, éter de petróleo, etc.

Los lípidos son un grupo muy heterogéneo que usualmente se subdivide en dos, atendiendo a que posean en su composición ácidos grasos (lípidos saponificables) o no los posean (lípidos insaponificables):

- **Lípidos saponificables:** son los semejantes a las ceras y grasas y que tienen enlaces éster y pueden hidrolizarse. Hay de dos tipos, simples y complejos.
- **Lípidos insaponificables :** estos no tienen enlaces éster y no pueden hidrolizarse no contienen ácidos grasos.

1.2.1 Ácidos Grasos

Los ácidos grasos son ácidos monocarboxílicos de cadena alifática, con número par de átomos de carbono, que podían ser saturados o insaturados. En forma pura, todas las grasas y los aceites están constituidos exclusivamente por triacilglicéridos (o triglicéridos), los que a su vez son ésteres de ácidos grasos con glicerol; por consiguiente, dichos ácidos representan un gran porcentaje de la composición de los triacilglicéridos y en consecuencia de las grasas y los aceites. Las diferencias

de estabilidad a la oxidación, de plasticidad, de estado físico, de patrón de cristalización, de índice de yodo, de temperaturas de solidificación y de fusión, de las grasas y los aceites se deben fundamentalmente a sus ácidos grasos constituyentes. Para su estudio, los ácidos grasos se han dividido en dos grandes grupos, los saturados y los insaturados (Badui D.S., 2006).

Ácidos Grasos Saturados

Pueden ser saturados cuando no tienen dobles enlaces en la molécula. Entre los más comunes está el laurico, el esteárico y el butírico (Badui D.S., 2006).

Ácidos Grasos Insaturados

Son muy abundantes en los aceites vegetales y marinos; su temperatura de fusión disminuye con el aumento de las dobles ligaduras y, siempre es menor que las de los saturados para una misma longitud de cadena. Los de una insaturación se llaman monoenoicos o monoinsaturados; y a los demás de una se los denomina polienoicos o poliinsaturados. (Badui D.S., 2006).

Dentro de los ácidos grasos poliinsaturados, el omega -3 y el omega -6 son los más abundantes en los mamíferos. Sus precursores, los ácidos alfa linolenico (ALA) y linoleico (LA), se considera ácidos grasos esenciales (AGE), porque el organismo los requiere para su normal funcionamiento y no se pueden sintetizar endógenamente. Estos solo se pueden adquirir a través de su alimentación (Offarm, 2005).

1.3 ACEITE VEGETAL

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía, se obtiene especialmente de diversos vegetales y se utiliza con fines alimenticios, energéticos o lubricantes (Danger T.García et.al,2017).

La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95% de triglicéridos (triésteres formados por la reacción de los ácidos grasos) y 5% de ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros componentes minoritarios. Los aceites son ésteres formados por la condensación (unión) de ácidos grasos con glicerol (Danger T.García et.al, 2017).

Las sustancias a partir de las cuales se producen los aceites son semillas o frutos, En realidad, todas las semillas y frutos contienen aceites, pero solos los llamados oleaginosas sirven para la producción aceite industrial del aceite. Entre las semillas de plantas cultivadas por su aceite, las más conocidas son: el cacahuate, la colza, el ricino, la soja y el girasol. A estas se deben agregar

las plantas cultivadas para la producción de fibras textiles y en segundo lugar aceite: algodón y linaza. En cuanto a los frutos oleaginosos, estos provienen principalmente del cocotero (copra), del nogal (nuez pecan (*Carya Illinoensis*)), de la palma del aceite (palma y palmito) y del olivo (aceitunas).

En la siguiente tabla I-1, se presenta un listado de los aceites que se obtienen a partir de distintas plantas.

Tabla I-1 *Aceite que se Obtienen de Distintas Plantas*

Denominación Comercial	Parte de la planta de la cual se obtiene	Planta de la que se obtiene (Nombre Científico)
Aceite de algodón	Semillas de algodón	Variedades de distintas especies del genero gossypium
Aceite de cártamo	Semillas de cártamo	Variedades del Carthamus tintorius
Aceite de coco	Semillas de coco	Cocos Nuciferos (L)
Aceite de girasol	Semillas de girasol	Variedades de Heliantus unnum(L)
Aceite de linaza	Semillas de linaza	Variedades de Linum usitatissimum
Aceite de maíz	Semillas de maíz	Variedades de Zea Mays
Aceite de maní	Semillas de mani	Variedades del Carthamus tintorius
Aceite de nabo	Semillas de nabo	Especies de Brassica
Aceite de oliva	Pulpa de los frutos del olivo	Olea europea
Aceite de colza	Semillas de colza	Brassica Campestris
Aceite de palma	Semillas de la pulpa de frutos de la palma	Elaesis guinnensis
Aceite de ricino	Semillas de ricino	Ricinus communis (L)
Aceite de sésamo	Semillas de sesamo	Sesamun indicum (L)
Aceite de uva	Semillas de uva	Especies de Vitis vinífera (L)
Aceite de tung	Semillas de tung	Especies aleurities fordii
Aceite de soja	Semillas de soja	Variedades de Glycine soja
Aceite de nuez	Drupa seca	Variedades (<i>Carya Illinoensis</i>)

Fuente: Simons, 2010.

1.3.1 Análisis Físicoquímico de un Aceite Vegetal

Entre los análisis físicoquímicos más importantes que se deben realizar al aceite crudo, se encuentran las siguientes:

➤ Índice de Refracción

Es una característica muy importante debido a su utilidad en métodos analíticos. Se basa en la relación velocidad de una onda luminosa en el aire y su velocidad en la sustancia grasa. Es muy útil con fines de identificación, comprobación de pureza y observación del progreso de reacciones como la hidrogenación catalítica. Las temperaturas a que se acostumbra informar son 25°C en el caso de los aceites. Si la lectura está a una temperatura superior o inferior, debe corregirse en 0.000365 por cada grado, recordando que el índice de refracción aumenta a medida que disminuye la temperatura. (Diana Evelin Cisneros Torres, Andrea del rosario Díaz Hernández, 2006).

➤ Acidez Total

Se expresa como ácido oleico en gramos por 100, es una medida de porcentaje de ácidos grasos libres, ya que ha experimentado un alto grado de hidrólisis (Danger T.Garcia et.al, 2017).

➤ Índice de peróxidos

La determinación del índice de peróxidos es una de las técnicas para determinar el estado de conservación del alimento a través de la determinación de peróxidos como productor resultante primario de la oxidación del aceite, los cuales destruyen vitaminas liposolubles: A, D, E, caroteno y parte de los ácidos grasos esenciales y paraliza la biosíntesis de vitamina k (Danger T.Garcia et.al, 2017).

➤ Densidad

Es la relación entre el peso y el volumen que ocupa el aceite, y en este caso es afectado por la temperatura (Leocadio Pérez, 2008).

➤ Humedad

Se refiere a la pérdida de masa, comprende el contenido de agua, materiales volátiles y el aumento de masa a oxidación, se expresa en gramos por 100, de un aceite sometido a calentamiento.

1.4 LA NUEZ.

La nuez es el fruto del nogal, de forma redondeada u ovoide, con una cáscara dura y rugosa de color pardo rojiza. La parte comestible de su interior tiene un sabor dulce particular. En el mercado hay nueces descascarilladas, troceadas o molidas y productos elaborados con ellas.

Normalmente, la nuez se consume en crudos como tentempié o de postre, bien solos o combinados con otro alimento. Se utiliza como ingrediente en muchos platos, salsas y helados. En el mercado se pueden encontrar nueces enteras, troceadas o molidas a modo de harina más o menos fina.

Además de ser uno de los frutos secos más apreciados por su agradable sabor, es uno de los más ricos en aceite por lo que se usan para su obtención.


El aceite de nuez tiene un sabor dulce y agradable.




El fruto inmaduro se utiliza para la fabricación del licor conocido como ‘Ratafia’ y las hojas de nogal se utilizan para preparar infusiones de uso tópico (FAO Trade ,1999).

1.4.1 Variedades y Tipos de Nueces.

Existen cinco variedades de la nuez, las cuales son: extra clara, clara, ámbar clara, ámbar y amarilla para diferentes tipos de nueces entre las más importantes tenemos mostrado en tabla I-2

Tabla I-2 *Comparación de Variedades y Tipos de Nueces*

Variedad	Tipo	Descripción	Producto
Extra clara	Nuez de Macadamia	Es una drupa globosa de hasta 3 cm de diámetro. El pericarpio es carnoso y el endocarpio lignificado, liso y duro, envuelve a una semilla de 1,5-2,5 cm de diámetro, comestible y rico en aceite (<70%). Se utiliza como alimento y con fines medicinales.	

<p>Ámbar, Amarillo</p>	<p>Nuez pecan</p>	<p>La nuez pecan se consume principalmente al natural como aperitivo. Es un fruto seco que se conoce como ‘nuez americana’ la corteza o mesocarpio es leñoso, pero fino y fácil de romper cuando está maduro; la carne endocarpio es blanco y de sabor agradable, cubierto por una piel fina de color marrón oscuro.</p>	
<p>Clara, Ámbar, Amarillo</p>	<p>Nuez de castilla</p>	<p>La semilla contiene hasta 50 % de aceite es un fruto seco de alto valor nutritivo: rico en proteínas, vitaminas del grupo B, vitamina C, oligoelementos, aceites vegetales, lecitina y ácidos grasos omega 3 (poliinsaturados).</p>	
<p>Extra clara, Clara, Ámbar Clara</p>	<p>Nuez de la India</p>	<p>La nuez de la India es el fruto de un árbol llamado Aleurites moluccanus wild (nombre científico), que crece en el sur de Asia, y que además, es cultivada en algunos lugares como Brasil. La nuez es redonda, de 4-6 cm de diámetro, la semilla se encuentra en el interior y tiene una capa muy dura y un alto contenido de aceite.</p>	

Fuente: Elaboración Propia a base de Oleoteka, Alimento y Jappi.

1.4.2 Nuez Pecan (*Carya Illinoensis*)

Figura 1-1 *Nuez Pecan (Carya Illinoensis)*



Fuente: Elaboración propia

Se la denomina de distintas maneras alrededor del mundo: cana, pacano, pacán, pacana, hickory, nuez de la isla, nuez encarcelada, nuez cáscara de papel, nuez de pacana, nuez pecán, nuez pecanera, nuez de Illinois, nuez americana y/o; simplemente Pecan (vivero anju 2019).

El Pecán es un árbol que se puede utilizar para múltiples propósitos: frutal, forestal, ornamental e industrias derivadas. Su fruto es poco perecedero, se consume durante todo el año y tiene un alto valor nutritivo, también se extrae aceite de muy buena calidad. Su madera, por las características que presenta, puede ser utilizada en ebanistería, parquets, etc. (Gabriel Hugo Valentini, María Elena Daorden, Luis Enrique Arroyo, 2015).

A continuación, en la Tabla I-3, se detalla la taxonomía de la Nuez Pecan (*Carya Illinoensis*)

Tabla I-3 *Taxonomía de la Nuez Pecan (Carya Illinoensis)*

Clasificación Taxonomica	
Reino	Plantae
Division	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fagales
Familia	Juglandaceae
Subfamilia	Juglandoideae
Tribu	Hicorieae
Genero	Carya
Selección	Aporcarya
Especie	Carya Illinoensis

Fuente:(Wangenh) K,Koch, 1869

A continuación, como referencia, en la tabla I-4, se presentan parámetros fisicoquímicos para la Nuez Pecan (*Carya Illinoensis*).

Tabla I-4 *Composición Fisicoquímica de la Nuez Pecan (Carya Illinoensis)*

Componente (g/100g)	Resultado
Proteínas	9,9 ± 0,1
Humedad	3,7 ± 0,3
Lípidos totales	69,4 ± 0,1
Minerales	1,4 ± 0,2
Fibras totales	7,8 ± 0,45
Carbohidratos	7,8
Valor calórico (kcal/100 g)	726,7

Fuente: Oro T. & Ogliari P. & Días R. & Barrera D. & Mara J., 2008.

La nuez reúne la doble condición de ser un alimento rico tanto en energía como en proteínas de alta calidad. La semilla del nogal – que representa aproximadamente un tercio del peso del fruto entero – contiene entre un 63 y un 70 % de aceite. (Tesis Doctoral - Ingeniera Química Marcela Lilian Martínez).

1.4.3 Aceite de Nuez

El **aceite de nuez** es un aceite **extraído propiamente de la nuez** por medio del método artesanal o prensado frío. Se puede decir que este aceite es uno de los más difíciles de conseguir, ya que se daña con facilidad, por lo que su venta es normalmente cercana o casi exclusiva del lugar donde se produce.

Es un aceite comestible pero bastante caro, tiene un leve color y un olor y sabor delicado.

El aceite de nueces de nogal es una buena fuente de los ácidos grasos esenciales Omega-3 siendo el ácido oleico con mayor porcentaje entre un 50 y 60 %.

La composición de ácidos grasos de aceite de nuez, determina por cromatografía de gas-liquido de muestras auténticas (expresadas en porcentaje del total de ácidos grasos), se presentan en la Tabla I-5.

Tabla I-5 *Composición Porcentual de Ácidos Grasos en el Aceite de Nuez (Carya Illinoensis)*

ACIDO GRASO	FORMULA	% Acidos Grasos Identificados
Acido palmitico	C16:0	5,9
Acido estearico	C18:0	2,24
Acido oleico	C18:1n9c	68,24
Acido linoleico	C18:2n6c	23,68

Fuente: Venkatachalam y Sathe, 2006.

ÁCIDOS GRASOS TOTALES

Acido Saturados Totales (SFA)	5,9
Ácido monoi nsaturados Totales (MUFA)	68,24
Acido Poliinsaturados Totales (PUFA)	23,68

Fuente: Departamento de Agronomía de los Estados Unidos “USDA”, 2013

Como se ha mencionado anteriormente, los resultados del análisis fisicoquímico realizado al aceite de nuez obtenido en la parte experimental de la presente investigación serán comparados con los establecidos en el CODEX Alimentarius, bajo la norma que rige las especificaciones para dicho producto.

Tabla I-6 Especificaciones del Aceite Crudo de Nuez

Características Generales	
Aspectos (a 20 °C)	Limpio
Color	Amarillo palido
Presentacion del producto	Liquido
Olor y Sabor	Caracteristico
Características Fisicoquímicas	
Parametros	Resultado
Densidad Relativa (a 20 °C)	0,923-0,925
Indice de Refraccion (ND 20 °C)	1,46-1,466
Indice de Peroxidos (meq.O2/kg)	0,25-0,40
Humedad (%)	1,95±0,03 ^a
Acidez (% acido oleico)	0,495-0,677

Fuente: Comisión del CODEX Alimentarius, 2016

1.4.3.1 Aceite Extra Virgen.

Los aceites extra vírgenes son los extraídos mediante prensado en frío. Es aquel que se obtiene como resultado de la presión del fruto (una sola presión). Este es el aceite con más alta calidad, además de tener un aroma y un sabor muy natural, es rico en nutrientes y con grandes beneficios para la salud (ACOSTA, Martha, 2014).

1.4.3.2 Aceite Virgen.

Extraído mediante prensado en frio que conservan el sabor de la fruta de la que son extraídos, este aceite se obtiene en la segunda extracción, es de mediana calidad (TORO, Carolina. LONDOÑO, Catalina, 2007)

1.4.3.3 Aceite Refinado.

Es aquel que se somete a un proceso que permite obtener un aceite que responde a ciertos criterios: organolépticamente es de un sabor neutro, visualmente está limpio y de un color adecuado, es

seguro alimentariamente y permite una mejor conservación. Esta técnica suele utilizarse para modificar aceites que no son aptos para consumo humano o para poder aumentar la producción de diferentes que si fuesen sometidos a presión en frio.

1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES.

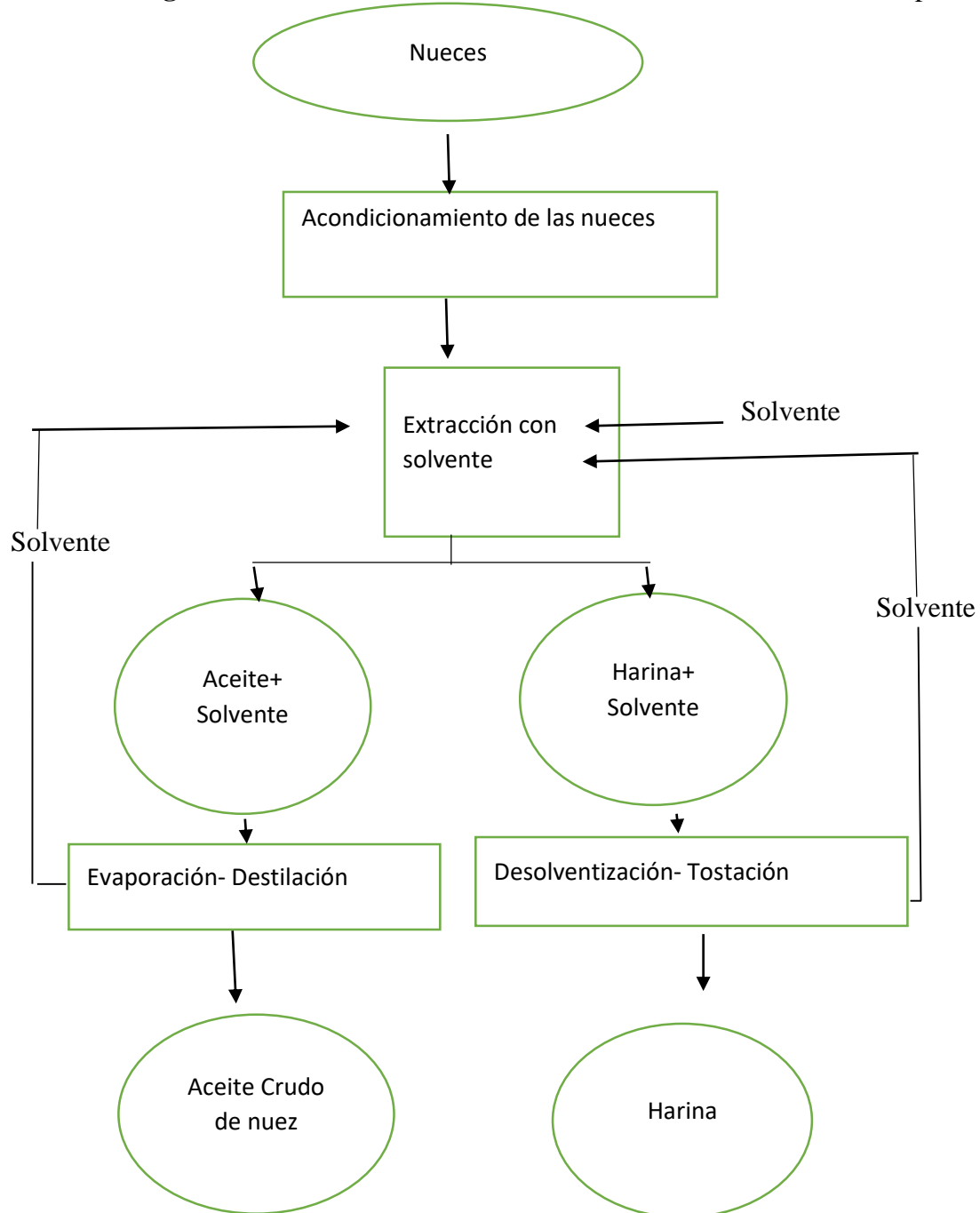
Existen diversos métodos para la extracción de aceites vegetales comestibles, algunos de ellos se emplean principalmente a nivel industrial, y otros a escala laboratorio y piloto; dependiendo de la materia prima, por ende, se obtienen aceites de calidades y porcentajes diferentes.

1.5.1 Extracción con Solventes.

La extracción es una operación unitaria que consiste en la separación por transferencia de materia, donde se ponen en contacto dos fases inmiscibles con objeto de transferir uno o varios componentes de una fase a otra. Particularmente, cuando la mezcla original está en fase sólida y se pretende separar de ella un componente de otro mediante su contacto con una fase líquida que lo disuelve selectivamente, se trata de una extracción sólido-líquido o lixiviación. El componente o componentes que se transfieren de la fase sólida insoluble se denominan inerte. Es decir, la difusión de los componentes originales del sólido se produce al poner ambas fases en contacto íntimo (Rene Espinoza Barazorda, et, al., 2015).

La extracción tiene lugar en dos etapas:

1. Cuando el material sólido a tratar, cede el constituyente soluble (solute) al disolvente.
2. Lavado o separación de la disolución del resto del sólido

Diagrama 1-1 Extracción de Aceite de Nuez mediante Extracción por Solvente

Fuente: Irina Acosta y Grecia Torres, 2015.

1.5.2 Extracción Líquido – Líquido.

Consiste en la transferencia de una sustancia de una fase a otra, llevándose a cabo entre dos líquidos inmiscibles. Las dos fases líquidas de una extracción son la Fase Acuosa y la Fase Orgánica.

En este caso el componente se encuentra disuelto en un disolvente A (generalmente agua) y para extraerlo se utiliza un disolvente B (un solvente orgánico como éter etílico, benceno, etc.) los que son inmiscibles entre sí.

Los disolventes A y B se agitan en un embudo de separación y se deja reposar hasta que se separen las dos fases o capas, permitiendo que el compuesto presente se distribuya en las capas de acuerdo a sus Solubilidades Relativas. (Mejia, 2011)

1.5.3 Extracción Sólido – Líquido.

Consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla sólida mediante un disolvente líquido. Tiene lugar en dos etapas, existe un contacto del disolvente con el sólido que cede el componente soluble (solute) al disolvente. Este proceso puede llevarse a cabo a temperatura ambiente (percolación) o en caliente, en este caso a fin de evitar la pérdida de disolvente, suele realizarse una ebullición a reflujo.

En la segunda parte hay una separación de la disolución del resto del sólido. Una vez que se ha saturado el disolvente, se separa del sólido que queda, normalmente por filtración. (Mejia, 2011).

1.5.4 Extracción Supercrítica.

La extracción con fluidos supercríticos es una técnica que estudia las propiedades solvatadas de un fluido por encima de su punto crítico. Es una alternativa muy interesante para la obtención y purificación de compuestos muy específicos sin utilizar compuestos tóxicos.

Hoy en día es un método muy utilizado en la extracción de aceite en nueces y semillas con alto contenido del mismo.

Un fluido supercrítico, es un gas o líquido en condiciones de presión y temperatura a las de su punto crítico. Se considera un punto crítico aquel en el que la fase líquida y vapor se vuelven indistintas, esto es, la fase crítica, determina normalmente por los parámetros: presión crítica, temperatura crítica y densidad crítica. En esta fase, el fluido tiene propiedades típicas que lo hacen especialmente indicado como solvente de extracción.

El dióxido de carbono es el más usado por tener una presión crítica moderada (7,2 Mpa) y baja temperatura crítica (31°C), siendo de elección para la extracción de compuestos termolábiles. Sin embargo, el CO₂ también tiene sus limitaciones, sobre todo la extracción de compuestos polares (Alejandra Hernández, 2017).

1.5.5 Métodos de Extracción de Aceite Vegetal.

Los tres procesos ms comunes para recuperar el aceite a partir de semillas son el prensado hidráulico, el prensado expeller y la extracción con solventes.

1.5.5.1 Extracción de Aceite por Presión.

Partiendo de la nuez limpia y lista para ser utilizada, el primer paso en la obtención de aceites es la trituración de la nuez, la cual se realiza con molinos a martillos, cilindros o espolones.

La finalidad de esta es colapsar las estructuras vegetales para que el aceite sea liberado de la nuez.

En resumen, en la extracción de aceite por presión, la nuez previamente acondicionada, es sometida a un tratamiento por prensado para extraer una parte del aceite en ella contenida. Después de ser tratada la nuez en la prensa y haber extraído todo el aceite posible, de la prensa sale un producto denominado turto o torta proteínica, que contiene la parte del aceite que no ha sido posible extraer.

1.5.5.1.1 Prensado Continúo

Es realizado de forma común en las prensas *expellers* o tornillo. Estas prensas soportan altas presiones; por lo tanto, generalmente se practica el prensado en dos o tres prensadas, incrementando en cada una de ellas la presión.

En la prensa continua clásica se distinguen las siguientes partes principales:

- alimentación de la semilla;
- sin fin cónico de presión;
- cesta;
- cono regulable de salida del turto.

Las prensas continuas son máquinas que pueden ser usadas para dos fines bien distintos:

A) Extraer la máxima cantidad de aceite posible de una nuez que posteriormente no va a ser sometida a ningún otro proceso. Este tipo de prensas deben realizar un trabajo muy fuerte, ya que

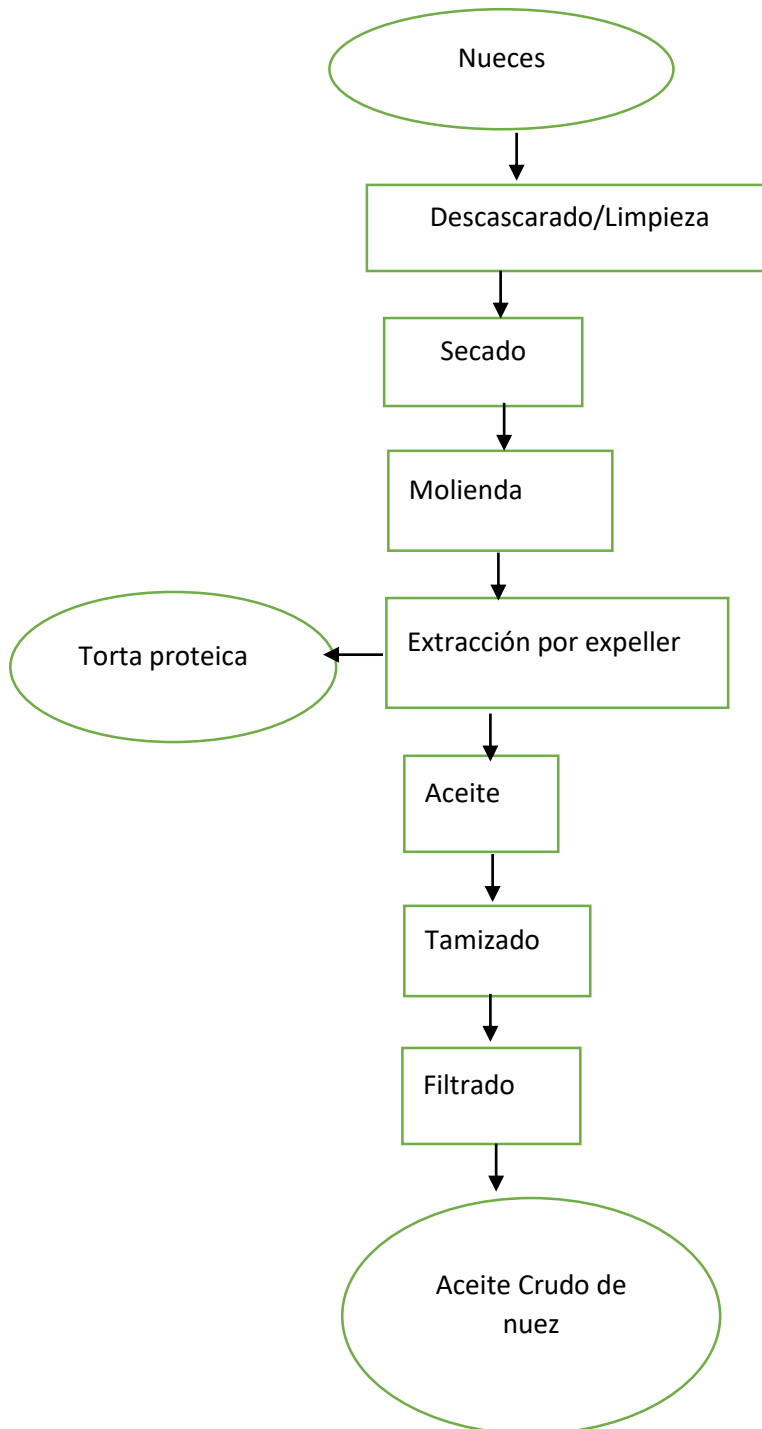
el aceite residual en el turto debe ser lo más bajo posible. En general, estas máquinas, con una buena conducción, dejan un residuo de aceite alrededor del 5%. Por eso, hoy en día, este tipo de elaboración se realiza en pequeñas y viejas industrias extractoras.

B) Extraer una cierta cantidad de aceite, siendo tratado posteriormente el turto en otro proceso de recuperación del aceite residual. Estas máquinas son utilizadas actualmente en casi todas las industrias que procesan nueces ricas en aceites, ya que se pretende extraer una buena parte del aceite por presión, dejando un turto que se pueda agotar por solvente. Normalmente, trabajando nueces ricas en aceite, se sigue el siguiente ciclo del proceso:

- preparación y acondicionamiento de las nueces
- primera presión, hasta llegar a extraer el 76-78% del aceite de la nuez;
- segunda presión, hasta dejar el turto con un residuo en aceite de 12-14%.

El factor limitante en las posibilidades de estos equipos es que, durante el tratamiento la nuez está sometida a muy fuertes presiones, originándose al mismo tiempo un muy fuerte rozamiento entre las nueces, las espiras del sin fin, el eje del mismo y las paredes de la cesta. Estas dos acciones hacen aumentar fuertemente la temperatura que puede superar los 160°C en el interior de la cesta.

Este aumento de temperatura es negativo por lo que se refiere a la calidad del aceite a extraer (Dr.E.Bernardini, 1981).

Diagrama 1-2 Extracción de aceite de Nuez por prensado

Fuente: Danger Tabio García, et.al, 2017.

➤ **Depuración del Aceite**

De la presión de las nueces se obtienen dos productos: aceite de presión y turto. El aceite de presión es siempre un producto rico en impurezas: fragmento de nueces, harinillas, etc., y por tanto, no puede almacenarse en estas condiciones, por lo que debe tratarse para eliminar impurezas tanto como sea posible a fin de evitar inconvenientes en el almacenamiento y posteriores tratamientos. Las operaciones principales para eliminar estas impurezas son:

- Separación de las partículas sólidas gruesas mediante decantadores, tamices vibrantes o centrifugas.
- Separación de los finos que se encuentran en estado de suspensión en el aceite y que no se separan en la misma operación.

Es decir, de la presión continua de las nueces obtendremos los siguientes productos:

- aceite de presión depurado;
- turtos grasos;
- fangos de filtración.

El aceite de presión depurado será sometido a sucesivos tratamientos, de acuerdo con el fin al que se van a ser destinados. Los fangos de presión se retornaran al ciclo de presión, mientras que los turtos se utilizaran como materia prima para piensos compuestos cuando son de bajo contenido graso, o bien pasan al proceso de extracción por solvente para recuperar el aceite que contienen (Dr.E.Bernardini, 1981).

1.5.5.1.2 Prensado Discontinuo

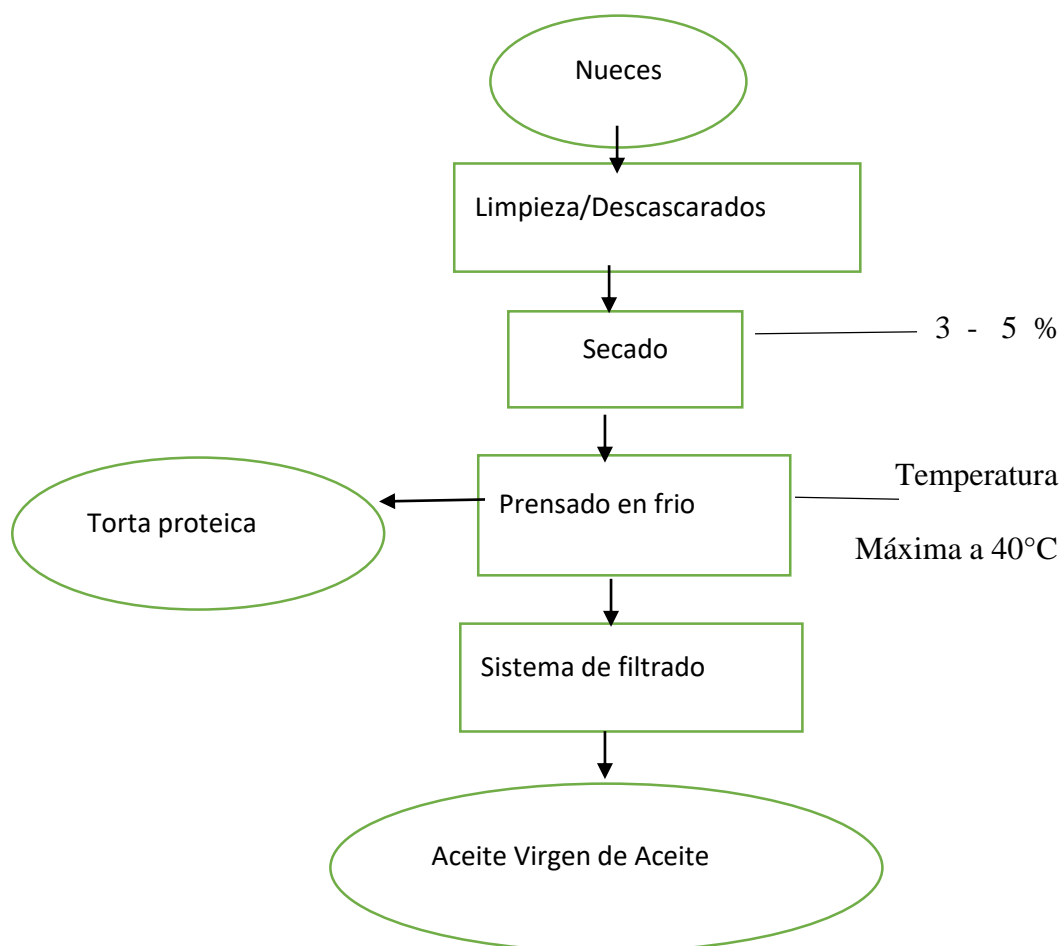
Este tipo de prensado es el más utilizado desde tiempos antiguos para la extracción de aceites vegetales de consumo humano, para ello se aplicaba presión sobre una masa de vegetales confinados en bolsas, telas, mallas, etc. (Klever Clefa, 2015).

Las prensas más antiguas utilizaron palancas, tornillos, etc.; pero el más utilizado fue el sistema hidráulico.

1.5.5.1.3 Prensado en Frio

La presión en frío, es un modo de extracción exclusivamente mecánico que se realiza a baja temperatura, no mayor a (27°C) 300°K; preservando de este modo la proporción de ácidos grasos esenciales, vitamina E, antioxidantes naturales y no necesita ningún aditivo (Yeyxon Galarraga, 2015).

Diagrama 1-3 Extracción de Aceite de Nuez por prensado discontinuo o prensado en frio



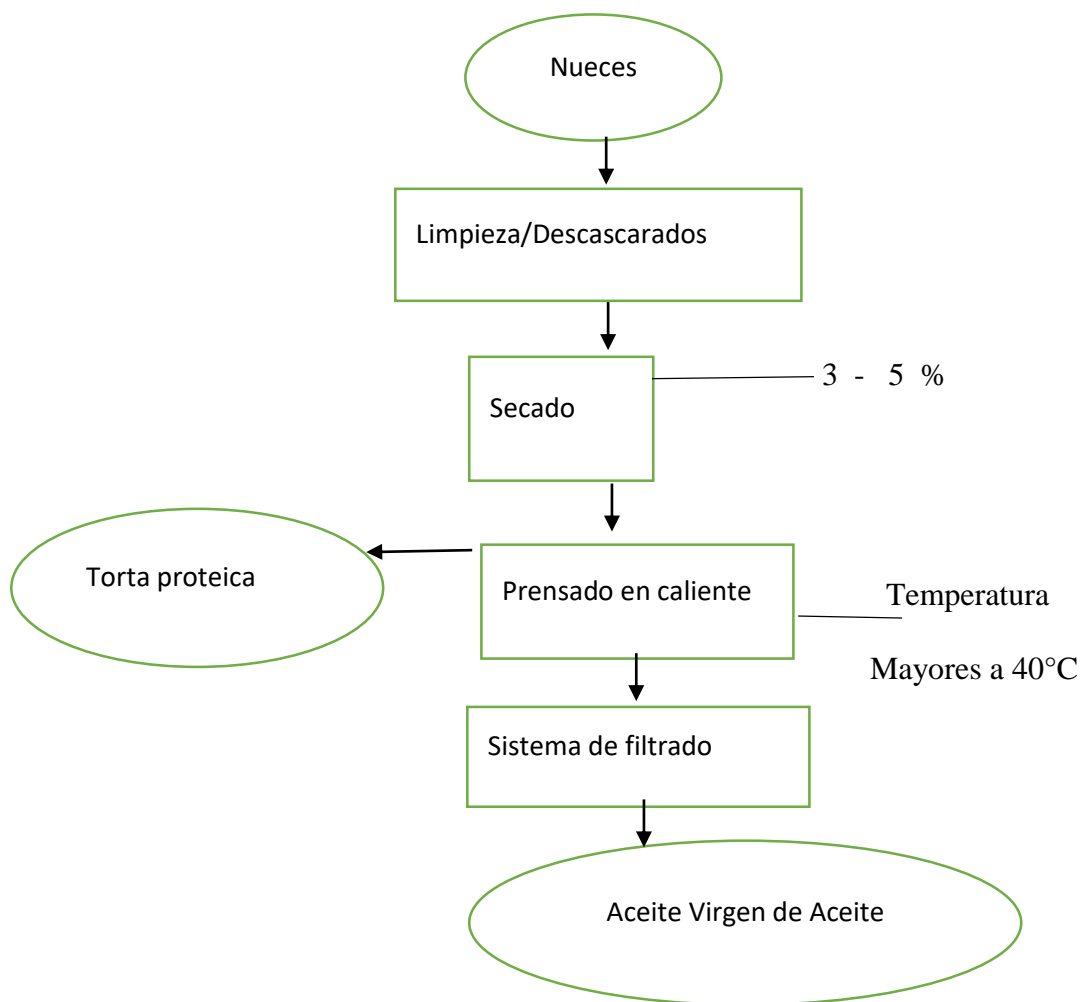
Fuente: J.M. Blanco et, al, 2015.

1.5.5.1.4 Prensado en Caliente

Es un proceso que consiste en la obtención de aceites de nueces, similar al tratamiento de las mismas antes del prensado. Este proceso es más exigente desde el punto de vista tecnológico, por lo que el rendimiento de aceite es mayor. Por esta razón, esta tecnología se utiliza para nueces o semillas con porcentaje de aceite superior a 45 % .(Nancy Balboa, 2015).

El prensado en caliente es un proceso que puede ser concebido en una o dos etapas (la nuez se prensa dos veces), pero tiene como desventaja que requiere de un mayor proceso de refinado, además que la torta obtenida queda con 10 al 20 % de aceite que puede ser aprovechada, sometiendo a la acción del solvente.

Diagrama 1-4 Extracción de Aceite de Nuez por prensado en caliente



Fuente: J.M. Blanco et, al, 2015.

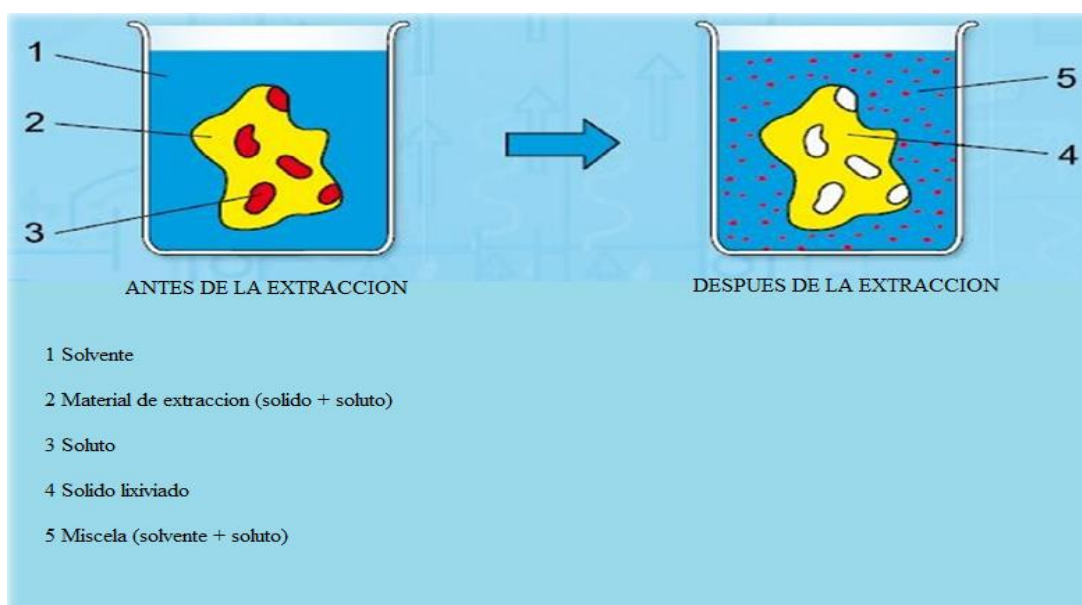
1.5.5.2 Extracción de Aceite por Solvente.

La extracción por solvente es una operación unitaria que consiste en la separación por transferencia de materia, donde se ponen en contacto dos fases inmiscibles con objeto de transferir uno o varios componentes de una fase a otra. Particularmente, cuando la mezcla original está en fase sólida y se pretende separar de ella un componente, se trata de una extracción sólido-liquido o lixiviación. El componente o componentes que se transfieren de la fase sólida a la líquida o disolvente, reciben el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte. Es decir, la difusión de los componentes originales del sólido se produce al poner ambas fases en contacto íntimo (Rene Espinoza Barazorda, et. al., 2015).

La extracción tiene lugar en dos etapas:

1. Cuando el material sólido a tratar, cede el constituyente soluble (soluble) al disolvente.
2. Lavado o separación de la disolución del resto del sólido.

Figura 1-2 Extracción Sólido-Líquido



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Procesos bio.

1.5.5.2.1 Teoría de la Extracción por Solvente

La extracción del aceite de una semilla oleaginosa por medio de solvente es un procedimiento que se usa casi en la totalidad de las plantas que trabajan estos productos.

El desplazamiento de uno o varios de los componentes de una mezcla fluida respecto a la masa global de la misma debido a la acción de una fuerza impulsora (diferencia de concentraciones del componente que se desplaza), se conoce como transferencia de materia. Si esta se produce entre fases, puede aprovecharse el fenómeno para obtener la separación de los componentes que se desplaza), se conoce como transferencia de materia. Si esta se produce entre fases, puede aprovecharse el fenómeno para obtener la separación de los componentes de una mezcla. El objetivo de esta operación, es la separación de los componentes de una mezcla originalmente homogénea, haciendo posible el paso de alguno de ellos a una segunda fase.

El mecanismo de transferencia de materia, depende de la dinámica del sistema en que se lleve a cabo. Existen dos tipos de mecanismos:

- **Molecular**

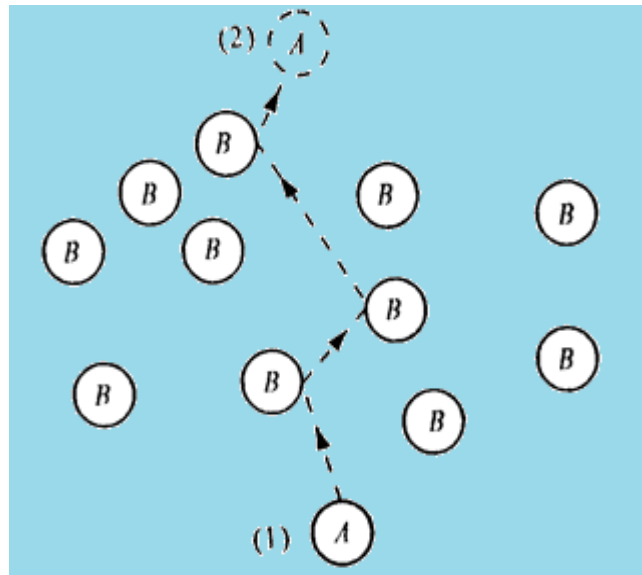
En la difusión molecular, la materia se transfiere de una región a alta concentración a una región de una baja concentración durante el movimiento al azar de las moléculas de la sustancia.

El proceso de transferencia molecular se caracteriza por la siguiente ecuación general:

$$\text{Velocidad de un proceso de transferencia} = \frac{\text{Fuerza impulsora}}{\text{Resistencia}}$$

La ecuación describe la velocidad de transferencia de materia, la cual depende de una fuerza impulsora que en este caso sería la diferencia de concentración, sobre una resistencia, lo que produce una dificultad para transferirse en el medio. Esta resistencia se la denomina difusividad de masa ya que es una constante de proporcionalidad entre la velocidad de transferencia y la diferencia de concentraciones.

Por tanto, la difusión se define como el proceso por el cual la materia es transportada desde una parte de un sistema a otro como resultado de un movimiento molecular. En la Figura 1-3 se muestra esquemáticamente el proceso de difusión molecular (Ingrid Avegno, 2007).

Figura 1-3 Proceso de Difusión Molecular

Fuente: Ingrid Avegno, 2007.

En la figura, se observa que se produce una trayectoria desordenada que la molécula A puede seguir al difundirse del punto (1) al punto (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 difundiéndose de (1) a (2), que de (2) a (1). La difusión neta A va de una región de alta concentración a otra de baja concentración.

- **Convectiva**

La transferencia de materia por convección es la transferencia entre un fluido en movimiento y una superficie o entre los fluidos y depende tanto de las características dinámicas del fluido como de las propiedades del transporte (Ingrid Avegno, 2007).

1.5.5.2.2 Determinación del Coeficiente de Difusión

La estimación del coeficiente de difusión es importante para determinar la velocidad de transferencia de masa. En los materiales celulares, las macromoléculas pueden estar enlazadas químicamente a la matriz sólida, pero la velocidad de estas reacciones pueden ser limitadas por la difusión. Para entender estos procesos se requiere conocimiento sobre la naturaleza y propiedades

de los efectos gobernados por la difusión. (Schwartzberg y Chao, 1982. Citado en Florencia Grasso, 2013).

1.5.5.2.2.1 Modelo Matemático para la Determinación del Coeficiente de Difusión

La segunda ley de Fick conocida también como la ecuación d difusión, es una ecuación diferencial que indica como la concentración de una sustancia se difunde en función de la distancia y el tiempo. Por medio de esta ley se puede obtener modelos matemáticos que sirven para determinación del coeficiente de difusión efectivo. La difusión molecular puede ser definida por la segunda ley de Fick para estado no estacionario como:

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = D \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad (\text{Ec. 1 - 1})$$

Donde:

C = Concentración de soluto a la distancia z del origen y al tiempo θ

θ = Tiempo

D = Coeficiente de difusión, cantidad de material que pasa por un plano de unidad d área en una unidad de tiempo debido a un gradiente de concentración de la unidad.

Para obtener la difusión de acuerdo a la ley de Fick ciertas condiciones deben ser establecidas (Fan y col., 1948 citado en Balbin Y. et al., 2015).

- D debe ser constante e independiente del espesor.
- La forma de la lámina del aceite debe ser razonablemente homogénea.
- La distribución del aceite en la célula debe ser uniforme y su difusión a través de las orillas de la placa debe ser despreciable.
- El grosor de la muestra debe ser uniforme y el mismo para todas las muestras que son extraídas al mismo tiempo.

Si la lámina es porosa, y las condiciones anteriores se cumplen, una de las soluciones encontradas para la ecuación (1-1) para la placa infinita estad dad por (Cranck, 1957 citado en Balbin Y. et al., 2015), que corresponde al flujo en una sola dirección, solución correspondiente a las condiciones límite de:

$$C = 0, \quad z = \pm l, \quad q \geq 0, \quad C = C_0, \quad -l < z < l$$

La relación entre las concentraciones C del aceite en el disolvente puede convertirse a una relación entre las cantidades de aceite por unidad de volumen del sólido q .

Quedando la solución representada en la ecuación (1-2).

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} * e^{-(2n+1)^2 \left(\frac{D\theta}{(2l)^2}\right)} \quad \text{Ec. (1 - 2)}$$

Donde:

θ = Tiempo de extracción, s.

q_{θ} = Cantidad de aceite por unidad de sólido a q_{\min} , g/g.s.

q_0 = Cantidad inicial de aceite en el sólido cuando $q = 0$.

$2l$ = Espesor de la muestra sujeta a extracción, m.

D = Coeficiente de difusión m^2/s .

n = Índice de sumatoria.

La serie representada por la ecuación (1-2) converge rápidamente y así que pocos términos n son con frecuencia para los cálculos prácticos (Treybal, 1990 citado en Balbin Y. et al., 2015).

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{\frac{D\theta\pi^2}{(2l)^2}} + \frac{1}{9} e^{\frac{9D\theta\pi^2}{(2l)^2}} + \frac{1}{25} e^{\frac{9D\theta\pi^2}{(2l)^2}} + \dots \right) \quad (\text{Ec. 1 - 3})$$

Considerando estado no estacionario y partículas de geometría esféricas, suspendidas en un medio de concentración constante sin restricciones de volumen, el primer término es suficiente y la ecuación se reduce a:

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} e^{-\pi^2 \frac{D\theta}{(2l)^2}} \quad (\text{Ec. 1 - 4})$$

Entonces:

$$\log\left(\frac{q_{\theta}}{q_0}\right) = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta \quad (\text{Ec. 1 - 5})$$

Donde:

a = Constante obtenida a partir de regresión lineal de valores experimentales.

1.5.5.2.3 Factores que Influyen en la Velocidad de Extracción

- **Tamaño de la partícula.** - Es un factor importante, porque afecta a la velocidad de extracción de diversas maneras. Cuanto más pequeño es el tamaño de la partícula debido a la trituración, mayor es la superficie de contacto y más corta la longitud de los poros, lo que se traduce en una mayor velocidad de transferencia.

Sin embargo, tamaños excesivamente pequeños puede generar compactación de la masa reduciendo la superficie de contacto y consecuentemente dificultando la extracción y circulación del líquido. Por lo tanto, generalmente se aconseja que la gama de tamaños de partícula sea pequeña y homogénea, de tal manera que requieran el mismo tiempo de extracción, y en particular, evitar la producción de gran cantidad de material fino, que puede alojarse en los intersticios de las partículas mayores e impedir el flujo del solvente (J.M. Coulson, 1981)

- **Tipo de solvente.** - EL solvente elegido debe ser un solvente lo más selectivo posible, con una viscosidad suficientemente baja, que le permita fluir con facilidad. Generalmente, se utiliza un solvente relativamente puro, pero a medida que transcurre la extracción, la concentración de soluto aumenta y la velocidad de extracción disminuye progresivamente; debido a la disminución del gradiente de concentración y al aumento de la viscosidad de la disolución (J.M. Coulson, 1981).
- **Temperatura de extracción.** - Un aumento de la temperatura favorece la solubilidad porque disminuye la viscosidad del líquido y aumenta los coeficiente de transferencia de materia. El límite superior se fija atendiendo a criterios de calidad del producto, criterios económicos y de seguridad con respecto al solvente. Por lo general, la extracción se realiza a la temperatura de ebullición del solvente de modo que se produce la mayor solubilidad del soluto en el disolvente (J.M. Coulson, 1981).
- **Tiempo de extracción.** - Es un factor muy importante porque influye directamente sobre la cantidad de aceite extraído de una semilla o fruto seco, por lo tanto debe ser el suficiente para extraer los compuestos de interés. El tiempo de extracción, está relacionado con el tamaño de la partícula y la calidad del solvente para un determinado rendimiento (Maribel Mamani, 2016).
- **Agitación del fluido.** - Es importante porque aumenta la difusión de remolino, provocando incremento en la transferencia de material desde la superficie de las partículas hacia la masa de la disolución. Además, la agitación de las suspensiones de pequeñas partículas evita la

sedimentación, y hace que se utilice de una forma más eficaz la superficie de contacto (J.M. Coulson, 1981).

1.5.5.4 Obtención en Laboratorio de Aceite de Nuez mediante Extracción por Solvente

A nivel analítico se emplean diversas técnicas, siendo la más usada tradicionalmente la extracción en Soxhlet.

1.5.5.4.1 Extracción Soxhlet.

La extracción Soxhlet fue diseñada por el químico alemán Franz Von Soxhlet en 1879 (Gerardo Martínez, 2013). Es una operación que consiste en la transferencia de masa, donde un solvente orgánico, extrae selectivamente en este caso el aceite de una semilla, fruto o cascara.

El extractor Soxhlet es un equipo que suele utilizarse en experimentos de laboratorio, aunque en instalaciones de pequeña capacidad y otro funcionamiento análogo también se aplica (Simons, 2010). La extracción Soxhlet es considerado como método estándar de extracción de aceites; es el método más frecuentemente utilizado desde su diseño en el siglo pasado hasta la actualidad, consolidado como método de referencia para la comparación con otros métodos de extracción de aceites.

Lo que hace el extractor Soxhlet es realizar un sinfín de extracciones de manera automática, con el mismo solvente se evapora y condensa llegando siempre de manera pura al material. La extracción Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas (Carlos Nuñez, 2007):

La extracción con Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas:

- Colocación del solvente en un balón,
- ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo,
- el condensador cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior,
- ascenso al nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que vuelve el solvente con el material extraído al balón,
- se vuelve a producir este proceso la cantidad de veces necesarias para que la muestra quede agotada. Lo extraído se va concentrado en el balón del solvente.

Figura 2-1 *Extracción Soxhlet*



Fuente: Carlos Nuñez, 2007

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada en la presente investigación es la nuez pecana (*Carya Illinoensis*) variedad ámbar amarillo claro, producida en el departamento de Tarija.

Los análisis fisicoquímicos para 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 nuez pecana procedente de Paicho-Centro, Segunda Sección de Méndez (latitud:-21,14424 y longitud:-64,55798) 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 Proteína total.

Los resultados del análisis fisicoquímico que se realizó a la materia prima se muestran en la tabla II-1.

Tabla II-1 *Composición Fisicoquímica de la Nuez Pecana*

Parámetros	% p/p
Ceniza	1,79
Fibra	1,78
Grasa	69,24
Hidratos de Carbono	14,75
Humedad	1,58
Proteína total (Nx5,30)	10,86

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

2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

2.2.1 Selección del método experimental de extracción de Aceite de Nuez

Para la selección del método experimental de extracción de Aceite de Nuez Pecana, se consideran los distintos métodos citados en párrafos anteriores. Asimismo, se asigna una calificación de

acuerdo a la escala de Likert. En la tabla II-2 se observan las calificaciones ponderadas que permiten seleccionar el método, siendo el método aquel que acumule el mayor puntaje.

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

Tabla II-3 *Selección del Método Experimental de Extracción de Aceite de Nuez*

Criterio Evaluado	Comentario del Evaluador	Calificación		
		Extracción por prensado	Extracción con solvente (Soxhlet discontinua)	Extracción con solvente (Extracción percolación e inmersión)
Aplicabilidad del Método	La extracción por prensado es utilizada por pequeñas empresas especializadas. La extracción Soxhlet presenta buena eficacia, utilizadas en pequeñas escalas. La extracción continua no es viable a escala laboratorio.	4	5	2

Disponibilidad de Equipamiento	No se dispone de prensas discontinuas o continuas, que permiten la extracción del aceite por prensado. Se dispone de equipo Soxhlet, mas no de aquellos necesarios para realizar una extracción por percolación o inmersión.	1	5	1
Rendimiento	Como se mencionó anteriormente, el método de extracción de aceite a partir de oleaginosas por prensado presenta rendimientos bajos en comparación con la extracción con solventes (en especial por Soxhlet discontinua).	3	5	4
Temperatura de extraccion	En la extracción de aceite por prensado la temperatura no debe sobrepasar los 45°C. La extracción Soxhlet discontinua, permite trabajar hasta temperaturas de ebullición del solvente. La extracción continua opera a bajas temperaturas.	2	4	3

Costos	Los equipos para el método de extracción por prensado son relativamente caros (especialmente la prensa de tornillo).El equipo Soxhlet tiene un menor costo que para la extracción con extracción continua. La extracción continua es un proceso de alto costo de inversión.	3	4	2
Tiempo de extraccion	En la extracción de aceite por prensado, el tiempo de extracción es mucho menor que en la extracción con solventes. El tiempo de extracción con el equipo Soxhlet puede ser hasta de 10 horas según el tipo de nueces. La extracción continua, requiere un tiempo de extracción más largo.	5	4	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla II-4 *Matriz de Decisión para el Método Experimental de Extracción de Aceite de Nuez*

Parámetros	Selección del Método Experimental de Extracción de Aceite de Nuez						
	Valoración Porcentual	Extracción por prensado		Extracción con solvente (Soxhlet discontinua)		Extracción con solvente (Extracción percolación e inmersión)	
		%	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.
Aplicabilidad del método	25	4	20	5	25	2	10
Disponibilidad de Equipamiento	20	1	4	5	20	1	4
Rendimiento del Método	15	3	9	5	15	4	12
Temperatura de extracción	15	2	6	4	12	3	9
Costos	15	3	9	4	12	2	6
Tiempo de extracción	10	5	10	4	8	3	6
TOTAL	<u>100</u>		<u>58</u>		<u>92</u>		<u>47</u>

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la matriz de decisión, el método experimental más conveniente para la extracción de aceite crudo de Nuez, es la extracción Soxhlet discontinua, por tener mayor aplicabilidad, disponibilidad de equipamiento y ser la más efectiva a escala laboratorio.

2.2.2 Selección del Solvente Utilizado en el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez

En la tabla II-5, se utiliza el mismo método de calificación según la escala de Likert.

Tabla II-5 Selección del Solvente para el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez

Criterio Evaluado	Comentarios del Evaluador	Calificación		
		Hexano	Éter de petróleo	Etanol
Selectividad	El solvente orgánico que muestra mayor selectividad que otros, es el hexano pero es muy contaminante, despues seria el eter de petroleo. El etanol atrapa adicionalmente componentes.	5	4	2
Rendimiento	Para el caso particular de extracción, el hexano presenta relativamente un mayor rendimiento que el éter de petróleo y este mucho más que el etanol.	5	4	2
Costos y disponibilidad	El etanol, es el más barato de los tres solventes, por no ser una sustancias controlada. Le sigue el éter de petróleo, el cual a pesar de ser una sustancia controlada es más accessible y de menor costo que el hexano.	1	4	5
Recuperación del solvente	El hexano puede recuperarse casi en su totalidad, por simples proceso de destilación, así también el éter de petróleo pero mucho mas rapido ganando tiempo. En cambio el etanol, es difícil de separar.	5	5	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla II-6 Matriz de Decisión para el Solvente Utilizado en el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez

Parámetros	Selección del Solvente Utilizado en el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez						
	Valoración Porcentual%	Hexano		Éter de Petróleo		Etanol	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Selectividad	40	5	40	4	32	2	16
Rendimiento	20	5	20	4	16	2	8
Costos y Disponibilidad	25	1	5	4	20	5	20
Recuperación del Solvente	15	5	15	5	15	2	8
TOTAL	100		<u>80</u>		<u>83</u>		<u>52</u>

Fuente: Elaboración propia

Después de analizar los diferentes criterios tomados en cuenta para la selección del solvente orgánico utilizado en la extracción de aceite de Nuez mediante el método Soxhlet, los resultados obtenidos en la matriz de decisión indican que, el Éter de Petróleo es solvente más adecuado para la extracción del aceite de Nuez a escala laboratorio, por tener una buena selectividad y rendimiento, por ser fácil de recuperar entre otros aspectos importantes como la disponibilidad, ser menos inflamable y riesgoso.

2.3 DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial o experimental se refiere al proceso para planear el experimento, de tal forma que se recaben datos adecuados. Su objetivo es el de obtener información acerca del fenómeno estudiado, información veraz, clara y suficiente. El diseño del experimento debe definir las variables que vamos a controlar (factores); la o las variables que vamos a probar (factores del diseño y sus niveles); los objetos a los cuales se les medirá el efecto del o los factores del diseño; y las variables que vamos a medir como respuesta al efecto de los tratamientos sobre los objetos de estudio (variable respuesta) (José Montoya, et.al, 2011).

2.3.1 Selección de Variables del Proceso Tecnológico

La etapa principal del proceso de obtención de Aceite de Nuez mediante extracción por solvente es la extracción, en este caso particular con equipo Soxhlet, misma que nos permite controlar variables que influyen en la velocidad de extracción, tales como: el tamaño de la partícula y tiempo de extracción. Generalmente la temperatura de extracción, es la temperatura de ebullición del solvente. Por lo tanto, las variables que se varían para conocer cuáles son los parámetros que permiten el mayor rendimiento de aceite en el producto final, son tamaño de partícula y tiempo de extracción, mismos que según referencia bibliográfica son alrededor de 0,5 mm y 2 h respectivamente (Héctor Cid Silva, 2010). También otra referencia bibliográfica indica trabajar con la granulometría de tamaño entre 0.5 – 1 mientras menor es el tamaño de partícula, mayor es el daño celular, por lo tanto aumenta la cantidad de aceite disponible en la superficie del sólido. (Marcela Lilian Martínez, 2010).

2.3.2 Diseño Factorial 3k

El diseño factorial 3k considera a k como los factores con 3 niveles cada uno y tiene 3^k tratamientos.

Existen varias formas de escribir el modelo del experimento factorial, uno de ellos es el modelo de regresión, mismo que relaciona la variable respuesta con los niveles de los factores.

La tabla II-7 muestra los niveles de variación de las variables del proceso de obtención de aceite de Nuez mediante extracción por solvente, también llamadas factores.

Tabla II-7 Codificación de las Variables

Variables	Niveles		
	Alto	Medio	Bajo
Tamaño de partícula (mm)	A	B	C
Tiempo de extracción (horas)	a	b	c

Fuente: Elaboración propia

El número de experimentos a realizar son:

$$3^k$$

Donde:

3: Numero de niveles

K: Numero de factores

El número de experiencias es: $3^2=9$

En total, incluyendo las repeticiones en cada experimento, se tiene:

Numero de experiencias es: $9 \times 2 = 18$ experimentos elementales en el proceso de extracción.

El diseño factorial tiene como finalidad, estudiar todas las posibilidades combinaciones que se pueden dar entre las variables que se someten a prueba.

Tabla II-8 *Diseño Factorial para el Proceso de Extracción*

N° de Exp.	FACTORES		RESPUESTA I	RESPUESTA II
	Tamaño (T)/mm	Tiempo (t)/h	Aceite (%)	Aceite (%)
1	A	c	R1	R1
2	A	b	R2	R2
3	A	a	R3	R3
4	B	c	R4	R4
5	B	b	R5	R5
6	B	a	R6	R6
7	C	c	R7	R7
8	C	b	R8	R8
9	C	a	R9	R9

Fuente: Elaboración propia.

R: Variable respuesta a medir.

2.4 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS

2.4.1 Equipos y Materiales Utilizados en la Extracción del Aceite de Nuez

El presente proyecto de investigación se realizó en las instalaciones del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” y el Laboratorio de Operaciones Unitarias “LOU”, ambos dependientes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

2.4.1.1 Descripción de los Equipos Utilizados

➤ Extractor Soxhlet

Es un equipo, compuesto por una serie de materiales (refrigerante, balón, calentador, extractor y mangueras). Se utilizó para la extracción de la materia grasa presente en las muestras de semillas de Nuez molida.

Figura 2-1 Extractor Soxhlet



Fuente: Elaboración propia.

➤ **Calentador Eléctrico**

Es un aparato de sobremesa, que posee un elemento de calefacción eléctrica y un soporte universal incluido, se emplea para calentar recipientes con líquidos.

Figura 2-2 Calentador eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

➤ **Tamiz Vibratorio**

Es un equipo compuesto por un juego de mallas de la serie Tyler de tamaños 4, 2,1, 0,5, 0,25, 0,063 mm y una bandeja de recipiente de muestra. Este equipo se utilizó en la clasificación de tamaños de la muestra de semillas de Nuez molida.

Figura 2-3 Tamiz Vibratorio



Fuente: Elaboración propia.

➤ **Balanza Analítica**

Consta de una pantalla digital, y tiene una precisión de 0,001 g. Esta balanza se utilizó en el pesaje de las muestras que fueron sometidas a la extracción del aceite de semillas de Nuez.

Figura 2-4 Balanza Analítica

Fuente: Elaboración propia.

➤ Estufa

Estufa de secado o también llamado horno de secado, con cámara de acero inoxidable y convección forzada para realizar un secado rápido y uniforme. Tiene una función para temperatura, un dispositivo de seguridad ajustable con alarma visual, y ventilación ajustable, mediante un conducto de evacuación y tapa corrediza de ventilación delantera. Tiempos de recuperación rápida después

de abrir la puerta o luego de un cambio de aire. Tiene un rango de temperatura que va de 5 a 300 °C.

Este equipo se utilizó para eliminar las trazas de solvente del producto final, y en la desolventización de la harina.

Figura 2-5 Estufa



Fuente: Elaboración propia

➤ **Licadora Industrial**

Licadora de alimentos de alta rotación, trabaja en alta velocidad (aproximadamente 22 000 rpm en vacío), esta provista de tres aspas metálicas, accionadas por un motor eléctrico de 900 W. Fue utilizada para la reducción de tamaño de la materia prima, con el objetivo de aumentar la superficie de contacto para facilitar el proceso de extracción.

Figura 2-6 Molino eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

2.4.1.2 Material de Laboratorio Utilizado

En la siguiente tabla II-9 se detalla el material utilizado.

Tabla II-9 *Material de Laboratorio*

Material	Especificación	Cantidad
Extractor Soxhlet	Columna mediana	3
Refrigerante	-	3
Mangueras	-	4
Balón	250 ml	3
Bandejas	-	9
Pinza doble nuez	-	3
Vaso de precipitación	250 ml	2
Tubos de ensayo	-	4
Papel filtro	Pliegue	10
Espátula	-	1
Guantes	-	15
Barbijos	-	10
Frascos de vidrio	-	2

Fuente: Elaboración propia

2.4.1.3 Reactivo

-Éter de Petróleo. - Utilizado como solvente en la extracción del aceite de Nuez.

A continuación, en la tabla II-10 se exponen las especificaciones del mismo.

Tabla II-10 *Especificaciones del Éter de Petróleo*

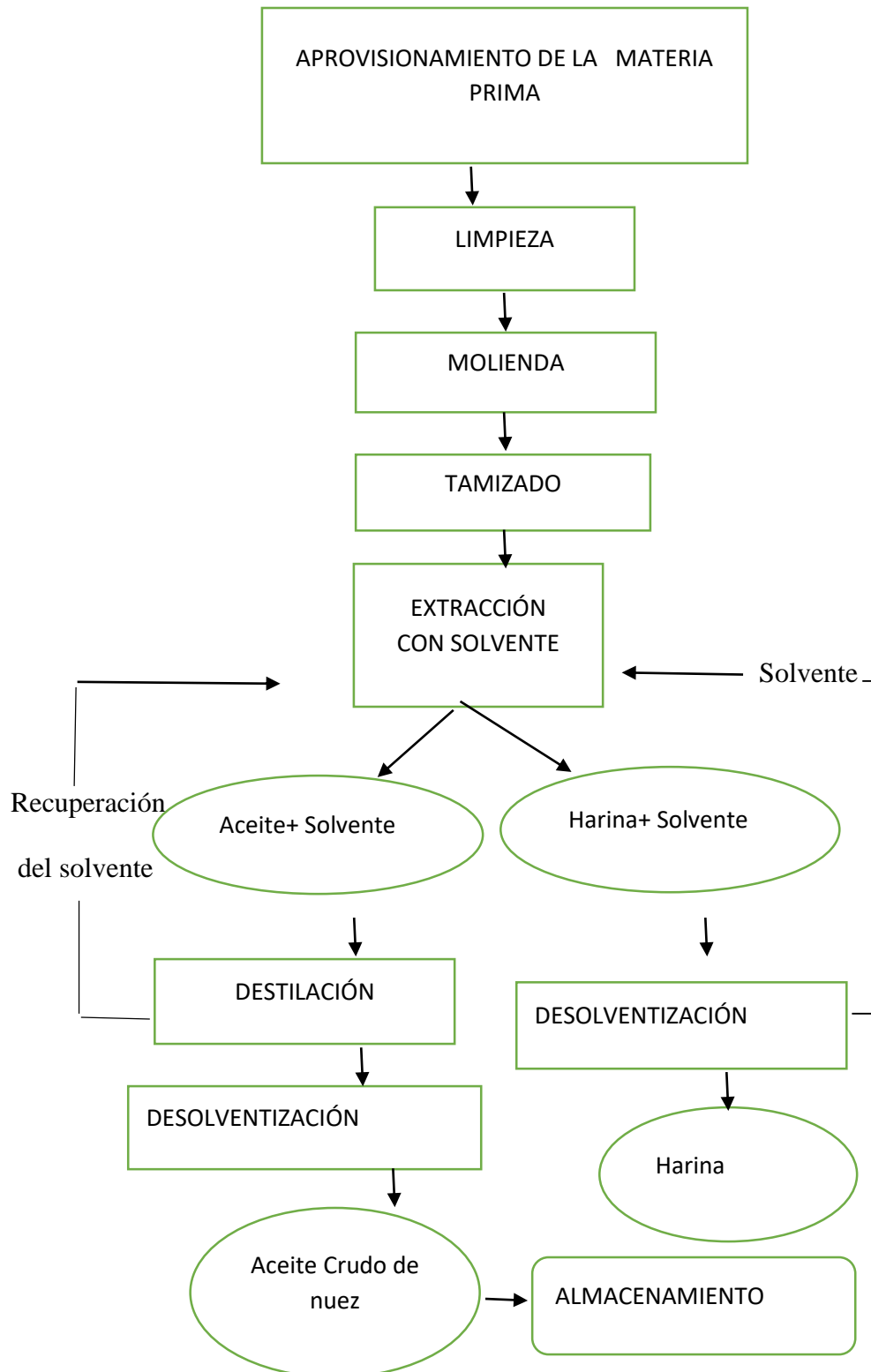
Producto: Éter de Petróleo para Análisis A.C.S.	N° CAS: 8032-32-4
Propiedades físicas y químicas	
Aspecto	Líquido incoloro
Olor	Características a hidrocarburos y gasolina
Punto de fusión	-40°C
Punto de ebullición	35-60°C
Punto de inflamación	250°C
Presión de vapor	400mmHg a 20°C
Densidad relativa (agua=1)	0,67 a 20°C
Densidad relativa de vapor (aire=1)	3,9
Solubilidad en agua	0,04% a 20°C
Temperatura de auto-inflación	288 °C
Indicaciones de Peligro	
<ul style="list-style-type: none"> -Extremadamente inflamable. -Causa irritaciones, quemaduras y daños al sistema nervioso. -Puede provocar efectos sobre el ambiente a largo plazo. 	

Fuente: Sintorgan, reactivos analíticos, 2018

2.4.2 Descripción del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite de Nuez

El proceso de extracción a escala laboratorio del aceite de Nuez se presenta en el siguiente

Diagrama 2-1.

Diagrama 2-1 Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Aceite de Nuez

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.1 Aprovechamiento de la Materia Prima

La materia prima utilizada en la parte experimental, está constituida por las nueces pecaneras (*Carya Illinoensis*) variedad ámbar claro, misma que se plantan en la Segunda Sección de Méndez (Paicho) y el Valle Central de Uriondo (San Isidro) lugares donde se acudió para su recolección con el objetivo de conseguir nueces recientemente cosechadas.

La materia prima fue recolectada una vez cosechadas las nueces y descascarar (con el objeto de separar las vainas que contienen la nuez), se recolecto en bolsas de polietileno. La cantidad muestreada fue de 10 kg.

Figura 2-7 Nueces Pecaneros recolectados



Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2 Limpieza.

De forma manual, quitar las impurezas presentes.

Figura 2-8 Separación de impurezas de la materia prima



Fuente: Elaboración propia

2.4.2.3 Molienda

Antes de llevar a cabo esta etapa, las nueces deben contener un porcentaje de humedad adecuado para esta operación física (menor al 10%). Por lo tanto, una vez comprobado su bajo porcentaje de humedad (1,58%) se procede a moler las nueces peladas (sin un proceso previo de secado). En un molino eléctrico de cuchillas (licuadora industrial), se muelen 250 gr de nueces por un tiempo de 1 minuto, con intervalos de cada 15 segundos, para evitar el calentamiento de la muestra; hasta que alcance el tamaño de partícula requerido para el proceso.

Figura 2-9 Molienda de la Materia Prima



Fuente: Elaboración propia

2.4.2.4 Tamizado

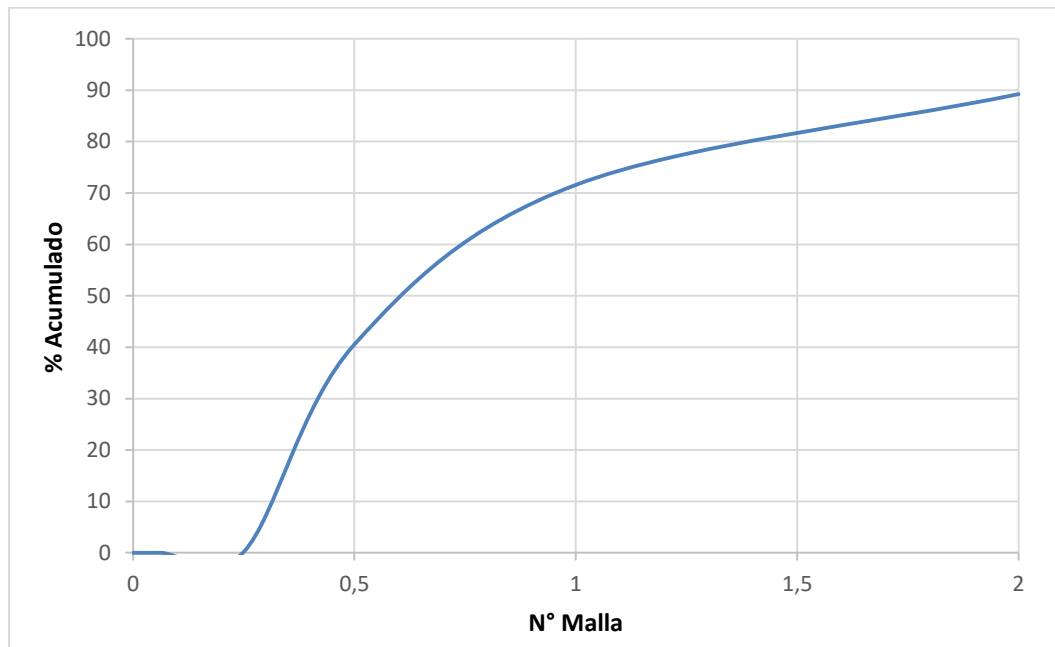
Se someten las nueces molidas a un analisis por tamizado, utilizando diferentes tamices con tamaños de mallas desde 2,1,0,5,0,25 y 0,063 mm, cada uno de ellos corresponden a los numeros 9,16,32,60 y 250 de la serie tyler respectivamente.El procedimiento realizado para este análisis fue el siguiente:

Una vez ordenados los tamices de forma decreciente de acuerdo al tamaño de la malla, se tomo una muestra de 220 gr de nueces molida, misma que se introdujo en la zaranda y se tamizo durante un tiempo de 10 minutos. Los resultados obtenidos durante el analisis granulometrico se muestra en la tabla II-11 y el grafico II-1.

Tabla II-11 *Análisis Granulometrico de la Materia Prima*

N° MALLA (mm)	W muestra (g)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
2	23,44	10,76	89,24
1	61,9	28,42	71,58
0,5	129,52	59,46	40,54
0,25	2,52	1,156	0,172
0,063	0,3032	0,15	0,003
0	0,0052	0,003	0
Total	217,8252	100	

Fuente:Elaboracion propia.

Grafica II-1 % Acumulado vs N° Malla

Fuente: Elaboracion propia.

Figura 2-10 Tamizado de la Materia Prima

Fuente: Elaboracion propia

2.4.2.4.1 Determinacion del Tamaño de Muestra para la Extracción

Despues de realizar el analisis granulometrico, el siguiente paso fue pesar las masas retenidas en los distintos tamices utilizados, las cuales se sometieron a un proceso de extraccion por 5 horas, los resultados se muestran en la tabla II-12.

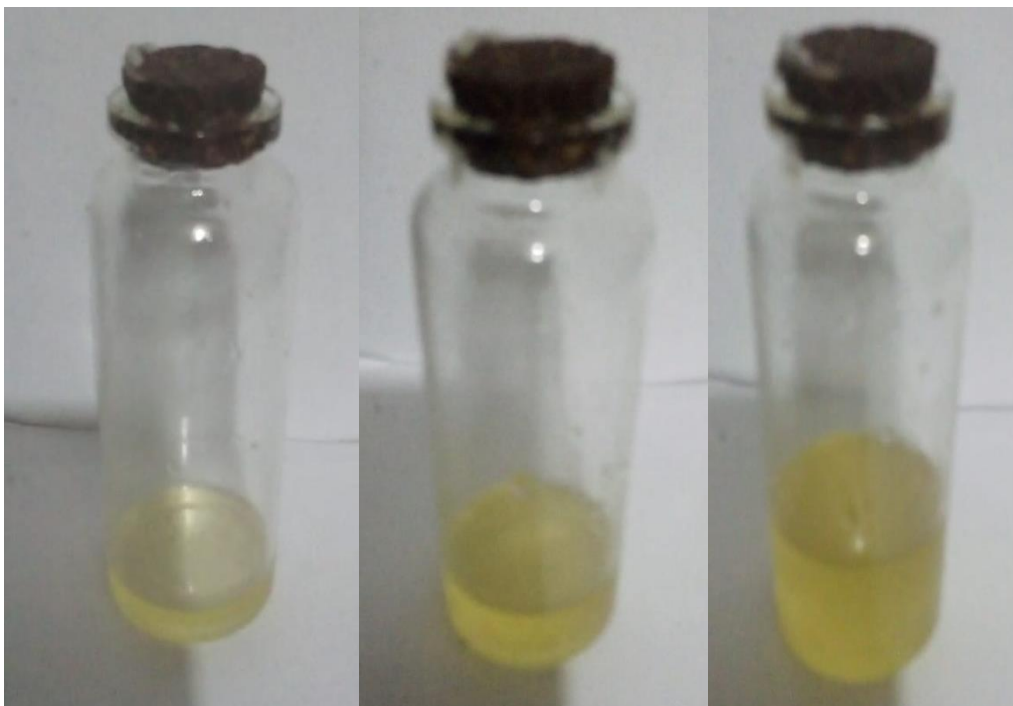
Tabla II-12 *Porcentaje de Aceite según Tamaño de Muestra*

Nº Malla (mm)	W _{balon} (g)	W _{muestra} (g)	W _{balon final} (g)	Aceite (%)
2	113,756	5	115,768	40,24
1	113,762	5	116,663	58,02
0.5	122,7131	5	126,279	71,326
0,25	123,116	5	126,743	72,54

Fuente: Elaboracion propia.

De los datos indicados en la anterior tabla, se comprueba la teoria, que a menor tamaño de particula, mayor superfice de contacto, lo que implica mayor porcentaje de aceite extraido. Por lo tanto, los tres niveles a trabajar con el factor “tamaño de particula“, tal como se ha planteado en el diseño factorial, seran los tamaños de particula retenidas en las mallas 2 , 1 , y 0,5 mm, debido a que con ellos se obtuvo mayor rendimiento de aceite extraido, en caso de la malla 0,25 mm se descarto debido al alto contenido de grasa en la muestra que hace casi imposible obtenerlo ya que en el tamizador se forma grumos y hacerlo manual conlleva tiempo y taponea los orificios de la malla.

Figura 2-11 Aceite Crudo de Nuez Extraído de Diferentes Tamaños de Partícula



2 mm

1 mm

0,5 mm

Fuente: Elaboracion propia.

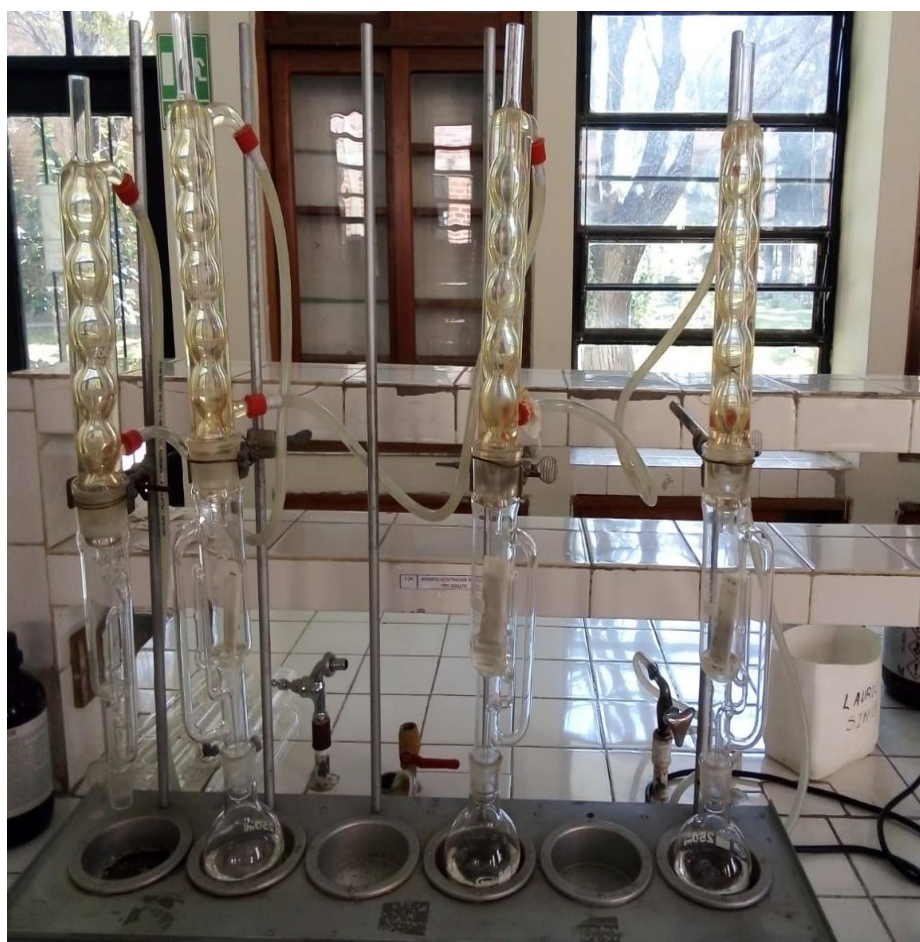
2.4.2.5 Extracción con Solvente

La extracción del aceite de nuez, se lleva a cabo en un extractor soxhlet, usando eter de petroleo como solvente y agua como refrigerante. El procedimiento empleado en esta etapa, es el descrito en las Normas Boliviana-NB-103-97-Cereales-“Metodo de ensayo para determinar el contenido de materia grasa”,cuyo principio consiste en extraer el aceite o materia grasa contenida en las particulas de nuez y productos derivado, libres de impurezas, utilizando eter de petroleo o hexano como solvente. Es asi, que el primer requisito para la extracción es que la muestra (limpia) tenga una humedad menor al 10%; para este caso particular no se necesito secar la muestra debido a que las nueces pecaneras utilizadas contiene una humedad de 1,58 %. El procedimiento descrito en esta norma es el siguiente:

- Pesar 5 g de muestra (previa molienda y granulometria).
- Elaborar un cartucho con papel filtro de acuerdo a lo que indica la norma y colocarlo en un segundo cartucho.

- Colocar el cartucho con la muestra al extractor, controlando que la velocidad de goteo del solvente no sea mayor de 150 gotas por minuto. Es importante mantener constante el volumen del solvente durante la extracción, agregando pequeñas porciones del mismo cuando se comprueba que parte del mismo se ha evaporado.
- Continuar la extracción el tiempo necesario para que la muestra quede agotada; al finalizar la misma, se han concentrado en el balón los volúmenes extraídos en las distintas corridas y en el cartucho de celulosa queda la materia desaceitada *harina*, que contiene fibra dietética que también puede ser aprovechada.

Figura 2-12 Extracción de Aceite de Nuez



Fuente: Elaboración propia

2.4.2.6 Destilación

Finalizado el proceso de extracción, inicia la etapa de destilación, que tiene lugar en el mismo extractor Soxhlet pero sin la presencia del cartucho de extracción. Esta etapa consiste en separar de la *micela* (una mezcla de aceite y solvente), el solvente, aprovechando su gran volatilidad, recuperandolo así por condensación para su posterior reutilización. El producto obtenido es aceite crudo de Nuez que aun contiene trazas de solvente que posteriormente se eliminan.

Figura 2-13 Destilación

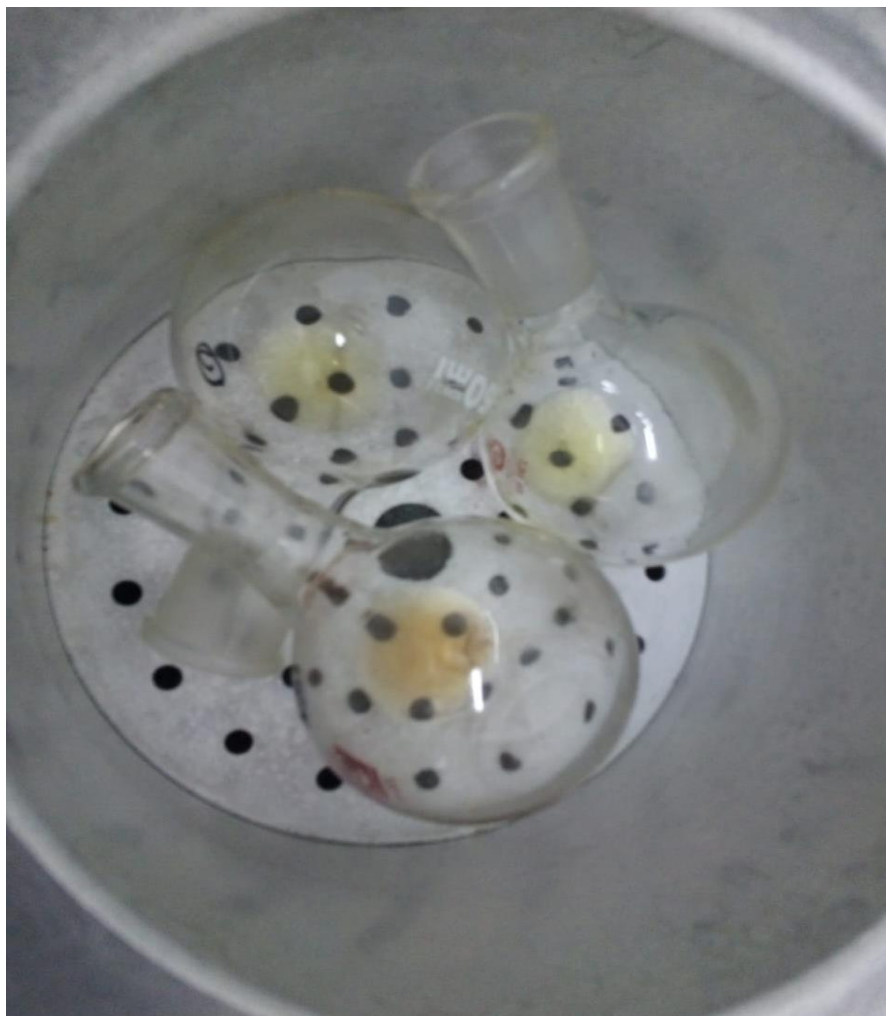


Fuente: Elaboración propia

2.4.2.7 Desolventización

Una vez finalizado la destilación, para eliminar las trazas de solvente en su totalidad, se lleva el balón a la estufa 130 °C de temperatura por espacio de 30 minutos, con el objetivo de asegurar que el solvente se volatilice y el producto final obtenido sea aceite de nuez. De igual manera se elimina el solvente de la harina desaceitada.

Figura 2-14 Desolventización del aceite



Fuente: Elaboracion propia

2.4.2.8 Almacenamiento

El producto final obtenido (Aceite crudo de Nuez), se almacena en frascos de vidrio ambar cerrados herméticamente.

Figura 2-15 Aceite crudo de Nuez

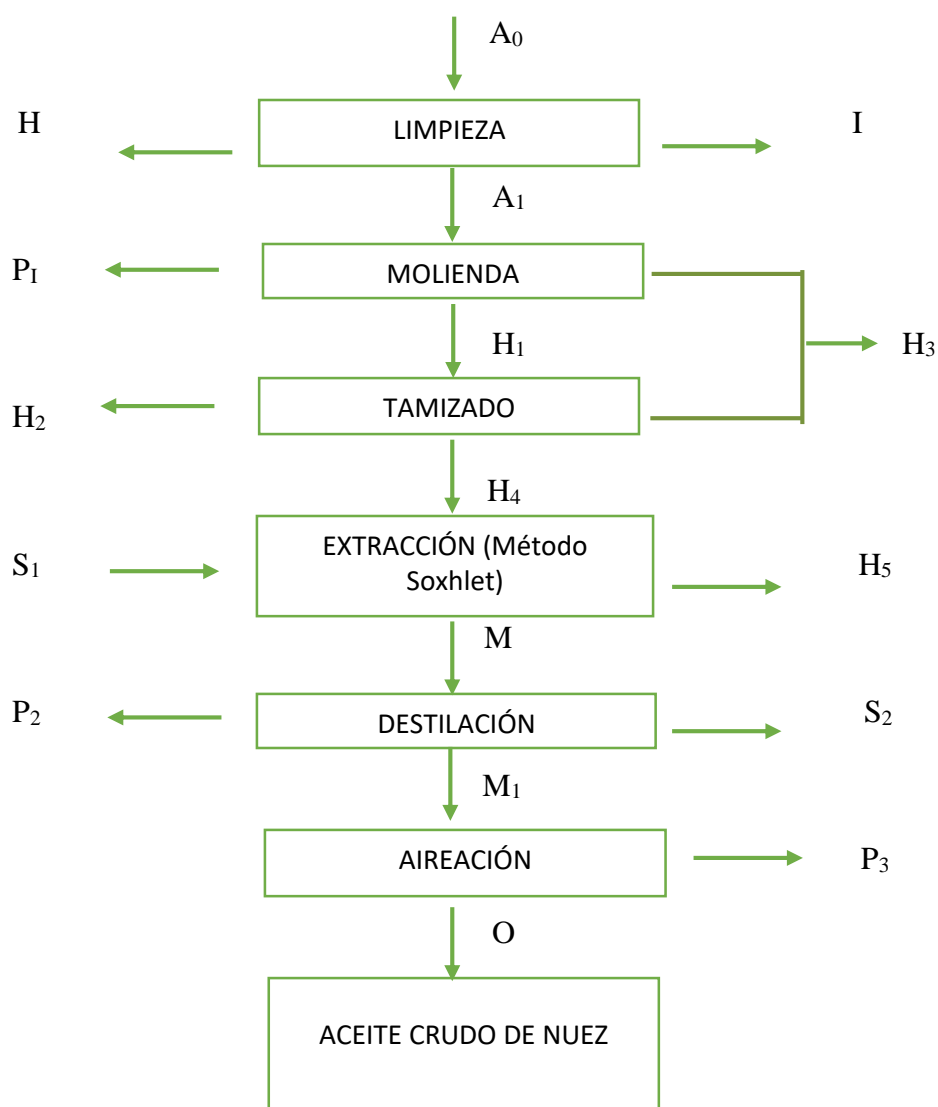


Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Balance de Materia del Proceso Tecnológico Experimental de Obtención de Aceite Crudo de Nuez.

Para facilitar la comprensión de cada etapa y su relación con las demás, en el diagrama 2-2 se presenta un diagrama de bloques del proceso tecnológico experimental de obtención de aceite crudo de Nuez mediante extracción por solvente.

Diagrama 2-2 Diagrama de Bloques del Proceso Tecnológico Experimental



Fuente: Elaboración propia.

A_0 = Nueces Pecaneros

I = Impurezas (Cascaras)

A_1 = Nuez limpio

H = Humedad de la Nuez

P_1 = Perdida en la molienda

H_1 = Harina de Nuez

H_2 = Harina de Nuez (< 0.5mm de particula)

H_3 = Harina de Nuez (> 0.5mm de particula)

H_4 = Harina de Nuez (=0.5mm de particula)

S_1 = Solvente

H_5 = Harina de Nuez despues de la extracción

M = Mezcla Aceite-Solvente S_2 = Solvente Recuperado

P_2 = Perdida de solvente en desilación

M_1 = Mezcla de aceite y trazas del solvente

P_3 = Perdida del solvente

O = Aceite Crudo vegetal de Nuez

ETAPA 1 “LIMPIEZA”

Datos:

A_0 (Entrada)= 2000 g

I (Impurezas Cascaras)=900 g



I

Ecuación II-1

$$A_0 = A_1 + I$$

Despejando:

$$A_1 = A_0 - I$$

$$A_1 = 2000\text{g} - 900\text{g}$$

$$A_1 = 1100\text{ g}$$

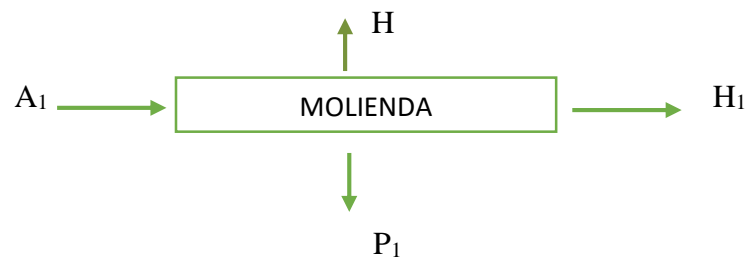
ETAPA 2 “MOLIENDA”**Datos:**

$$A_1 = 1100\text{ g}$$

$$P_1 = 11.5\text{ g}$$

$$H = 1.58\%$$

$$H = 17.38\text{ g}$$



Ecuación II-2

$$A_1 = P_1 + H_1 + H$$

Despejando:

$$H_1 = A_1 - P_1$$

$$H_1 = 1100\text{g} - 11.5\text{g} - 17.38\text{g}$$

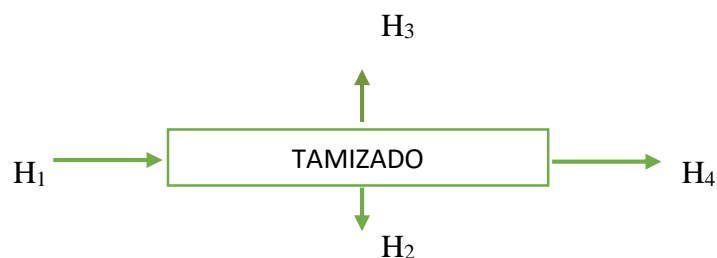
$$H_1 = 1071.12\text{g}$$

ETAPA 3 “TAMIZADO”**Datos:**

$$H_1 = 1071.12\text{g}$$

$$H_2 = 5.50\text{ g}$$

$$H_3 = 23.5\text{ g}$$



Ecuación II-3

$$H_1 = H_2 + H_3 + H_4$$

Despejando:

$$H_4 = H_1 - H_2 - H_3$$

$$H_4 = 1071.12\text{g} - 5.50\text{ g} - 23.5\text{ g}$$

$$H_4 = 1042.12\text{g}$$

ETAPA 4 “EXTRACCIÓN”

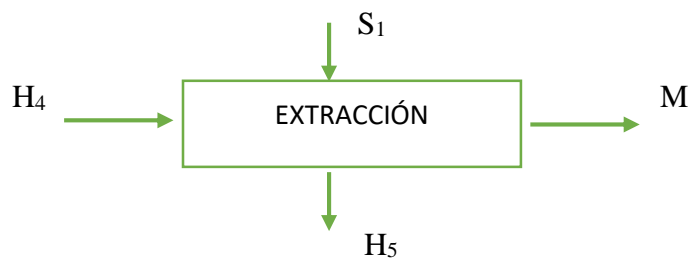
Datos:

$$H_4 = 1042.12\text{g}$$

$$\rho(\text{solvente}) = 0,71\text{ g/ml}$$

$$S_1 = 0,71 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 2500\text{ml} = 1775\text{ g}$$

$$H_5 = 421.576\text{ g}$$



Ecuación II-4

$$H_4 + S_1 = H_5 + M$$

Despejando:

$$M = H_4 + S_1 - H_5$$

$$M = 1042.12 \text{ g} + 1775 \text{ g} - 421.576 \text{ g}$$

$$M = 2395.544 \text{ g}$$

ETAPA 5 “DESTILACIÓN”

Datos:

$$M = 2395.544 \text{ g}$$

$S_2 =$ Recuperación del solvente 70%

$$S_2 = S_1 \times 0.7 = 1242.5 \text{ g}$$

$$M_1 = 714.544 \text{ g}$$



Ecuación II-5

$$M = P_2 + S_2 + M_1$$

Despejando:

$$P_2 = M - S_2 - M_1$$

$$P_2 = 2395.544 \text{ g} - 1242.5 \text{ g} - 714.544 \text{ g}$$

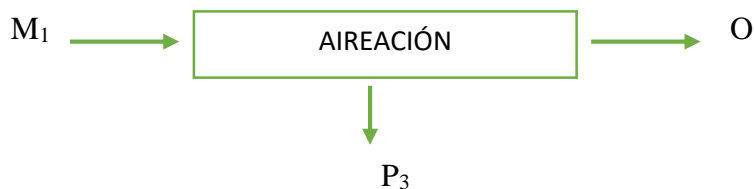
$$P_2 = 438.5 \text{ g}$$

ETAPA 6 “AIREACIÓN”

Datos:

$$M_1 = 714.544 \text{ g}$$

$O = 705.094 \text{ g}$ (Dato que fue obtenido por diferencia de peso)



Ecuación II-5

$$M_1 = P_3 + O$$

Despejando:

$$P_3 = M_1 - O$$

$$P_3 = 714.544 \text{ g} - 705.094 \text{ g}$$

$$P_3 = 9.45 \text{ g}$$

$$\%R = \frac{\text{Masa Aceite Crudo}}{\text{Masa de harina total}} * 100$$

$$\%R = \frac{O}{H_4} * 100$$

$$\%R = \frac{705.094}{1042.12} * 100 = 67.66\%$$

2.4.4 Balance de Energía del Proceso Tecnológico Experimental Obtención de Aceite de Nuez

Se realizó el Balance de Energía solo en los procesos que lo requieren, se considera el monto 0,980 Bs/kWh mismo que representan el costo que cobra SETAR en la ciudad de Tarija por las prestaciones de servicio.

ETAPA 2 “MOLIENDA”

Datos:

$$Tiempo(t) = 30 \text{ min} = 0,5 \text{ h}$$

$$Potencia(P_o) = 750 \text{ W} = 0,750 \text{ kW}$$

$$Energia = P_o * t$$

$$Energia = 0,750 \text{ kW} * 0,5 \text{ h}$$

$$Energia = 0,375 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energia * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,375 \text{ kWh} * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,368 \text{ Bs} \cong 0,400 \text{ Bs}$$

ETAPA 3 “TAMIZADO”: Tamiz Vibratorio

Datos:

$$Tiempo(t) = 20 \text{ min} = 0,333 \text{ h}$$

$$Potencia(P_o) = 0,092 \text{ kW}$$

$$Energia = P_o * t$$

$$Energia = 0,092 \text{ kW} * 0,333 \text{ h}$$

$$Energia = 0,030 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energia * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,030 \text{ kWh} * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,029 \text{ Bs}$$

ETAPA 4 “EXTRACCIÓN”: Plancha de Calentamiento AKITA BLUE CE – 1482 R

Datos:

$$Tiempo(t) = 6 \text{ h}$$

$$Potencia(P_o) = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$$

$$Energia = P_o * t$$

$$Energia = 1 \text{ kW} * 6 \text{ h}$$

$$Energia = 6 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energia * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 6 \text{ kWh} * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 5,88 \text{ Bs} \cong 5,90 \text{ Bs}$$

ETAPA 5 “DESTILACIÓN”: Plancha de Calentamiento AKITA BLUE CE – 1482 R

Datos:

$$Tiempo(t) = 1,5 \text{ h}$$

$$Potencia(P_o) = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$$

$$Energia = P_o * t$$

$$Energia = 1 \text{ kW} * 1,5 \text{ h}$$

$$Energia = 1,5 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energia * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 1,5 \text{ kWh} * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 1,470 \text{ Bs} \cong 1,500 \text{ Bs}$$

ETAPA 6 “AIREACIÓN”: Estufa de Secado Heraeus

Datos:

$$\text{Tiempo}(t) = 5 \text{ h}$$

$$\text{Potencia}(P_o) = 2000 \text{ W} = 2 \text{ kW}$$

$$\text{Energia} = P_o * t$$

$$\text{Energia} = 2 \text{ kW} * 5 \text{ h}$$

$$\text{Energia} = 10 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo} = \text{Energia} * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$\text{Costo} = 10 \text{ kWh} * 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$\text{Costo} = 9,800 \text{ Bs} \cong 10 \text{ Bs}$$

Por lo tanto, el costo total del proceso respecto al consumo de energía de los equipos utilizados en cada etapa del mismo, es igual a la suma de cada uno según su consumo de energía, lo que da un total de 17,83 Bs.

2.4.5 Análisis Estadístico del Diseño Experimental

El diseño experimental de la sección 2.3, da origen al presente análisis estadístico.

Para el análisis estadístico del diseño experimental, se utilizó el programa **SPSS 27.0** (*Statistical Package for the Social Sciences*) para Windows, el cual permite un tratamiento integrado de todas las fases que conlleva el análisis de datos, obteniéndose resultados más representativos y confiables.

Los resultados obtenidos de cada combinación tamaño de partícula-tiempo de extracción “T-t”, facilitaron el diseño experimental y de este modo se determinaron las variables más significativas para el proceso de extracción.

La variable respuesta de los datos experimentales, puede ser expresada a través de la masa de aceite obtenida o del rendimiento de aceite de Nuez (expresado en porcentaje). Para los fines de análisis estadístico, se tomó como variable respuesta el porcentaje de aceite obtenido, por ser el parámetro

que muestra claramente y en forma directa, el rendimiento del proceso y la cantidad de aceite producido.

En la tabla II-13, se muestran los resultados obtenidos de manera experimental dentro del proceso de extracción del aceite de Nuez, ejecutados de acuerdo al diseño factorial que fue elaborado para el caso.

Tabla II-13 *Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite de 5 g de Nuez*

N° de Exp.	FACTORES		RESPUESTA I		RESPUESTA II	
	Tamaño (T)/mm	Tiempo (t)/h	Aceite (g)	Aceite (%)	Aceite (g)	Aceite (%)
1	A	c	1,576	31,52	1,601	32,02
2	A	b	1,858	37,16	1,798	35,78
3	A	a	1,997	39,94	2,012	40,24
4	B	c	2,235	44,7	2,336	46,72
5	B	b	2,495	49,9	2,651	53,02
6	B	a	2,828	56,56	2,901	58,02
7	C	c	2,859	57,18	2,886	57,72
8	C	b	3,103	62,06	3,205	64,1
9	C	a	3,566	71,326	3,499	70

Fuente: Elaboración propia

El aceite de Nuez se obtuvo en el proceso de extracción, empleando tres tamaños de partículas diferentes, siendo la variable A, el sólido de mayor tamaño de partícula, B el tamaño intermedio y C, el sólido de menor tamaño; combinando los tres tamaños con los distintos tiempos de extracción, a, b y c. El mayor porcentaje de aceite se obtuvo trabajando con la partícula de menor tamaño y con el mayor tiempo de extracción, siendo este rendimiento del 71.326 %

2.4.5.1 Cálculo del Análisis de Varianza

El análisis de varianza indica las variables principales que influyen en el proceso de extracción, es decir, sobre la variable respuesta (rendimiento). Así mismo se dan las transformaciones acerca de las interacciones entre las variables que influyen en dicho rendimiento, y la significación de los mismos. En la tabla II-14 se representan los datos con los cuales se ha realizado el cálculo de análisis de varianza de un diseño 3 x 3.

Tabla II-14 *Datos para el Cálculo del Análisis de Varianza*

Tamaño	Tiempo	T-t	Rendimiento
1	1	1	31,52
1	0	0	37,16
1	-1	-1	39,94
0	1	0	44,7
0	0	0	49,9
0	-1	0	56,56
-1	1	-1	57,18
-1	0	0	62,06
-1	-1	1	71,326
1	1	1	32,02
1	0	0	35,78
1	-1	-1	40,24
0	1	0	46,72
0	0	0	53,02
0	-1	0	58,02
-1	1	-1	57,72
-1	0	0	64,1
-1	-1	1	70

Fuente: SPSS 27.0

Tabla II-15 Factores Inter-Sujetos

		N
Tamaño	-1,00	6
	0,00	6
	1,00	6
Tiempo	-1,00	6
	0,00	6
	1,00	6

Fuente: SPSS 27.0

La tabla II-15 indica el numero de ensayos realizados, siendo 6 ensayos con cada tamaño fijado y 6 ensayos con cada tiempo fijado.

Tabla II-16 Prueba de los Efectos Inter-Sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2678,135 ^a	8	334,767	246,936	0,000
Intersección	45800,125	1	45800,125	33783,82	0,000
Tamaño	2298,570	2	1149,285	847,754	0,000
Tiempo	365,591	2	182,796	134,837	0,000
Tamaño * Tiempo	13,973	4	3,493	2,577	0,110
Error	12,201	9	1,356		
Total	48490,461	18			
Total corregido	2690,336	17			

3. R al cuadrado = 0,995 (R al cuadrado ajustada = 0,991)

Fuente: SPSS 27.0

En la tabla II-16 se muestran los resultados del analisis de varianza, aplicado a los datos experimentales del proceso de extraccion de aceite de semillas de Nuez.

Se puede observar con excepción de la variable interacción tamaño de partícula-tiempo de extracción, que el efecto de las variables tamaño de partícula y tiempo de extracción, influyen sobre el porcentaje de aceite crudo extraído, esto se debe a que el nivel de significancia es menor al 5% o 0,05, lo que implica la posibilidad de que las variables sean significativas sobre el proceso de extracción de aceite de semillas de Nuez, con una confianza del 95%.

Tabla II-17 *Variables Introducidas/Eliminadas*

Modelo	VARIABLES ENTRADAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	Tiempo, Tamaño ^b	-	Introducir

a. Variable dependiente: Rendimiento

b. b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: SPSS 27.0

En la tabla II-17 se muestra las variables introducidas y eliminadas a través del programa, la variable eliminada es la interacción tamaño de partícula-tiempo de extracción por no ser significativa.

Tabla II-18 *Ajuste de Datos para el Modelo Lineal General*

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,993 ^a	0,987	0,985	1,55106

a. Predictores: (Constante), Tiempo, Tamaño

b. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 27.0

Tabla II-19 ANOVA (b)

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2654,249	2	1327,125	551,637	0,000 ^b
Residuo	36,087	15	2,406		
Total	2690,336	17			

a. Variable dependiente: Rendimiento

b. Predictores: (Constante), Tiempo, Tamaño

Fuente: SPSS 27.0

Tabla II-20 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
(Constante)	50,443	0,366		137,976	0	49,663	51,222
Tamaño	-13,811	0,448	-0,922	-30,844	0	-14,765	-12,856
Tiempo	-5,519	0,448	-0,369	-12,326	0	-6,473	-4,564

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 27.0

De la tabla II-20 se determino que el modelo matematico ajustado para el proceso de extraccion, que correlaciona el porcentaje de aceite extraido con las variables, tiempo y tamaño de las particulas, par el caso estudiado es el siguiente:

$$\mathbf{Rendimiento = 50,443 - 13,811 \text{ Tamaño} - 5,519 \text{ Tiempo}}$$

Por lo tanto, el rendimiento esta en funcion al tamaño de la particula y el tiempo de extracción, siendo estos de signo negativo, es decir que mientras mas pequeña sea el tamaño de particula y el tiempo de extracción mayor, se ve favorecido el rendimiento del aceite.

A continuación en la tabla II-21, se comparan los resultados del rendimiento respecto al porcentaje de aceite obtenido de manera experimental y el obtenido a traves del modelo matematico, donde se observa que no existe una varianza mayor al 5 %.

Tabla II-21 Resultados del Rendimiento Experimental y Rendimiento Obtenido con el Modelo Matemático Ajustado.

Tamaño	Tiempo	Rendimiento experimental(R_{exp})	Rendimiento modelo matematico(R_{mm})	Error Diferencial
1	1	31,52	30,997	0,523
1	0	37,16	36,5469	0,6131
1	-1	39,94	42,78257	-2,84257
0	1	44,7	44,95981	-0,25981
0	0	49,9	50,47447	-0,57447
0	-1	56,56	55,86484	0,69516
-1	1	57,18	59,17829	-1,99829
-1	0	62,06	64,60677	-2,54677
-1	-1	71,33	69,32786	2,00214
1	1	32,02	30,85414	1,16586
1	0	35,78	36,76948	-0,98948
1	-1	40,24	42,69686	-2,45686
0	1	46,72	44,634	2,086
0	0	53,02	50,29094	2,72906
0	-1	58,02	55,62935	2,39065
-1	1	57,72	59,024	-1,304
-1	0	64,1	64,27774	-0,17774
-1	-1	70	69,70671	0,29329

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-22 Estadísticos sobre los Residuos (a)

	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	N
Valor pronosticado	31,1132	69,7719	50,4426	12,49529	18
Desv. Valor pronosticado	-1,547	1,547	0,000	1,000	18
Error estándar de valor pronosticado	0,366	0,731	0,622	0,119	18
Valor pronosticado corregido	30,8541	69,7067	50,4790	12,48624	18
Residuo	-2,21089	2,57744	0,00000	1,45697	18
Desv. Residuo	-1,425	1,662	0,000	0,939	18
Residuo estud.	-1,616	1,710	-0,011	1,027	18
Residuo eliminado	-2,84257	2,72906	-0,03643	1,74499	18
Residuo eliminado estud.	-1,718	1,841	-0,012	1,066	18
Distancia Mahal.	0,000	2,833	1,889	0,972	18
Distancia de Cook	0,001	0,249	0,067	0,073	18
Valor de influencia centrado	0,000	0,167	0,111	0,057	18

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 27.0

Del análisis estadístico se puede concluir lo siguiente:

- La elección del modelo es correcta, por cuanto la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza de 95%.
- El factor que más influye en el proceso de extracción, es el tamaño de partícula con una elevada significancia, siguiéndole en importancia el tiempo de extracción que está ligada al tamaño de la partícula, por cuanto a menor tamaño se tiene mayor área de contacto y esto implica un menor tiempo de extracción. Por lo tanto, se debe tener especial atención en el manejo de estas variables, en el proceso productivo industrial.

2.5 DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE DIFUSION EN LA EXTRACCION DE ACEITE DE NUEZ PECAN

La ecuacion que mas se acerca a la velocidad real de difusion de la sustancia grasa de las semillas al solvente es la siguiente:

$$\log \frac{q_{\Theta}}{q_0} = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \Theta$$

Donde:

q_{Θ} = Cantidad de aceite por unidad de peso despues de la extraccion.

Q_0 = Cantidad de aceite por unidad de peso antes de la extraccion.

D = Constante de difusion a una temperatura dada.

$2l$ = Espesor de las laminas.

Θ = Tiempo de extraccion.

2.5.1 Determinación del Coeficiente de Difusion para Particulas de (2 mm)

A continuacion se puede observar la tabla II-23 que contiene los datos experimentales de la extraccion en funcion del tiempo para particulas de (2 mm).

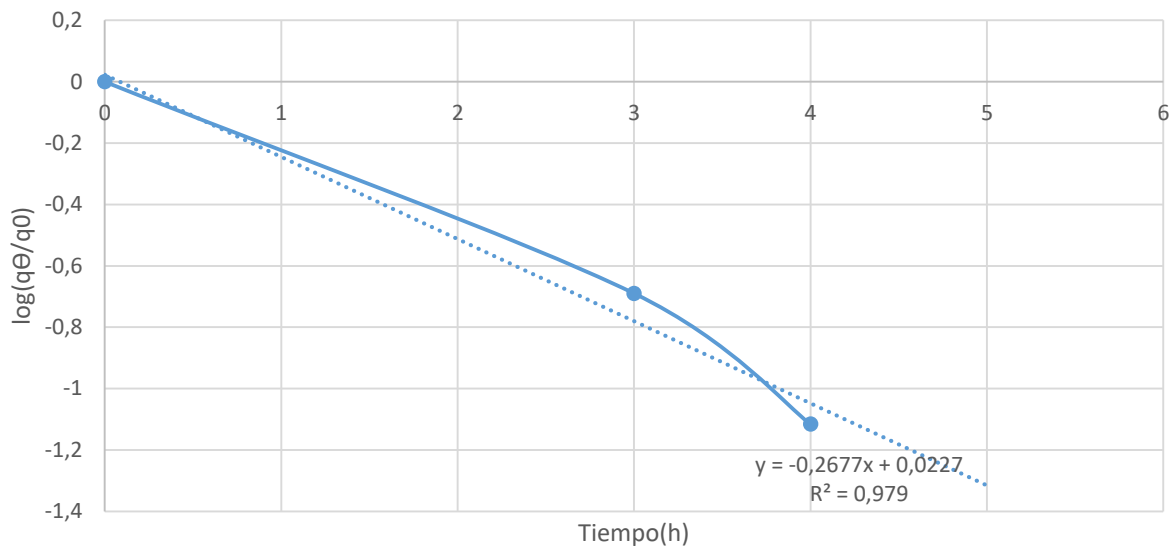
Tabla II-23 *Datos Experimentales Obtenidos para la Determinacion del Coeficiente de Difusión para Particulas de (2 mm).*

Tiempo (h)	Aceite Extraído (g/g s.s)	% de Aceite Extraído	Fracción de Aceite Retenido (q_{Θ}/q_0)	$\log (q_{\Theta}/q_0)$
0	0	0	1	0
3	1,601	79,5725	0,20427	-0,68979
4	1,858	92,3459	0,07654	-1,116111
5	2,012	100	0	

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos experimentales se construyo el grafico II-2, donde se determino la función de la curva.

Tiempo(h) vs $\log (q_{\Theta}/q_0)$ para particulas de (2 mm)



Fuente: Elaboracion propia

La función de esta grafica es la siguiente :

$$Y = -0,2677x + 0,0227$$

Donde :

$$\log \frac{q\theta}{q_0} = a \qquad 4,286 \frac{D}{(2)^2} = b$$

Reemplazando datos y despejando, se obtiene el siguiente coeficiente de difusión para partículas de 2 mm

$$\log \frac{q\theta}{q_0} = 0,0492 - 4,286 \frac{D}{(2)^2} \Theta$$

$$4,286 \frac{D}{(2)^2} = 0,267$$

$$D = 9,9673 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

2.5.2 Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (1 mm)

A continuación se puede observar la tabla II-24 que contiene los datos experimentales de la extracción en función del tiempo para partículas de (1 mm).

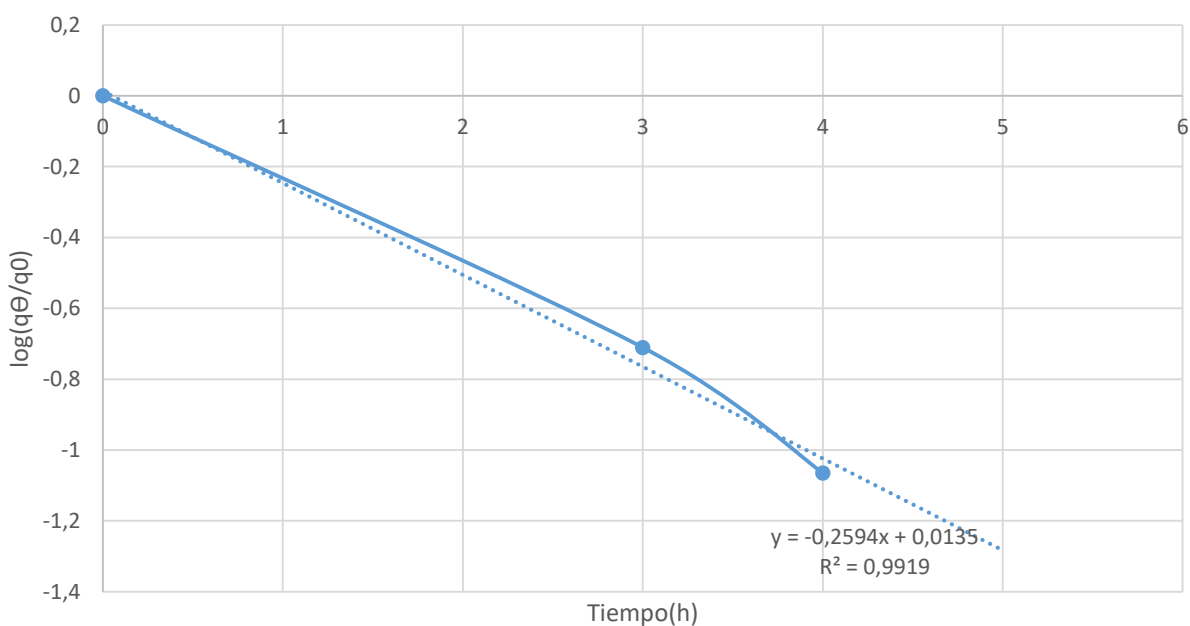
Tabla II-24 Datos Experimentales Obtenidos para la Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (1 mm)

Tiempo (h)	Aceite Extraído (g/g s.s)	% de Aceite Extraído	Fracción de Aceite Retenido ($q\theta/q_0$)	$\log (q\theta/q_0)$
0	0	0	1	0
3	2,336	80,5240	0,19476	-0,71050
4	2,651	91,3822	0,08617	-1,06460
5	2,901	100	0	

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos experimentales se construyó el gráfico II-3, donde se determinó la función de la curva.

Grafica II-3 *Tiempo(h) vs $\log (q\theta/q_0)$ para partículas de (1 mm)*



Fuente: Elaboración propia

La función de esta grafica es la siguiente :

$$Y = -0,2594x + 0,0135$$

Donde :

$$\log \frac{q_{\theta}}{q_0} = a \qquad 4,286 \frac{D}{(2l)^2} = b$$

Reemplazando datos y despejando, se obtiene el siguiente coeficiente de difusión para partículas de 1 mm

$$\log \frac{q_{\theta}}{q_0} = 0,0135 - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \Theta$$

$$4,286 \frac{D}{(2l)^2} = 0,2595 \qquad D = 2,4218 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

2.5.3 Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (0,5 mm)

A continuación se puede observar la tabla II-25 que contiene los datos experimentales de la extracción en función del tiempo para partículas de (0,5 mm).

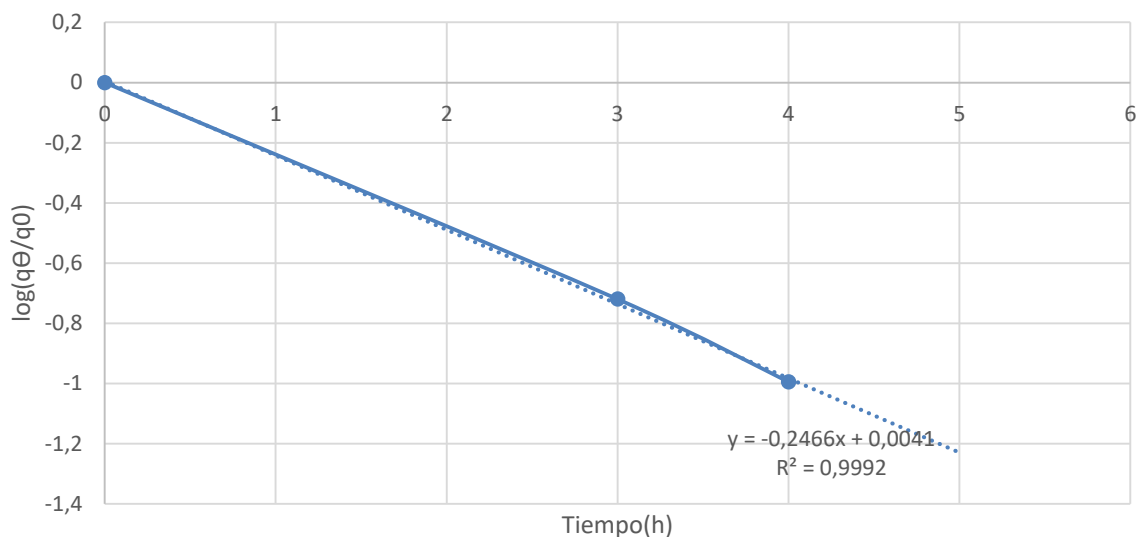
Tabla II-25 Datos Experimentales Obtenidos para la Determinación del Coeficiente de Difusión para Partículas de (0,5 mm)

Tiempo (h)	Aceite Extraído (g/g s.s)	% de Aceite Extraído	Fracción de Aceite Retenido (q_{θ}/q_0)	log (q_{θ}/q_0)
0	0	0	1	0
3	2,886	80,931	0,19069	-0,719672
4	3,205	89,8766	0,101234	-0,99467
5	3,566	100	0	

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos experimentales se construyó el gráfico II-4, donde se determinó la función de la curva.

Gráfica II-4 Tiempo(h) vs log (q_{θ}/q_0) para partículas de (0,5 mm)



Fuente: Elaboración propia

La función de esta grafica es la siguiente :

$$Y = -0,2466x + 0,0041$$

Donde :

$$\log \frac{q\Theta}{q_0} = a \qquad 4,286 \frac{D}{(2l)^2} = b$$

Reemplazando datos y despejando, se obtiene el siguiente coeficiente de difusión para partículas de 0,5 mm

$$\log \frac{q\Theta}{q_0} = 0,0041 - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \Theta$$

$$4,286 \frac{D}{(2l)^2} = 0,2466$$

$$D = 5,77536 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

2.6 ANÁLISIS DEL PRODUCTO OBTENIDO

Los análisis fisicoquímicos para el producto final se realizaron en los laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” y en el Centro de Alimentos y Productos Naturales “CAPN”, dependiente de la Universidad Mayor de “San Simón” de la ciudad de Cochabamba.

Los análisis realizados al aceite crudo de Nuez pecan procedente de la segunda sección de la provincia de Méndez-Tarija, en el laboratorio del CEANID fueron los siguientes:

- Determinación porcentual de humedad.
- Determinación porcentual de acidez titulable.
- Determinación del índice de peróxidos.
- Determinación del índice de refracción.
- Determinación de la densidad relativa.

Los análisis realizados al aceite crudo de Nuez pecan procedente de la segunda sección de la provincia de Mendez-Tarija, en el laboratorio del CAPN fueron los siguientes :

- Determinación porcentual de ácidos saturados
- Determinación porcentual de ácidos insaturados

2.6.1 Resultados de los Análisis del Producto final

Las características fisicoquímicas del aceite de Nuez pecan obtenido, son las siguientes:

Tabla II-26 *Características Fisicoquímicas del Aceite Crudo de Nuez Pecan*

Parámetro	Unidad	Resultado
Acidez (como ácido oleico)	%	0,23
Densidad relativa (20°C)	-	0,9167
Humedad	%	0,11
Índice de peróxido	meqO ₂ /Kg	1,4718
Índice de refracción (20°C)	-	0,25

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

Los resultados presentados en la tabla II-26, serán comparados más adelante con los que se tiene como referencia bibliográfica.

2.7 CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

En la siguiente tabla II-27 se presentan los resultados del análisis de perfil de ácidos grasos realizado al aceite de nuez pecan obtenido, mismos que serán comparados en el siguiente capítulo con los que se tiene como referencia bibliográfica.

Tabla II-27 Perfil de Acidos Grasos Saturados e Insaturados del Aceite*Crudo de Nuez Pecan*

Perfil de Acidos Grasos		Unidad	Resultado
Acido Palmitico	C16:0	%	5,49
Acido Estearico	C18:0	%	1,77
Acido Oleico	C18:1n9c	%	70,07
Acido Linoleico	C18:2n6c	%	22,68
Acidos Saturados Totales		%	5,49
Acidos Insaturados Totales		%	92,74

Fuente: Centro de Alimentos y Productos Naturales “CAPN”,2021.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 COMPARACION DE LA NUEZ (CARYA ILLINOINENSIS)

Las características de los análisis de la materia prima utilizada en el presente proyecto de investigación comparada con la que se encuentra como referencia en bibliografía, se detalla a continuación en la tabla III-1.

Tabla III-1 Comparación de la Materia Prima

Nuez (Carya Illinoensis)		
Parámetros (%p/p)	(Datos bibliográficos)	(Segunda Sección Méndez-Tarija)
Humedad	3,7±0,3	1,58
Proteína	9,9±0,1	10,86
Materia grasa	69,4±0,1	69,24
Cenizas	1,4	1,79
Hidratos de carbono	7,8	14,75
fibra dietética	7,8±0,45	1,78

Fuente: Oro T. & Ogliari P. & Días R. & Barrera D. & Mara J., 2008. Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2019.

En la tabla III-1 se observa que el contenido de agua es menor que el que se señala la bibliografía, con menor contenido de aceite (pero dentro del rango antes mencionado) y menor porcentaje de fibra.

3.2 COMPARACIÓN DEL ACEITE CRUDO DE NUEZ

Las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos del aceite crudo de nuez obtenido en la parte experimental del presente proyecto de investigación y las que se encuentran como referencia en bibliografía; se detallan a continuación en las tablas III-2 y tabla III-3, respectivamente.

Tabla III-2 Comparación del Aceite Crudo de Nuez

Aceite Crudo de Nuez (Carya Illinoensis)		
Parámetros(%p/p)	(Datos bibliográficos) (%)	(Experimental) (%)
Acidez (como ácido oleico) (%)	0,495-0677	0,23
Densidad relativa(20°C)	0,923-0,925	0,9167
Humedad (%)	1,95±0,03	0,11
Índice de peróxido(meqO ₂ /Kg)	0,25-0,40	0,25
Índice de refracción (20°C)	1,46-1,466	1,4718

Fuente: Comisión del CODEX Alimentarius, 2016. Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2021.

De los parámetros comparados, se puede observar que las características del aceite de nuez obtenida mediante extracción por solvente (Éter de Petróleo), en cuantos, a densidad, índice de peróxidos e índice de refracción, están dentro del rango que especifica la Norma STAN 210-1999 del CODEX Alimentarios, para aceite crudo. Así también, el porcentaje de humedad, aunque en menor cantidad la acidez (expresada como % ácido oleico), cumplen con las especificaciones que debe tener un aceite crudo de nuez, según referencias bibliográfica.

Tabla III-3 Comparación Perfil de Acidos Grasos del Aceite crudo de Nuez

Aceite Crudo de Nuez (<i>Carya Illinoensis</i>)		
Perfil de Ácidos Grasos	(Datos bibliográficos) (%)	(Experimental)(%)
Ácido Palmítico	5,9	5,49
Ácido Esteárico	2,24	1,77
Ácido Oleico	68,24	70,07
Ácido Linoleico	23,68	22,68

Fuente: Venkatachalam y Sathe, 2006. Centro de Alimentos y Productos Naturales “CAPN”,2021.

De los resultados comparados, se puede observar que el porcentaje de ácidos grasos del aceite de Nuez obtenido mediante extracción por solvente (Éter de Petróleo), están dentro del rango que especifica la Norma STAN 210-1999 del CODEX Alimentarius y la NB 750011:2005 de la Norma Boliviana, para aceite crudo de Nuez. Así también, se observa que el ácido graso que se encuentra en mayor proporción es el ácido oleico (70,07%), seguido por el ácido linoleico (22,68%), por últimos en menor cantidades el ácido palmítico (5,49%) y el ácido esteárico (1,77%).

3.3 COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE NUEZ

En la tabla III-4, se presentan los valores de los coeficientes de difusión obtenidos para los tamaños de partículas empleadas en la extracción de aceite de Nuez.

Tabla III-4 Resultados de los Coeficientes de Difusión en la Extracción

Tamaño de Particula (mm)	Coeficiente de Difusión (m ² /s)
2	9,9673x10 ⁻⁷
1	2,4218x10 ⁻⁷
0,5	5,7753x10 ⁻⁸

Fuente: Elaboracion propia.

Como se menciona en párrafos anteriores, el coeficiente de difusión es un valor que representa facilidad con que el soluto se mueve en el disolvente y depende de factores como la temperatura, la viscosidad del solvente, el tamaño y la forma del soluto. En los datos mostrados en la tabla III-4 se puede observar como disminuye el coeficiente de difusión a medida que disminuye el tamaño de partícula.

3.4 INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS SOBRE EL RENDIMIENTO

Tabla III-5 Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de 5 g de Nuez

N° de Exp.	FACTORES		RESPUESTA I		RESPUESTA II	
	Tamaño (T)/mm	Tiempo (t)/h	Aceite (g)	Aceite (%)	Aceite (g)	Aceite (%)
1	A	c	1,576	31,52	1,601	32,02
2	A	b	1,858	37,16	1,798	35,78
3	A	a	1,997	39,94	2,012	40,24
4	B	c	2,235	44,7	2,336	46,72
5	B	b	2,495	49,9	2,651	53,02
6	B	a	2,828	56,56	2,901	58,02
7	C	c	2,859	57,18	2,886	57,72
8	C	b	3,103	62,06	3,205	64,1
9	C	a	3,566	71,33	3,499	70

Fuente: Elaboración propia.

La tabla III-3 vista en la sección 2.4.3, muestra los resultados experimentales obtenidos en el proceso de extracción del aceite de Nuez, donde se evidencia la influencia de los parámetros, tamaño de partícula y tiempo de extracción sobre el rendimiento del aceite.

Los datos obtenidos, muestran claramente que pese a que obtiene un rendimiento de aceite crudo del 71,326 % en 5 h de extracción, el tamaño de la partícula es determinante aparte algunas nueces contienen más aceite debido a los nutrientes del suelo y las horas frías que recibe en invierno el árbol, esto hace que se den resultados un poco mayor pero no muy significativo a la hora de la extracción.

3.4.1 Condiciones de operación Recomendadas para el Proceso de Extracción

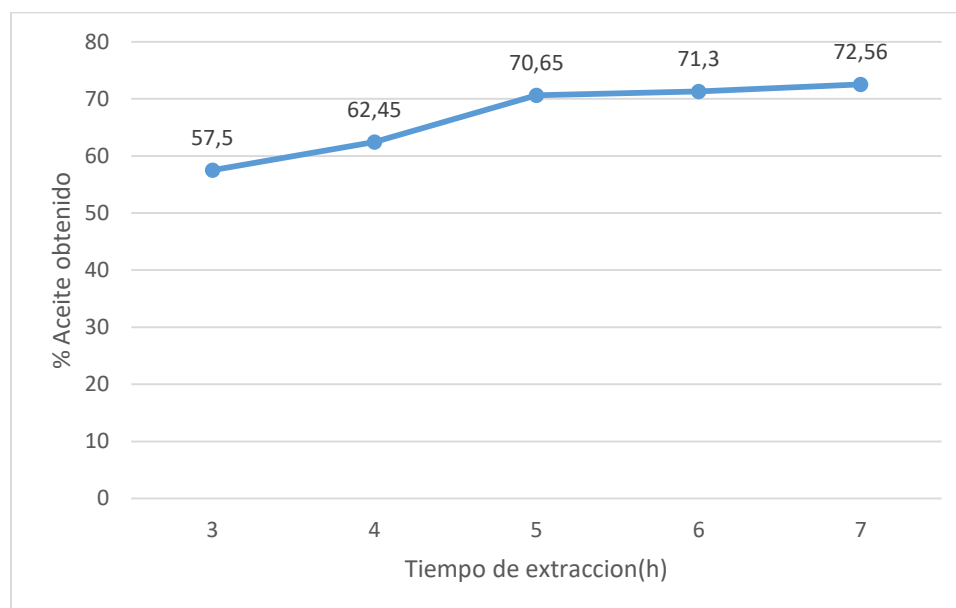
De los datos experimentales en la tabla III-4 se construyó el gráfico III-1, empleando los datos obtenidos en la extracción con el menor tamaño de la partícula (C), y con el cual se obtuvo los mejores rendimientos de aceite.

Tabla III-6 Datos Experimentales del Proceso de Extracción de Aceite de 5 g de Nuez empleando el Tamaño de la Partícula C

N° de Exp.	Tamaño (T)/mm	Tiempo (t)/h	Aceite (%)
7	0,5	3	57,5
8	0,5	4	62,45
9	0,5	5	70,65
10	0,5	6	71,3
11	0,5	7	72,56

Fuente: Elaboración propia.

Grafica III-1 Rendimiento de Aceite de Nuez empleando el Tamaño de Partícula C



Fuente: Elaboración propia.

Antes de seleccionar las condiciones de operación óptimas para el proceso, se realizaron dos experimentos más, donde se lleva a cabo extracciones durante 6 y 7 horas; con el fin de conocer si el aumento en el rendimiento es considerable. Siendo los resultados 71,30% y 72,56% respectivamente. Es así, que observando los porcentajes más altos de aceite de nuez pecan obtenidos, hasta las 5 horas de extracción, el aumento es significativo (de 4 a 5 horas el porcentaje de aceite se incrementa en un 8%). En cambio, para las siguientes dos extracciones, el incremento en el rendimiento es bajo, 1,25% y 0,65% respectivamente.

Por lo tanto, tomando en cuenta además de los costos en energía y solvente que implican extracciones por mayor tiempo, se escoge como condición óptima de extracción de 5 horas, tamaño de partícula de 0,5 mm de luz malla, una temperatura de extracción de 35° C, temperatura de ebullición del Eter de Petróleo; y una relación sólido-líquido de 0,0286 g/ml (5/175).

Tabla III-7 *Condiciones de Operación Recomendadas para el Proceso de Extracción de Aceite de Nuez*

Tamaño de Partícula(C)		Tiempo de extracción(h)	Temperatura de extracción (°C)	Relación Sólido/Líquido (g/ml)
Serie Tyler	Abertura de malla (mm)	5	35	5/175
32	0,5			

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 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 parámetros más importantes en la caracterización de la semilla de Nuez, son su bajo porcentaje de humedad 1,58% (no necesita una etapa de secado durante el pretratamiento) y su elevado contenido de materia grasa 69,24%.
- Referente a la extracción del aceite de Nuez, resulta más adecuado trabajar con la fracción más fina ya que favorece en la velocidad de extracción, brinda mejores rendimientos en el proceso y en un tiempo que permite la mayor obtención del producto de interés, considerando además los factores de energía consumida y cantidad de solvente utilizado (los cuales inciden directamente en los costos del proceso).

Las condiciones de operación recomendadas para el proceso de obtención de aceite de semilla de Nuez mediante extracción por solvente, son :

Tamaño de la partícula	0,5 mm de malla
Tiempo de extracción	5 horas
Temperatura de extracción	35 °C
Relación sólido/líquido	0,0286 g/ml

- Los resultados del diseño factorial utilizando el programa estadístico SPSS 27.0 indican que las variables, tiempo de extracción y tamaño de partícula, influyen significativamente sobre el producto obtenido de aceite de semilla de Nuez. Lo cual no sucede con la variable interacción tamaño de partícula-tiempo de extracción.
- La determinación de las propiedades fisicoquímicas del producto, aceite de semilla de Nuez, proporciona la siguiente información :

Aceite (como ácido oleico)	0,23 %
Densidad relativa	0,9167
Humedad	0,11 %
Índice de Peroxido	0,25 meqO ₂ /Kg
Índice de refracción	1,4718

Estos parámetros se asemejan lo suficientemente a los que debe presentar un aceite crudo según la Norma CODEX STAN 210-1999 ; lo que permite decir que se ha obtenido que

cumpla con las siguientes características fisicoquímicas establecidas en la mencionada norma.

- La determinación del perfil de ácidos grasos del producto, aceite de semillas de Nuez indica la siguiente proporción :

Acido Linoleico	22,68%
Acido Oleico	70,07%
Acido Palmítico	5,49 %
Acido Estearico	1,77%

Estos porcentajes cumplen con los valores que debe presentar un aceite crudo de Nuez según la Norma CODEX STAN 210-1999; lo que permite decir que se ha obtenido un aceite que cumple con las propiedades respecto al contenido de ácidos grasos esenciales.

- El rendimiento del proceso experimental es del 67,66 % de aceite de semilla de Nuez como resultante del balance de masa realizado, un valor bastante aceptable, que indica las buenas condiciones con las que se trabajó a escala laboratorio.

En conclusión, el presente proyecto de investigación, colabora en la incorporación de un producto en el mercado nacional, con mayor valor económico que incentiva en el fortalecimiento de la producción nacional agrícola de Nuez, cuyas propiedades lo hacen un producto sustentable y le confieren un gran potencial con amplia gama de aplicaciones; como una nueva alternativa alimenticia con la obtención de un producto de alto valor nutritivo; en la industria química, como materia prima para la producción de aceites, barnices, recubrimientos de superficies a base de aceites y linóleo. También se utiliza para modificar las resinas alquídicas y en la preparación de jabones, masillas, tintas de imprenta y ungüentos, así como también en cosméticos.

4.2 RECOMENDACIONES

- Analizar la factibilidad técnica y económica, que implicaría introducir una etapa de pre-prensado antes de la extracción por solvente, por tratarse de una nuez con elevado contenido de materia grasa.
- Los resultados obtenidos en base al rendimiento, incentivan a recomendar un estudio más detallado del proceso de extracción, para evaluar parámetros como la relación sólido-líquido, temperatura y tiempo de extracción, en las condiciones que se trabaja en la industria.

- Como se trabajo a nivel de laboratorio, el metodo utilizado muestra resultados satisfactorios; pero puede presentar algunos inconvenientes al llevarse a escala industrial, por lo que se recomienda escalar el proceso a nivel planta piloto.

