

1.1. ANTECEDENTES

A nivel mundial, las tendencias de las poblaciones del primer mundo se están volcando hacia el consumo de productos orgánicos, naturales, hacia un estilo de vida que fundamentalmente les permita vivir una larga y saludable vida. Esta tendencia está creciendo inclusive en países con economías emergentes como China e India y otros países. (Mora, 2003)

En los últimos quince años la producción mundial de sésamo se ha mantenido en un rango entre 2,156-3,092 millones de toneladas. Los principales productores mundiales de ajonjolí son India, China y Sudan, que acumulan el 70% de la producción mundial. En el caso de México y Centroamérica, la participación en la producción es de 0.7% y 1.5% respectivamente. (Duarte, 2008)

El sésamo, conocido también en algunos países latinoamericanos como "ajonjolí", es una de las oleaginosas más antiguas del mundo (algunos investigadores estiman su uso en Egipto desde hace más de 5.000 años). El origen de esta semilla fue en Asia y en África, al continente americano llegó probablemente en el siglo XVI, introducido al Brasil por navegantes portugueses y a fines del siglo XVII es cultivado en Carolina del Sur (EE.UU.) por los esclavos que lo habían traído de África. (Mora, 2003)

El país paraguayo a pesar de ser un rubro relativamente nuevo en el sector agropecuario nacional, ha alcanzado una rápida expansión pasando de aproximadamente 9.000 hectáreas en el año 1999 a alrededor de 100.000 hectáreas en el presente periodo agrícola (2007/08), ocupando a un poco más de 36.000 pequeños productores.

Esta expansión se fundamenta en que el país cuenta con adecuadas condiciones climáticas y además del panorama favorable del mercado internacional que permiten a los empresarios locales ofrecer precios competitivos a los productores. (Calvimontes, 2008)

Colombia es el tercer país productor de ajonjolí en Latinoamérica, superado únicamente por México y Venezuela. El 75 por ciento de la hectárea explotada y de la producción nacional corresponden al departamento del Tolima; y el 25 por ciento restante es aportado por, Boyacá y la Costa. (Duarte, 2008)

Tabla 1.1 Producción de ajonjolí a nivel mundial (miles de toneladas)

TASAS DE CRECIMIENTO						
País	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Centroamérica	50567	57176	52950	46473	45959	50822
China	798.000	899.239	597.074	707.787	629.589	665.500
India	689.000	441.300	782.100	674.100	641.000	628.000
Myanmar	426.384	399.284	501.316	555.000	570.000	580.000
Costa rica	120	120	120	120	120	120
El salvador	6348	8000	3421	2500	1691	1852
Guatemala	37656	42130	42089	41602	39522	37546
Honduras	1700	1650	273	650	885	950
Nicaragua	4743	5276	7047	1601	3740	10355
México	40777	42879	20210	31034	33088	20042
Paraguay	4210	5338	4987	5218	5762	6423

Fuente: FAO

La producción mundial del sésamo muestra un comportamiento con variaciones anuales moderadas oscilando en torno a tres millones cuatrocientos mil toneladas.

Entre los principales países productores se encuentran China, India, y Myanmar, que en su conjunto representan cerca del 75% de la producción mundial.

Los Principales Consumidores, Del total de consumo mundial de sésamo, se estima que un poco más del 60% corresponde al consumo de cinco países (China, Myanmar, India, Japón y Uganda), que al mismo tiempo, excepto Japón, son los principales productores.

En muchos países, el cultivo de ajonjolí como fruto comercial incide porque es un producto alimenticio básico producido para el uso diario. Desde allí, se ha extendido a todo el mundo, gracias a sus propiedades medicinales, dentro de las cuales se puede mencionar el tratamiento del colesterol. (Alvarado, 2006)

Bolivia, por sus características topográficas, la existencia de pisos ecológicos diversos y de poco desarrollo industrial pesado, puede constituirse en un centro especializado de

producción orgánica de alimentos de consumo directo y otros ligeramente procesados. (Calvimontes, 2008)

Bolivia no sólo produce materias primas, sino avanza en la producción ecológica y exportación de semillas de sésamo. El rápido crecimiento de sus ventas al mercado exterior ha motivado el crecimiento del sector.

En la actualidad el país tiene una superficie de siembra de sésamo de 25.000 hectáreas con un rendimiento en la campaña 2010-2011 de seis toneladas por hectáreas. La producción nacional cubre el 10% de la demanda interna y el resto se exporta a \$us 1.800 la tonelada del producto. Se indicó que Santa Cruz es el principal productor (95%) de sésamo en Bolivia.(Salinas, 2011)

La producción de sésamo en el oriente boliviano, es uno de los cultivos que demanda un mayor uso mano de obra. Anualmente cientos de productores incursionan en este cultivo debido a los buenos precios que ofertan los mercados internacionales. (January, 2006)

Bolivia es el segundo productor mas importante en Latinoamérica y por esto, los exportadores agrupados en la cámara boliviana de exportadores de sésamo (CABEXSE), ejecutado en Bolivia por el instituto boliviano de normalización y calidad (IBNORCA), se pusieron a trabajar en la elaboración de normas técnicas que permitan a los empresarios uniformar la calidad del producto y llegar a los mercados en mejores condiciones, informo la entidad certificadora en una nota de prensa. (Mendoza, 2008)

El oleaginoso en Bolivia no es solamente hablar del grano de oro (soya), sino también del ajonjolí o más conocido como sésamo, una semilla que se abre al mundo, que en los últimos dos años experimentó un explosivo crecimiento y que en 2004 alcanzará los \$us6 millones en exportaciones principalmente al mercado japonés.

Considerando los últimos tres años, la semilla tuvo un notable crecimiento. En 2001 las exportaciones en volúmenes no superaban las 1.250 toneladas y las cifras bordeaban el millón de dólares. En 2003 las ventas alcanzaron los \$us3 millones por una exportación de 4.000 toneladas y en la presente gestión ya se habla de \$us6 millones.

En términos de valor representa un crecimiento de 219%, mientras que el volumen de exportación se ha expandido en 148%, significando que todo está influenciado por el mejoramiento de los precios. (Leyton, 2004)

Tabla 1.2 Santa Cruz: superficie, producción y rendimiento, año agrícola 2007-2008

CULTIVO OLIAGINOSO	SUPERFICIE (hectáreas)	PRODUCCION (toneladas métrica)	RENDIMIENTO (Kg./ha)
Algodón	4.500	2.480	551
Girasol	259.214	298.640	1.152
Maní	3.479	3.911	1.124
Sésamo	12.821	5.590	436
Soya	832.098	1.219.278	1.465
Tabaco	633	521	823
achiote	238	128	538

Fuente: Instituto Nacional de Estadística- Encuesta Nacional Agropecuaria-ENA 2008

El sésamo es una planta oleaginosa cuyo cultivo se ha extendido en todas las regiones tropicales y subtropicales del planeta como en el departamento de santa cruz. Hay muchas variedades que producen semillas de sésamo de distintos colores: negras, marrones y blancas; éstas dan aceite más fino y de mejor calidad. En nuestro país la producción más alta es en el departamento de Santa Cruz por sus condiciones climática, es notable el incremento de esta semilla en nuestro país.(Cruz, 2006)

1.2. JUSTIFICACIÓN

- Con este trabajo se pretende persuadir en alguna medida, para que los productos como aceite de sésamo, puedan aportar a la dieta alimentaria diaria en Bolivia.
- La producción de sésamo en el Departamento de Santa Cruz es significativa en sus rendimientos productivos con un promedio de 5.590Tn. Por lo tanto, se cree contar con una producción importante para realizar el trabajo.

- Fomentar al cultivo del grano de sésamo en el Departamento de Tarija (zona Gran Chaco), con el fin de incentivar a nuevos productores para la extracción de aceite de sésamo.
- En los últimos años se ha elevado la producción de sésamo en el Departamento de Santa Cruz y esto se ve reflejado en el mercado interno; por lo que surge la necesidad de proporcionar nuevas alternativas de transformación en productos derivados del sésamo o ajonjolí.
- Además de ser una semilla sana y nutritiva debido a su alto contenido de proteína oscilan entre 17-29% y ácidos grasos esenciales como omega6 y omega3, el sésamo tiene una gran fuente de minerales como hierro, calcio y zinc.
- Por sus altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados (4 veces más que el aceite de oliva), el aceite de ajonjolí tiene excelentes propiedades para controlar los niveles altos de colesterol dañino, tiene capacidades lubricantes y cosméticas como retardador del envejecimiento, excelente fuente de vitamina E, solvente farmacéutico sustitutivo natural de cosméticos con elementos perseverantes y químicos cuestionables.
- Bolivia tiene tradición de producir uno de las mejores calidades de semilla de ajonjolí del mundo sin embargo, los precios de esta semilla son cíclicos.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Extracción por solvente a escala laboratorio, aceite crudo a partir de sésamo con la finalidad de conseguir un producto intermedio para farmacéutica, cosmético y otras utilidades.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas de la semilla de sésamo, con la finalidad de establecer su composición.
- Validar el proceso de extracción del aceite de sésamo con n-hexano, fijando las condiciones y variables de operación.

- Cuantificar el rendimiento promedio del aceite crudo de sésamo extraído.
- Identificar las corrientes de entrada y salida del diseño experimental, con la finalidad de conocer el balance de materia y energía del proceso.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del producto intermedio.
- Cuantificar los ácidos grasos insaturados y saturados presentes en el aceite crudo de sésamo.

1.4. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

En los países subdesarrollados donde prevalece una estructura productiva primaria como el nuestro, la característica predominante es la pobreza unida al desempleo. Por lo que es necesario plantear perspectivas de desarrollo agroindustrial en la región considerando que la agricultura ligada a la industrialización es una de las ramas esenciales del desarrollo y para países subdesarrollados como el nuestro es de vital importancia. Por lo que a través de la demanda del nuestra país y lo necesario para una dieta alimentaria de nuestro producto como es; aceite crudo de sésamo se proporciona dicha alternativa de producción industrial dándole el uso eficiente a la materia prima y hacer que la demanda de esta semilla aumente considerablemente en el mercado interno, para así incrementar la producción en nuestro país.

1.4.1. PROBLEMA GENERAL

El presente trabajo surge por la necesidad de aplicar los conceptos teóricos y metodológicos de conservación de esta materia prima; resaltando la existencia de materia prima en nuestro país, así mismo se logrará desarrollar la investigación de esta semillanutritiva, para la dieta alimentaria.

Además de ser un alimento sano y nutritivo debido a su alto contenido en grasa y carbohidratos; el sésamo tiene una gran fuente de vitaminas E, contiene también micronutrientes como, calcio, zinc y hierro, por lo que la transformación de esta materia prima sería de mucha importancia además esto permitirá la comercialización a un precio aceptable y garantizará a los productores de sésamo del país, como materia prima para la industria.

1.4.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

- Como se determinará las características fisicoquímicas de la semilla de sésamo.
- De que manera se validará el proceso de extracción del aceite de sésamo con n-hexano, fijando las condiciones y variables en operación.
- Como se cuantificará el rendimiento promedio del aceite crudo de sésamo extraído.
- Como se identificará las corrientes de entrada y salida del diseño experimental.
- De que manera se determinará las propiedades fisicoquímicas del producto intermedio.
- Como se cuantificará los ácidos grasos insaturados y saturados presentes en el aceite crudo de sésamo.

1.5. PLANTEAMIENTO DEL HIPÓTESIS

Aplicando el método de extracción por solvente a escala de laboratorio; se extraerá aceite crudo a partir de la semilla de sésamo o ajonjolí, se podrá obtener como un producto intermedio derivada del aceite refinado. La semilla de sésamo pasa por diferentes operaciones de selección, secado, molienda y tamizado aplicando buenas prácticas de manufactura. Posteriormente la semilla de sésamo será sometido a la operación de extracción y destilación para la obtención del aceite crudo para cuantificar el rendimiento de esta semilla.

2.1. DEFINICIÓN

La palabra **aceite** 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. En nuestro organismo los aceites tienen una función vital y constituyen una de las más importantes fuentes de energía, indispensable para mantener el equilibrio de lípidos, colesterol y lipoproteínas que circulan en la sangre, proporcionando vitaminas A, D, E y K, además de aceites esenciales que nuestro organismo no puede producir.

Los aceites son tri-ésteres de ácidos grasos y glicerol, llamados triglicéridos. Los aceites provienen tanto del reino animal como del vegetal. La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95% de triglicéridos y 5% de ácidos grasos libres, de esteroides, ceras y otros componentes minoritarios.

Los ácidos grasos insaturados son los siguientes

- Ácido linoleico **C18:2**
- Ácido linolénico **C18:3**
- Ácido oleico **C18:1**
- Ácido palmitoleico **C16:1**

Estos ácidos son los llamados ácidos grasos insaturados o ácidos grasos esenciales, ejercen efectos beneficiosos para la salud no solo reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares, sino que contribuyen también al mantenimiento de las funciones mentales y visuales. Dentro de esta clasificación entran los ácidos mono insaturados y los poliinsaturados. Estos provienen en general del reino vegetal (a excepción del pescado que es muy rico en poliinsaturados). También son aceites de gran importancia, los omega 3 y los omega 6, que son poliinsaturados, muy abundantes en peces de aguas heladas y algunos vegetales.

Los ácidos grasos saturados son los siguientes:

- Ácido esteárico **C18:0**
- Ácido palmítico **C16:0**

Este tipo de grasas provienen del reino animal - excepto el aceite de coco y el de cacao- y son sólidas a temperatura ambiente. Su consumo está relacionado con un aumento del colesterol sanguíneo y con la aparición de enfermedades cardiovasculares.(Gálvez, 2007)

2.1.1. La diferencia de aceite: sonde acuerdo a los diferentes procesos que son sometido; que son los siguientes:

- **Aceite vegetal.-** Es un producto constituido por esteres glicéricos de ácidos grasos y sus fosfatitos asociados, esteroides, alcoholes, hidrocarburos y pigmentos, obtenidos de semillas oleaginosas o frutos por procesos industriales tales como extrusión, presado en frío, calentamiento con vapor de agua, o cualquier combinación adecuada de esos procesos.
- **Aceite vegetal crudo.-** El aceite vegetal es fundamentalmente aquel que proviene de la extracción por solvente, que contiene los elementos que le son propios, y cuya composición es la que corresponde a la cosecha y a la procedencia de las semillas oleaginosas o frutos de los que fue extraído.
- **Aceite vegetal neutralizado.-** El aceite vegetal crudo que ha sido sometido a procesos de eliminación de mucilagos y des acidificación por medios físicos o químicos, hasta que el valor de la acidez cumpla con lo indicado por la norma de especificaciones que corresponda.
- **Aceite vegetal semirrefinado.-** El aceite vegetal crudo que ha sido sometido a los siguientes procesos: eliminación de mucilagos y des acidificación por medios físicos o químicos, decoloración y filtrado.

- **Aceite vegetal refinado.-** El aceite vegetal semirrefinado que ha sido sometido a procesos de Desodorización y eventualmente enfriado y filtrado.

2.2. CARACTERISTICAS DE LA MATERIA PRIMA

El sésamo (*Sesamum indicum*) es una planta oleaginosa cuyo cultivo se ha extendido a todas las regiones tropicales y subtropicales del planeta. Las semillas de sésamo son apreciadas en muchos países por su sabor, su aporte de nutrientes como calcio y hierro y sus amplias propiedades.

Las semillas si bien aportan una buena cantidad de calorías, también es cierto que presentan múltiples beneficios a la hora de realizar un tratamiento para adelgazar. Esto se debe a los principios activos que contienen. Una de estas semillas es el sésamo o ajonjolí, el cual aporta componentes que permiten bajar de peso en forma natural. (Layrisse, 1997)

2.3. ORIGEN

La semilla de sésamo se origina en África y Asia y desde allí se extendió el cultivo de estas oleaginosas. En Mesopotamia, en la India, en Egipto, en China y en Grecia, sus semillas eran muy apreciadas como un alimento exquisito y energético. Ampliamente cultivado en los países de Oriente Medio y en la India, su cultivo se ha extendido a otras regiones tropicales y subtropicales.

Es una planta herbácea de la familia de las Pedaliáceas, que alcanza hasta 1.5 metros de altura. Sus frutos son unas capsulas algodonosas que contienen varias semillas aplanadas de 2 a 5mm de longitud, normalmente son marrones; aunque las hay también de color blanco, rojo y negro, existe una amplia variedad de semillas de ajonjolí que se cultivan en México, que son utilizadas dependiendo de las condiciones de suelo de cada estado.

El sésamo o ajonjolí es una planta que produce una semilla que da un aceite comestible de primera calidad, de color amarillento con tonalidades verdes, semejante, para usos culinarios, al de oliva, y que también puede ser utilizado para fines de perfumería y para la fabricación de jabones. (FAO)

Es una planta de muy difícil cultivo, que se ha extendido mucho en América, remunerativa y ventajosa, sobre todo para los agricultores de clima templado- cálidos que están lejos de toda comunicación, pues su cosecha es fácilmente transformada en aceite de gran demanda por sus diversas aplicaciones, y el residuo o torta, queda luego de su elaboración, tiene aplicación inmediata en la alimentación del ganado. Por otra parte, esta planta no es atacada por ningún parásito y requiere poco personal para su cuidado. (APAMI.)

2.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

El Ajonjolí es una planta dicotiledónea que pertenece a la familia de las Pedaliáceas. Es una planta tupida que crece en forma recta, y alcanza una altura entre 1 y 2 metros. El período vegetativo generalmente es de 3 a 4 meses. Esta planta oleaginosa proviene de África tropical y fue llevada hacia la India y China, donde se está cultivando hoy en día.

La raíz principal del tronco es muy fuerte y posee raíces secundarias que forman una red que alcanzan hasta 1 metro de profundidad, estas entran en simbiosis con hongos, lo cual le permite una buena nutrición y absorción de agua. El tallo es cuadrado y según el tipo presenta muchas ramificaciones, como pocas. De las tres florescencias entre las axilas foliares, generalmente crecen las del medio y forman entre 4 y 10 cápsulas en forma de abanico. La cápsula madura se raja desde arriba hacia abajo en las paredes de separación, para así dejar las paredes centrales libres las cuales contienen la semilla. El peso de mil granos es de 2,5 – 3,2 g. La semilla es blanca, amarilla, roja, marrón o negra. El tiempo de maduración es corto, de 80 a 130 días. La fase de floración y maduración se produce en la planta de abajo hacia arriba y dura varias semanas. (Helmut, 2009)

2.5. VARIEDADES DE SESAMO

Realmente en la actualidad se cultivan cuatro variedades de semilla de ajonjolí: la blanca, la amarilla, la trigüeña, la negra. Las dos primeras dan aceite de mejor calidad y producen del 2% al 4% de mayor cantidad con respecto a las variedades de color oscuro. La variedad blanca y amarilla alcanzan un desarrollo vegetativo apreciable; la trigüeña es mucho más precoz que las de color claro, la negra es la que producen mayor rendimiento de semilla, en peso, y es la más rústica, pero el aceite que se extrae de ellas es de calidad mediocre.

La semilla de la variedad oscura se ha de cocer antes de prensarlas para eliminar las materias colorantes que le dan al aceite un color negruzco, desmereciéndolo. (Helmut, 2009)

La variedad blanca, según la dirección de agricultura de Guatemala, que alcanzan un gran desarrollo, producen abundante número de ramas y sus granos tienen 3 milímetros de largos por 1,75mm. de ancho y 5mm de grueso; es una variedad tardía, pues su periodo evolutivo dura de cuatro a cinco meses y es muy exigente en cuanto a la riqueza de los suelos.

2.6. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

2.6.1. FAMILIA:

Pertenece a la familia de la Pedaliácea es una familia de plantas de fanerógamas clasificada en el orden Lámiales. Se caracterizan por tener pelos mucilaginosos en tallos y hojas que le dan una sensación fangosa o húmeda, tienen a menudo, frutos con ganchos. (Martínez, 1943)

2.6.2. NOMBRE CIENTÍFICO: Sesamum indicum

2.6.3. Planta: El sésamo o ajonjolíes una planta herbácea ampliamente cultivada en los países de Oriente. La planta se ramifica muy poco y no alcanza los dos metros. Las vainas son indehiscentes, quiere decir que no se abren cuando son maduras. Esto da la posibilidad de que la semilla madure, estando la planta en pie y después se puede cosecharla mecánicamente.

2.6.4. Suelo: El sésamo es una planta que se adapta a cualquier tipo de suelo. Pero la experiencia muestra que necesita un suelo fértil y profundo. Suelos arenosos y fértiles son los mejores para el sésamo.

2.6.5. Siembra: Todo el mes de Octubre hasta fines de Enero. Siembras más tempranas y más tardías corren el peligro de que la planta quede mas chico por razones de días cortos. Semilla: Entre 3 - 4 kg por ha en siembras mecánicas con sembradora. La sembradora eléctrica se acomoda sobre una sembradora convencional para 4 hileras y se puede hacer una buena siembra. Siembra al voleo en parcelas pequeñas: Si no se dispone de una

sembradora, se puede echar la semilla al voleo en la parcela ya preparada. Después de echar la semilla se pasa con una rastra liviana o con carpidor a caballo para cubrir la semilla con tierra.

2.6.6. Profundidad de siembra: De 3 - 5 cm. Es una semilla pequeña, pero tiene un poder de germinación bastante fuerte. Poniendo la semilla algo más profundo, 3 - 5 cm, en el suelo, queda por más tiempo en tierra húmeda u puede germinar mejor. Es importante evitar la siembra con tierra muy húmeda.

2.6.7. Cosecha: El sésamo para cosecha manual necesita exactamente 4 meses desde la siembra hasta la cosecha. Con 4 meses las plantas ya se vuelven amarillentas y las hojas se caen. Las vainas se secan de abajo para arriba. Cuando se secan las primeras vainas y la mayoría de las hojas ya se cayeron al suelo, es hora de cosecharlo. Es importante tener en cuenta de que se puede cosechar el sésamo antes que la planta madure bien. Cuando la planta tenga todavía muchas hojas y tiene flor todavía. En este caso una parte de la semilla no se desarrolló todavía y se pierden en la limpieza posterior de la semilla. Además estas semillas semimaduras tienen un color marrón, que perjudican la calidad de la semilla. Para la cosecha manual es de fundamental interés que las hojas se caen al máximo, pues así se puede estar seguro de que las semillas estén todas maduras. Por otro lado se debe saber que la maduración de la planta va muy rápido, una vez que echó la hoja.

2.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA DE SESAMO

La tabla 2.1 grafica la composición química de la semilla de sésamo por cada 100 gramos de semilla crudo. (Guillot, 2009)

Tabla 2.1**Composición química de la semilla de sésamo según diferentes autores**

Nutriente	Ajonjolí
Fibra	12 gr
Proteína	20 gr
calorías	598 Kcal.
grasas insaturadas	58 g
Calcio	670 mg
Fósforo	629 mg
Potasio	468 mg
Hierro	10 mg
Sodio	11 mg
Zinc	6 mg

Fuente: Gonzalo Guillot, 2009

El sésamo tiene elevada cantidad de proteínas y de grasas insaturadas que contienen sus semillas son útiles para reducir los niveles de colesterol sanguíneo. Mejor aún, el sésamo es fuente de calcio, hierro y zinc, lo que contribuye a beneficios varios para la salud que van desde la formación de huesos hasta la mejor metabolización de los hidratos de carbono.

2.8. PROPIEDADES NUTRITIVAS

2.8.1. CARACTERÍSTICAS

Las semillas de sésamo poseen una cantidad elevada de proteínas además de ser ricas en metionina, un aminoácido esencial. Las grasas que contiene son 'grasas buenas', es decir, grasas insaturadas, lo que junto a su contenido en lecitina convierte a las semillas de sésamo en un alimento que contribuye a reducir los niveles de colesterol sanguíneo.

Además, son fuente de diferentes minerales como el calcio, que interviene en la formación de huesos y dientes, 100 grs. de sésamo integral contienen 1500 mg. de calcio de fácil

asimilación, superando a la leche entera que contiene sólo 120 de muy baja asimilación. También contiene hierro, que desempeña numerosas e importantes funciones en el organismo, y el zinc, mineral que participa en el metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas. (Castro, 2009)

2.8.2. VALOR NUTRITIVO

Las semillas de sésamo contienen una amplia variedad de principios nutritivos de alto valor biológico. Tienen un 52% de lípidos, de los cuales el 80% son ácidos grasos insaturados, principalmente omegas 6 y 9, lo cual les confiere una gran eficacia en la regulación del nivel de colesterol en sangre. Entre estos lípidos se encuentra la lecitina, grasa fosforada que desempeña una importante función en el organismo. El sésamo tiene un 20% de proteínas, de alto valor biológico, formadas por 15 aminoácidos distintos con una elevada proporción de metionina (uno de los 8 aminoácidos esenciales). A nivel de vitaminas, el sésamo posee dos del complejo B (B1 o tiamina y B2 o riboflavina), en cantidad mucho más elevada que cualquier otra semilla oleaginosa. También aporta buena cantidad de vitamina E (tocoferol), que es antioxidante y responsable de los siguientes procesos orgánicos: retardar el envejecimiento, reducir la tasa de colesterol, eliminar los metales tóxicos, mantener el tono muscular y nervioso, la fertilidad, la virilidad y el índice de coagulación. Además el sésamo posee vitaminas B3, B5, B6, K, ácido fólico, biotina, inositol y colina.

En minerales es donde el sésamo se destaca, sobre todo por su alto contenido de calcio biodisponible, cuyo tenor es superior a cualquier alimento natural. Pero la relevancia del sésamo respecto a los lácteos, es que también está bien dotado de los minerales necesarios para que ese contenido de calcio pueda ser fácilmente asimilado por el organismo; nos referimos al magnesio, el fósforo, el silicio, el cinc, el cobre y el boro. Además el sésamo posee la mayoría de los demás nutrientes sinérgicos al calcio: ácidos grasos esenciales, vitaminas y aminoácidos. (Castro, 2009)

2.9. CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE DE SESAMO

El aceite de sésamo o ajonjolí, no es un aceite masivamente consumido, pero no por ello menos nutritivo. Por lo contrario es un aceite que contiene principios nutritivos de alto

valor biológico. Este brinda entre otros beneficios los de reducir el colesterol en sangre y proteger el sistema cardiovascular. Lo importante a tener en cuenta con el aceite de ajonjolí es que este debe ser de primera presión en frío y sin proceso de refinamiento.

El aceite de sésamo es un aceite vegetal derivado de las semillas de sésamo (llamadas ajonjolí), tiene un aroma distintivo y su sabor recuerda a las semillas de que procede. Se emplea como aceite de cocina en las diferentes cocinas como reforzador del sabor.

El aceite se extrae por prensado de las semillas o por extracción con disolventes y debe comprarse sin refinar para poder beneficiarse de todas sus propiedades. El ácido graso predominante es el linolénico (alrededor del 45%) seguido del oleico (40%) y pequeñas cantidades de ácido palmítico (10%) y esteárico. (Osorio, 2008)

2.9.1. COMPONENTES Y PROPIEDADES DEL ACEITE DE SÉSAMO

El aceite de sésamo es de alta calidad, como propiedades nutricionales es rico en ácidos grasos poliinsaturados ricos en omega 3-6, lo cual ayuda a disminuir el colesterol en la sangre. Contiene Zinc y gran cantidad de minerales. Su gran aporte de vitamina E ayuda, además del beneficio vitamínico para el consumidor, el aceite de sésamo contiene fosfolípidos y lecitina; esto es vital para el pensamiento y la memoria.

En la siguiente tabla 2.2 se muestra la composición porcentual de ácidos grasos del aceite de sésamo, determinado a través de la cromatografía gaseosa.(Castedo, 2010)

Tabla 2.2**Composición porcentual de ácidos grasos en el aceite de sésamo**

Ácidos grasos	Nomenclatura	Mínimo	Máximo
Palmítico	C16:0	7.0 %	12.0 %
Palmitoleico	C16:1	trazas	0.5 %
Estearico	C18:0	3.5 %	6.0 %
Oleico	C18:1	35.0 %	50.0 %
Linoleico	C18:2	35.0 %	50.0 %
Linolénico	C18:3	trazas	1.0 %
Eicosenoico	C20:1	trazas	1.0 %

Fuente: Castedo, 2010

El aceite sésamo corresponde al grupo de los ácidos oleico-linoleico, están formados predominantemente por ácidos grasos insaturados y en la mayor parte de los casos, estos aceite oleico-linoleico son excelentes aceite comestibles.

El ácido oleico y el ácido linoleico (omega-6) son compuestos que nuestro organismo sintetiza de distintos alimentos y como no siempre se consumen alimentos ricos en estos compuesto es necesario introducirlos en nuestra dieta diaria alimentaria.

2.9.1.1. PROPIEDADES DEL ACEITE SÈSAMO

Las propiedades del aceite de sésamo son las siguientes (Osorio, 2008):

- Revitaliza la piel y se aplica en los tratamientos contra la flacidez.

- Muy útil en forma de mascarilla para el cabello cuando hay mucha sequedad o costras en el cuero cabelludo.
- Últimamente se está valorando mucho su eficacia como filtro solar ante las radiaciones UVB. Si además añadimos que favorece el bronceado natural y que hidrata la piel, ya tenemos la clave de su éxito cuando llega el verano.
- El aceite de sésamo lo utilizan como aceite de masaje y la verdad es que si además el aceite de sésamo está tibiecito la experiencia es única.
- Para los pies fríos. Es curioso como masajear un par de minutos al día los pies con unas gotitas de aceite de sésamo nos ayuda a tenerlos calientes casi todo el día.
- A nivel externo también se usa mucho para dolencias reumáticas.
- El aceite de sésamo contiene fosfolípidos y lecitina y esto es vital para el pensamiento y la memoria ya que si el cerebro de una persona sana tiene entre un 20 a 25 % de fosfolípidos el de una persona con alguna enfermedad mental apenas suele llegar al 10 %.
- Este aporte en lecitina y ácidos grasos poliinsaturados es muy interesante para luchar contra el colesterol.
- Alivia el dolor de oídos, sobre todo cuando tenemos la sensación de frío. Añadiremos un par de gotitas del aceite de sésamo tibiecitas en cada oído.

2.9.2. ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL ACEITE DE SESAMO

Entre los análisis físico-químicos mas importante que se debe realizar al aceite crudo de sésamo, se encuentran los siguientes:

- ❖ Acidez Total.- Es el contenido de ácidos grasos libres, expresados como ácidos oleico en gramos por cien.
- ❖ Índice de Peróxidos.- Es el numero de mil equivalentes de oxígeno activo contenidos en 1000gr de grasa animal o aceite vegetal.
- ❖ Humedad.- Es la pérdida de masa, comprende el contenido de agua, materias volátiles y el aumento de masa debido a oxidación, expresada en gramos por 100, de un aceite vegetal sometido a calentamiento.

- ❖ Densidad.- Es la relación entre el peso y el volumen que ocupa el aceite, y en este caso esta afectada por la temperatura.

Tabla 2.3
Especificaciones del aceite crudo de sésamo

<u>Análisis:</u>	<u>Rango:</u>	<u>Perfil de Ácidos Grasos:</u>	<u>Nombre:</u>	<u>Rango:</u>
Sedimentos	0.01% max.	C18	Esteárico	3.6 - 6%
Contenido de humedad	0.15% max.	C18:1	Oleico	35 - 50%
Densidad (20°C)	0.916 - 0.925 gr/ml	C18:2	Linoleico	35 - 50%
Índice de Yodo	103 - 125			
Índice de Peróxidos (meq. O₂/Kg)	Max. 20			
Valoración de la saponificación	188 - 198			
Acidez total (en ácido oleico gr/100gr)	Max. 3.5 - 4			
Japón (ppm)	Max. 50			
Índice de refracción (20°)	1.472 - 1.4786			
Tiempo de conservación	6 meses			

Fuente: Velásquez, 2008

2.9.3. PRINCIPAL USO DEL ACEITE VEGETAL DEL SESAMO

El aceite de sésamo es comúnmente utilizado en gastronomía, suele emplearse en la cocina en la fritura, donde funciona como medio transmisor de calor y aporta sabor y textura a los alimentos. Uno de los requisitos del aceite de cocina es que sea estable en las condiciones verdaderamente extremas de fritura por inmersión.

En la industria cosmético, el aceite de sésamo es utilizado con fuente humectante para la piel y el cabello, siendo la materia principal en la elaboración de cremas, pomada, bálsamos, labiales, aceite para masajes, tónicos solares, lociones para después de afeitarse.

El mayor uso del aceite de sésamo en preparados farmacéuticos es como solvente en inyecciones intramusculares de liberación sostenida de ciertos esteroides. El aceite de sésamo también es utilizado como solvente en preparaciones de inyecciones subcutáneas, cápsulas de uso oral y rectal y preparaciones oftálmicas; asimismo se puede utilizar en la

formulación de suspensiones y emulsiones. Además, se ha usado en la preparación de linimentos, pastas, ungüentos y jabones. (Gálvez, 2007)

El aceite de sésamo es más estable que otros aceites y no se torna rancio fácilmente; esto se ha tribuido al efecto antioxidante de algunos de sus constituyentes como la sesamina.

2.10. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL ACEITE DE SESAMO

Los factores que afectan la calidad del aceite de sésamo, son aquellos que producen procesos como la oxidación, la hidrolisis que se refleja en el aumento de la acidez del mismo y el inadecuado acopio o almacenamiento de las semillas. Así, no es aconsejable el contacto con la luz, el agua, el aire, restos metálicos ni las altas temperaturas. (Richardson, 2003)

- Oxidación.- es una reacción natural degenerativa, no deseada, que conduce a un enranciamiento del aceite. Dicho enranciamiento produce una serie de alteraciones en el sabor y en el olor. Hay un tipo de oxidación, llamadas no inducidas, que se produce de manera natural, y que esta directamente relacionada con la instauración, a mayor instauración mayor riesgo de oxidación. Este tipo de oxidación es de dos tipos
 - a) Foto oxidación.- oxidación producida por el oxígeno atmosférico activada por la luz.
 - b) Auto oxidación.- oxidación desencadenada por un iniciador que puede ser un compuesto formado por la oxidación o por trazas de metales.
- Hidrolisis.- la humedad presente o añadida en el sésamo, ataca a los triglicéridos (componente principal del aceite) produce glicerina y ácidos grasos libres que aumentan la acidez, esta reacción se da a una temperatura concreta y con la presencia de enzimas. Se produce un aumento de la acidez del aceite como consecuencia de los procesos hidrolíticas.
- Inadecuado almacenamiento de las semillas.- debe tenerse mucho cuidado al almacenar las semillas cuidando el adecuado contenido de humedad, evitando la

exposición a las condiciones atmosféricas, como viento y polvos, lo cual influyen en el desarrollo de microorganismos o vectores que dañan las semillas del sésamo.

La obtención de un aceite de calidad conlleva la vigilancia de todos procesos de su elaboración, desde el acopio de la semilla hasta el envasado y el almacenamiento del aceite.

2.11. TEORIA DE EXTRACCION SOLIDO-LIQUIDO

La extracción solido-liquido usando solventes orgánicos es la de mayor rendimiento, por lo que analizaremos este proceso.

2.11.1. DEFINICION

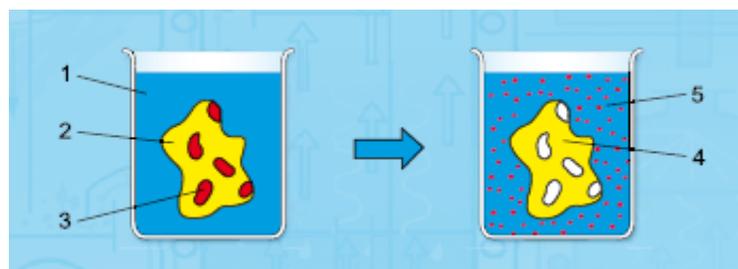
La extracción sólido - líquido, es una operación de la ingeniería química que se usa en numerosos procesos industriales.

Técnicamente, es una operación de transferencia de masa, donde un disolvente o mezcla de éstos, extraen selectivamente uno o varios solutos que se hallan dentro de una matriz sólida. Con la extracción sólido-líquido se puede extraer componentes solubles de sólidos con ayuda de un disolvente. Campos de aplicación de esta operación básica son, por ejemplo, la obtención de aceite de frutos oleaginosos o la lixiviación de minerales.

La extracción tiene lugar en dos etapas:

1. Contacto del solvente con el sólido o tratar, que cede el constituyente soluble (solute) al disolvente.
2. Lavado o separación de la disolución del resto del sólido.

A continuación se muestra un esquema del proceso de extracción.



Antes de la extracción

Después de la extracción

Esquema de la extracción; antes de la extracción (izquierda) y después de la extracción (derecha): 1 disolvente, 2 material de extracción (fase portadora sólida con soluto), 3 soluto, 4 fase portadora sólida lixiviada, 5 disolvente con el soluto de transición en él disuelto. (Tadeo, 2001)

2.11.2. VARIABLE QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE EXTRACCION

- **Temperatura de extracción.-** Siempre es un factor favorecedor del proceso para la velocidad de extracción. Y por lo general a de realizarse a la temperatura de ebullición del solvente, para el caso del n-hexano cuya temperatura de ebullición es de 69°C, de modo que se produce a temperaturas elevadas la viscosidad del liquido es menor y mayores las difusividades; esto incrementa la rapidez de extracción.

- **Tiempo de extracción.-** El tiempo de extracción es un factor muy importante y debe ser suficiente para permitir la separación de los compuestos de interés, aunque se debe prestar cuidado para que no sea excesivo, por lo que se determinara el tiempo optimo de extracción.

Sin embargo el tiempo de extracción esta relacionado con el tamaño de la partícula y la calidad del solvente, para alcanzar un determinado rendimiento y tiene su efecto en el tamaño de los equipos de extracción y en el costo de producción.

- **Tamaño de la partícula.-** Es importante tener un tamaño adecuado de la partícula solidas, de tal manera que se tenga un material particulado que se alcance una buena superficie de contacto, sin ser un material muy fino que dificulte su manipulación e incremente la energía para su reducción de tamaño. De ahí la importancia del tamaño de la partícula para incrementar el área de contacto entre solido y el liquido extractor, favoreciendo la velocidad de transferencia de materia del solido al solvente. Así mismo, se ve favorecida la difusión del soluto hacia el solvente por la menor distancia que ha de recorrer el soluto por el interior del solido.

Generalmente, es aconsejable que la gama de tamaños de partículas sea pequeña y homogénea, para que cada partícula requiera aproximadamente el mismo tiempo de extracción, y particularmente debe evitarse la producción de gran cantidad de finos, ya que este puede alojarse en las aberturas de las partículas de mayor tamaño, impidiendo así el flujo del disolvente.

- **Selectividad del líquido extractor o solvente.-** El líquido escogido debe ser un solvente selectivo, con una viscosidad lo suficientemente baja para facilitar su flujo a través del sólido y de bajo punto de ebullición para que el extracto pueda concentrarse por la evaporación del solvente. Por lo general, se utiliza un solvente relativamente puro, pero a medida que transcurre la extracción, la concentración del soluto aumentará y la velocidad de extracción disminuirá progresivamente, en primer lugar debido a la disminución del gradiente de concentración y en segundo lugar por el aumento de la viscosidad de la disolución.
- **Agitación del fluido.-** La agitación del solvente es importante, ya que aumenta la difusión de remolino, incrementando la transferencia del material desde la superficie de las partículas hacia la masa de la disolución. Además la agitación evita la sedimentación, con las suspensiones de pequeñas partículas y hace que se utilice de una forma más eficaz la superficie de contacto. (Richardson, 2003)

2.12. LOS DIFERENTES PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCION DE ACEITE CRUDO DE SESAMO

El aceite está contenido en pequeñas celdas dentro de la semillas oleaginosos debe romperse para extraerlo ya sea por medios mecánicos, químicos, etc.

2.12.1. EXTRACCION DE ACEITE CRUDO DE SESAMO

La extracción en laboratorio constituye de la siguiente manera:

2.12.1.1. EXTRACCION SOXHLET

La extracción soxhlet fue diseñada por el químico alemán Franz Von Soxhlet en 1897. Este equipo se utilizara para realizar una extracción sólido líquido en caliente. La extracción sólido-líquido, se emplea cuando la sustancia que se desea extraer está contenida en un material sólido, junto con otros componentes, los cuales deberán ser prácticamente insolubles en el disolvente utilizado. Es muy usada para aislar sustancias naturales de origen vegetal, o bien, de mezclas resinosas obtenidas por síntesis. Para esto, se suele emplear un aparato Soxhlet, que es un aparato de extracción continua (Ver la Figura 2.1. y el experimento correspondiente).

Figura 2.1.
Extractor Soxhlet



Fuente: Extractor Soxhlet

El extractor soxhlet es un equipo que suele utilizarse en experimentos de laboratorio, aunque en instalaciones de pequeña capacidad y otros de funcionamiento analogo tambien se aplica.

La gran ventaja del soxhlet es la eficiencia en el proceso de remojo de la fase solida, entonces lo que hace el extractor soxhlet es realizar un sinfin de extracciones de manera automatica, llegando siempre de manera pura al solido. (L.O.U. III, 2000)

2.12.2. EXTRACCION INDUSTRIAL DE ACEITE CRUDO DE SESAMO O AJONJOLI

El proceso industrial para la obtención de aceite crudo de sésamo tiene varias etapas de proceso: la recepción de la materia prima y la extracción del aceite crudo.

Este proceso comprende las siguientes etapas:

- Recepción.
- Limpieza y clasificación.
- Descascarado.
- Desección y molienda
- Extracción del aceite: (Por presión o por solvente)

➔ Refinación.

2.12.2.1. Recepción: La materia prima se recibe pesada, y se toman muestras para laboratorio, donde se hacen análisis de % de impurezas, % de grasa y % de humedad, básicamente.

2.12.2.2. Limpieza: La limpieza y clasificación de la semilla es importante porque, si el cuerpo extraño posee aceites puede hacer variar los índices característicos del aceite que se va a obtener. Esta tarea se realiza utilizando cernidores.

2.12.2.3. Descascarado: esta operación debe realizarse cuando la cascara impide la extracción de aceite, o bien cuando por no poseer materia grasa la absorbe en el proceso de extracción, disminuyendo el rendimiento y la calidad del subproducto. Ej. Girasol, soya y sésamo.

Se realiza con una descascaradora y luego por medio de una zaranda se separa la cascara de las semillas.

2.12.2.4. Desección y molienda: el secado se hace usando secadores verticales u horizontales, con la finalidad de que la humedad no supere ciertos límites, sobre los cuales influiría en el proceso de extracción.

En la molienda se desgarran las células para dejar en libertad el aceite contenido en la materia prima.

2.12.2.5. Extracción del aceite:

- **Por presión:** una vez que las semillas han sido molidas, se las somete al prensado. Las prensas pueden ser hidráulicas o discontinuas y continuas.

En la actualidad la extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas.

En recipientes calentadores de doble fondo se calienta las semillas molidas a temperaturas que oscilan entre 90 °C y 95 °C. El calentamiento busca eliminar el exceso de humedad de

la harina, con lo cual se aumenta el rendimiento al lograrse mayores presiones y facilitarse la fluidez del material trabajado.

Luego la semilla molida pasa a una cuba de acero, que posee en su interior un tornillo sinfín, en el cual, el número de espiras y el diámetro aumenta de un extremo al otro, viéndose la semilla molida obligado a pasar por espacios cada vez más reducidos, aumentando de esa manera la compresión se logra extraer el aceite.

El aceite obtenido se vierte a tanques de sedimentación, quedando como subproducto. Posteriormente por un proceso de filtración se elimina del aceite todo lo no sea materia grasa, (resto de sólidos, harina de molienda, materias mucilaginosas). Se obtiene de esta manera el aceite crudo, el cual se almacena en tanque o depósitos de hierro.

Los aceites industriales pueden usarse luego de esta operación, los aceites comestibles deben ser sometidos a una posterior refinación.

- **Por solvente:** este sistema se caracteriza por su gran rendimiento, poco empleo de mano de obra y fuerza motriz. Permitiendo la recuperación del solvente utilizado.

Para el eficaz cumplimiento de los fenómenos de ósmosis, difusión y extracción, la materia prima debe recibir una adecuada preparación. Esta consiste en el laminado de la misma, donde el material, sin sufrir extracción ni molienda, toma forma de láminas delgadas que favorecen la difusión.

La semilla laminada circula por una cinta transportadora, donde queda sometida a un rociado intenso del disolvente. La solución obtenida de aceite-solvente, denominada “micela”, es enviada a destilación para separar el aceite del solvente. A su vez la materia prima agotada se seca y tuesta para recuperar el resto del solvente.

El disolvente usado es hexano, siendo este el más inofensivo para la salud y el que produce aceite más puros.

El subproducto de esta extracción es la harina, con no más de 1-2 % de aceite. Por prensado de las harinas se obtienen los pellets.

- **Sistema combinado:** se hace una primera extracción utilizando el método por presión continua y luego una segunda extracción con solvente.

En el país cuando se usa solvente, se hace en forma combinada, siendo poco común el uso exclusivo del método por solvente.

2.12.2.6. Refinación: la finalidad de la misma es la eliminación de impurezas, tales como ácido grasos libres, sustancias proteicas, resinas, algunas aminas estables, carbohidratos y fosfáticos

Las operaciones son:

- **Neutralizado:** para reducir el grado de acidez de los aceites.
- **Decoloración o blanqueado:** para la obtención de un aceite claro, límpido y brillante.
- **Desodorización:** se eliminan del aceite las sustancias que tienen olores y sabores desagradables.

El aceite de oliva generalmente no se lo somete a este proceso siendo consumido como aceite crudo.

2.12.2.7. Envasado: previo al envasado se lo estaciona en tanques especiales (de acero inoxidable), para luego realizar las mezclas o bien dejarlo puro. (León, 2003)

2.13. EXTRACCION POR PRENSADO

Es el procedimiento más antiguo y casi único de extracción de aceite que se basa en la aplicación de la presión sobre una masa de productos oleaginosos confinados bolsas, telas u otros artificios adecuados.

En la actualidad la extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas.

Estas prensas de aceite se caracterizan por su alta producción, diseño simple, y operación sencilla y continua. Pueden utilizarse para diversos tipos de semilla oleaginosos.

Durante el prensado de semillas oleaginosas no se originan sustancias contaminantes relevantes para el medio ambiente. En la prensa, se consume energía y se exprime con acción mecánica, con fricción, desgaste, genera calor y va sacando el aceite de una partícula va deslizando contra superficies metálicas, con una presión importante. Cuanto más aceite quiero sacar más presión debo hacer. (Giménez)

Las prensas hidráulica y de tornillo se utilizan para la extracción de aceites.

- a. Prensa hidráulica proceso discontinuo.
- b. Prensa tornillo (industria aceitera expulsor) o rodillo, proceso continuo.
- c. Prensa hidráulica, prensa de platos o prensa de jaula.

2.14. EXTRACCION EN FRIO

La extracción de la aceite de sésamo también se realiza mediante aparatos mecánicos, utilizando prensas. En este caso particular la extracción se lleva a cabo en un extrusor a tornillo sin fin, vigilando especialmente que temperatura generada por la presión no supere los 45°C, por lo que se denomina prensado en frío, asegurando así la estabilidad molecular de los ácidos grasos poliinsaturados y evitando la disolución de ceras y otras sustancias y además ayuda al aceite a mantener su estado original, constituyentes e intensidad. (Giménez)

2.15. EXTRACCION SUPERCRITICA

La extracción supercrítica es una operación unitaria de transferencia de masa que se efectúa por encima del punto supercrítico del solvente.

En este estado, la línea de separación de fases líquido-gas se interrumpe. Esto implica la formación de una sola fase en la que el fluido tiene propiedades intermedias entre las de un líquido y las de un gas: así pues, mientras se mantiene una gran difusividad (propia de los gases), se consigue una alta densidad (cercana a la de los líquidos).

La extracción por medio de fluidos supercríticos es una alternativa muy interesante para realizar la obtención y purificación de compuestos muy específicos sin utilizar compuestos tóxicos.

Al igual que los gases, la densidad de los fluido supercrítico varía enormemente con la presión y la temperatura, aunque se alcanzan densidades muy cercanas a las de los líquidos. Así pues la propiedad más característica de los fluidos supercríticos es el amplio rango de altas densidades que pueden adoptar dependiendo de las condiciones de presión y temperatura (a diferencia de los líquidos que son prácticamente incompresibles y de los gases que poseen densidades siempre muy bajas). (Rocha)

2.16. DISEÑO EXPERIMENTAL

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida

El diseño experimental es un medio de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura. Otras aplicaciones del diseño experimental, en una fase temprana del desarrollo de un proceso, puede dar por resultado: mejora en el rendimiento del proceso, menor variabilidad y mayor apego a los requerimientos nominales u objetivo, menor tiempo de desarrollo y menores costos globales (Montgomery, 1991).

2.16.1. DISEÑO FACTORIAL

Entendemos por diseño, la utilización de un plan organizado que se aplica en forma sistemática métodos estadísticos para modificar deliberadamente algunas variables previamente seleccionadas y estudiar o predecir sus efectos sobre una respuesta específica

Los diseños experimentales nos permite el estudio de varias variables en el tiempo, la interpretación de la interacción entre las variables con el propósito de seleccionar las más importantes y significativas, ofreciendo ventajas, entre ellas podemos citar el ahorro de tiempo y de recursos económicos (Montgomery, 1991).

3.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, “extracción de aceite crudo de sésamo por solvente”, fue realizado en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (L.O.U.), es una unidad de servicio dependiente del departamento de Procesos Industriales y biotecnológicos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

La materia prima, así como también los envases fueron adquiridos del mercado local y el reactivo fue comprado del Laboratorio RIMH- APROTEC

Los equipos y materiales utilizados, en calidad de préstamo, provienen del Laboratorio Operaciones Unitarias (L.O.U.) que pertenece a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. El análisis fisicoquímico y microbiológico de la materia prima y del producto fueron realizados en los laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), también se realizaron análisis en el laboratorio Centro de Alimento y Productos Naturales (CAPN) en el departamento de Cochabamba.

3.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, MATERIALES, MATERIA PRIMA E SOLVENTE

Los equipos y los materiales de laboratorio forman parte imprescindible en la obtención de los resultados por lo que se debe tener buen conocimiento del manejo y mantenimiento de estos instrumentos y equipos. La materia prima y el disolvente también deben ser utilizados con cuidado tomando en cuenta las buenas prácticas de manufactura.

3.2.1. EQUIPOS

Los equipos utilizados para la realización experimental del trabajo de investigación se describen a continuación

3.2.1.1. EXTRACTOR SOXHLET

Extractor de Grasas y Aceites “Det –Gras N”.

Marca: J.P Selecta. Origen: España. Es un equipo moderno de material de vidrio utilizado para la extracción de grasas o sustancias solubles mediante disolvente. Este equipo cuenta

con un refrigerante que esta provistode una chaqueta de 100mm de longitud, con espigas para la entrada y salida del agua de enfriamiento.

El extractor tiene una capacidad de 6gr de muestra, contando dos cartuchos de celuloso de 26 mm de diámetro exterior por 60 mm su capacidad de cada cartucho es de 3gr. También conteniendo dos vasos metálicos para la obtención del aceite crudo. (Figura 3.1)

Figura 3.1

Sistema de Extractor de grasa y aceite por solvente



Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas del extractor se presentan en el (Cuadro 3.1):

Cuadro 3.1

Características técnicas del extractor

Características	Detalle
Marca	J.P. Selecta
Modelo	CONTERM
Rango de precisión	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Capacidad máxima	270°C
Capacidad mínima	100°C
Potencia	2000W

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.1.1. Aplicaciones del Extractor de Grasas y Aceites “Det –Gras N”.

- Prácticamente en todos los análisis que incluyen la extracción Soxhlet pueden sustituirse los extractores de Soxhlet clásicos por este equipo moderno.
- Entre estos análisis están: la determinación del contenido de grasas en carnes, piensos, alimentos prefabricados, pescados, etc.
- También para la extracción de componentes solubles en pasta de papel, fibrastextiles, etc.

3.2.1.1.2. Características del Extractor de Grasas y Aceites “Det –Gras N”.

- Calefacción por resistencias eléctricas blindadas distribuidas por toda la superficie radiadores para asegurar el calentamiento de todas las muestras por igual.
- Grado de protección de la parte eléctrica IP65.
- Control de temperatura de seguridad.
- Permite la extracción con cartuchos de celulosa o de vidrio.
- Compatible para trabajar con los disolventes mas comunes: Éter de petróleo, Éter dietílico, Hexano, Acetano, etc.
- Tiempo de extracción normal (grasas alimentos) 50 minutos.

3.2.1.1.3. Especificaciones técnicas del Extractor de Grasas y Aceites “Det –Gras N”.

- Cartuchos de extracción de celulosa de 26mm de diámetro exterior por 60mm.
- Cartucho reutilizable de vidrio de 34mm de diámetro exterior por 60mm.
- Temperatura de trabajo de 100 a 270°C.
- Recuperación de disolvente: del 60 al 80%.
- Volumen de disolvente (por muestra): hasta 50ml.
- Tiempo de extracción (hirviendo): de 0 a 999 minutos.
- Tiempo de extracción (creciente): de 0 a 999 minutos.
- Tiempo de recuperación de disolvente: de 0 a 99 minutos.

3.2.1.2. ESTUFA

Este equipo fue utilizado para secar las semillas de sésamo, llegando a un contenido final de humedad entre 2-3%. La estufa consta de un regulador de temperatura que va desde 40-250°C. La distribución del calor en su interior es por convección natural. (Figura 3.2)

Figura 3.2
Estufa



Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas de la estufa se muestran en el (Cuadro 3.2):

Cuadro 3.2
Características técnicas de la estufa

Características	Detalle
Marca	J.P. Selecta
Modelo	CONTERM
Rango de precisión	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Capacidad máxima	250°C
Capacidad mínima	40°C
Potencia	2000W
Industria	Española

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3. TAMIZ VIBRATORIO

El tamiz vibratorio se utilizó en el análisis granulométrico de la muestra. Es un equipo de gran estabilidad sin necesidad de sujetar a la mesa de trabajo, así como de fácil manejo tanto de sus controles eléctricos, como en el intercambio de los tamices, cuenta con un juego de malas de 4; 2; 1; 0.5; 0.25mm y una bandeja de recepción de muestra. (Figura 3.3)

Figura 3.3
Tamiz vibratorio



Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas del tamiz vibratorio se muestran en el (Cuadro 3.3):

Cuadro 3.3

Características técnicas del tamiz vibratorio

Características	Detalle
Marca	ORTO ALRESA
Modelo	VIBRO
Tiempo de programación	5-60min
RPM	2500
Potencia	92W
frecuencia	50Hz

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4. BALANZA DIGITAL

Esta balanza se utilizó en todo el trabajo de extracción de aceite crudo de sésamo, la cual es útil para el pesaje en cada una de las etapas de obtención del aceite crudo. La misma cuenta con una calibración automática y una pantalla digital. (Figura 3.4)

Figura 3.4
Balanza digital



Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas de la balanza digital se muestran en el (Cuadro 3.4):

Cuadro 3.4

Características técnicas de la balanza digital

Características	Detalle
Marca	EUROPE
Modelo	SNRAA-2923
Rango temperatura	+15/ +30°C
Rango de precisión	0.01 gr.
Capacidad máxima	510 gr.
Capacidad mínima	1 gr.
Potencia	220W

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5. MOLINILLO ELÉCTRICO

El molino de carácter domestico fue utilizado para reducción de tamaño de la materia prima, pues de esa forma se aumenta la superficie de contacto, facilitando así el proceso de extracción. Este equipo esta provisto de las aspas metálicas accionadas por un motor eléctrico de 500W. (Figura 3.5)

Figura 3.5
Molino eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas de este molinillo eléctrico se muestran en el (Cuadro 3.5) son:

Cuadro 3.5
Características técnicas del molino

Características	Detalle
Marca	INTERNATIONAL
Modelo	IN-699PL
Fuerza electromotriz	220V
Potencia	500W
frecuencia	50Hz
Industria	china

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. MATERIALES DE LABORATORIO

Los materiales de laboratorio y otros de uso común fueron muy importantes, por que se utilizaron para los trabajos que necesitaban de precisión y para los trabajos complementarios antes, durante y después de la práctica experimental en la elaboración de nuestro producto. El detalle de los materiales empleados durante la realización del trabajo de investigación se muestra en la (Tabla 3.1).

Tabla 3.1
Detalle de los materiales utilizados

Materiales	Detalle	Capacidad	Cantidad
Termómetro	Mercurio	0-250°C.	1
Vaso de precipitación	Vidrio pvrex	80ml.	1
Probeta	Vidrio pyrex	50ml	1
Caja Petri	Vidrio pyrex	15*15cm	5
Corcho	Goma		16
Cepillo para lavar	Plástico	pequeño/mediano	1/1
Espátula	Acero inoxidable	pequeño/mediano	2
Recipientes	Acero inoxidable	5l	2
Tubos de ensayo	Vidrio pyrex	5ml	16
Vasos	Metálico	100ml	2
Cartucho	Celuloso	26mm	2
Fracos	Vidrio	450 ml.	5

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. MATERIA PRIMA

El aceite de sésamo es extraído de la semilla de sésamo, el sésamo es uno de los productos bolivianos de exportación que ha ganado éxito en los mercados internacionales. Las semillas de sésamo son apreciadas en muchos países por su sabor, su aporte de nutrientes como calcio y hierro y sus amplias propiedades y su alto contenido en grasa. (Figura 3.6)

Figura 3.6

Sésamo variedad *Blanco escoba, Nevada, Negro y Trébol*



Fuente: www.quinusaite.com.bo

La materia prima que se utilizó para el trabajo de investigación fue el sésamo, dicha materia prima envasado en la ciudad de la paz, fue obtenida del “Mercado Campesino” de la ciudad de Tarija. En condiciones bien representativa en bolsitas polietileno de peso 227gr que son producto natural de “Los Andes”.

Figura 3.7
Producto natural (sésamo)



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. REACTIVO

➔ n-HEXANO.- utilizado como solvente en la extracción del aceite crudo de sésamo.

En la tabla 3.2 a continuación se exponen las especificaciones de la n-hexano empleada en la extracción del aceite crudo de sésamo

Tabla 3.2 Especificación de la n-hexano

Producto: n-Hexano para análisis	Formula C₆H₁₄
Propiedades físicas y químicas	
Aspecto:	Líquido móvil, transparente e incoloro.
Olor	Característico
Densidad a 20°C	0.6603
Punto de ebullición	63-69°C
Punto de fusión	-95°C
temperatura de inflamación	-22°C
Temperatura de ignición	240°C
Limite de explosión	1,1/7,4 vol.%
solubilidad	Inmiscible con gua
Indicaciones de peligro	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilmente inflamable. ➤ Irritala piel. ➤ Nocivo: 	
Riesgo de efecto graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación.	
Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.	
Si es ingiere puede causar daño pulmonar.	
Inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo.	
Toxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.	

Fuente: Derivados Vínicos S.A.

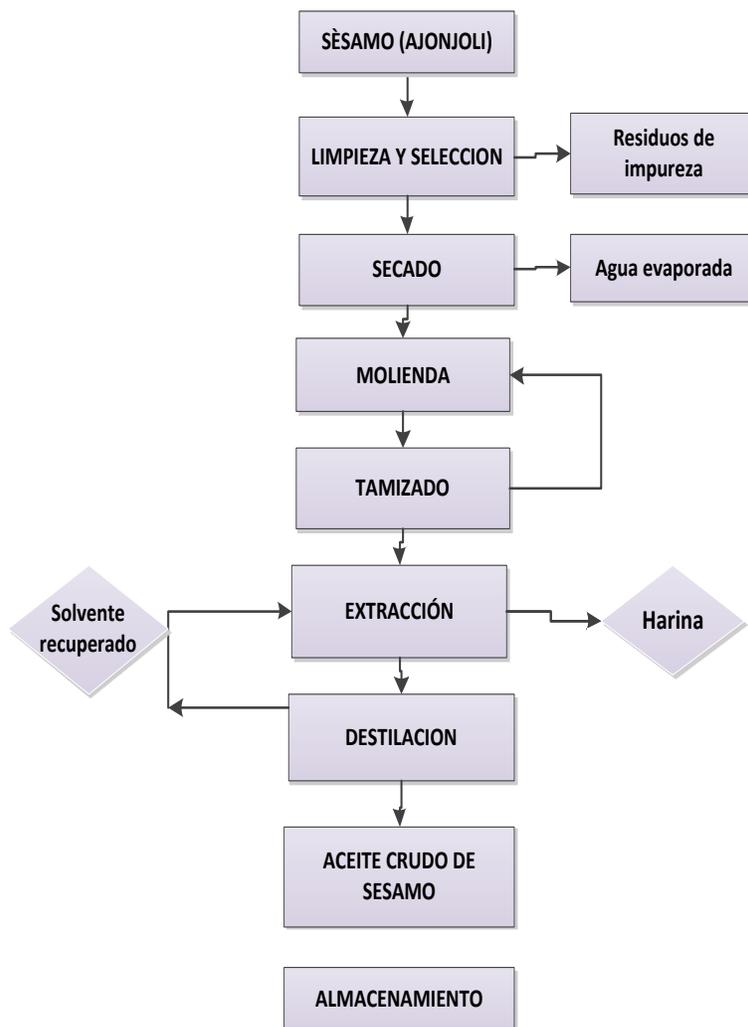
3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCION

El proceso de extracción a escala de laboratorio del aceite crudo de sésamo por solvente. El proceso de extracción constituye varios pasos.

3.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO

Existe un conjunto de operaciones que se refleja en el siguiente diagrama de flujo figura 3.8

Figura 3.8
Diagrama de flujo para la "Extracción de aceite crudo de sésamo por solvente"



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.1. ADQUISICIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El sésamo (ajonjolí) utilizada se compro del mercado local, “Mercado Campesino” que son productos natural de “Los Andes”. En cada bolsita polietileno contiene 227gr de sésamo. (Figura 3.9)

Figura 3.9
Materia prima (semilla de sésamo)



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2. LIMPIEZA Y SELECCIÓN

La limpieza y selección de la semilla de sésamo se realizo con la finalidad de eliminar impurezas y la cascarilla del sésamo. Para este procedimiento se utilizo un tamiz vibratorio con mala 2 mm (figura 3.10); que corresponde al número 9 en la serie Tyler, por un tiempo de 10min, donde por diferencia de tamaño se separan la semilla de sésamo.

Figura 3.10
Limpieza y Selección de la semilla de sésamo



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3. SECADO

El secado, este proceso es importante consiste en eliminar la cantidad de agua que contiene la semilla de sésamo, también ayudando en el proceso de molienda. Sometiendo la semilla de sésamo a una estufa con una temperatura 105°C , en un tiempo de 40min aproximadamente, hasta alcanzar una humedad entre 3 - 3.5%. (Figura 3.11)

Figura 3.11

Secado de la semilla de sésamo



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3.1 Determinación del tiempo de secado

Para determinar el tiempo de secado de la materia prima, se procedió a realizar una curva de secado: se peso una determinada cantidad de muestra, colocando en cajas Petri previamente taradas, llevando a la estufa a la a una temperatura de 105°C; cada 5min se procedió a sacar la muestra colocándola en el desecador, durante 10min para que se estabilice hasta alcanzar peso constante. El procedimiento se repitió hasta que las variaciones entre dos pesada sucesivas no excedan de 0.001mg.

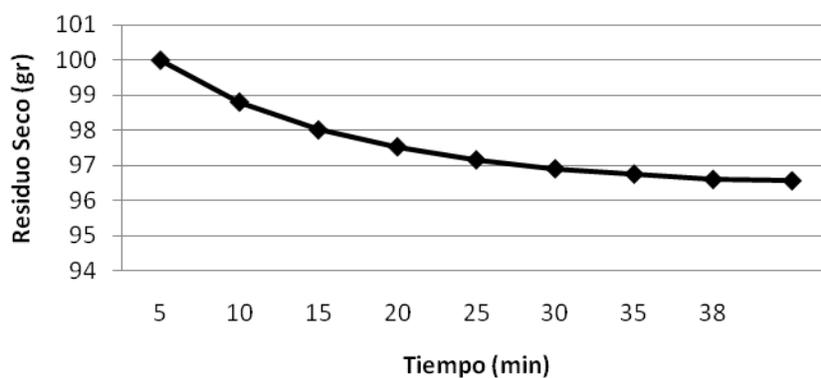
En la siguiente tabla 3.3 se muestra los datos obtenidos para la elaboración de la curva de secado.

Tabla 3.3
Datos para la elaboración de la curva de secado

Residuo seco (%)	Tiempo (min)	M_{muestra} (gr.)
100	0	10.005
98,806	5	9,88
98,014	10	9,80
97,531	15	9,75
97,160	20	9,72
96,908	25	9,69
96,754	30	9,68
96,601	35	9,66
96,563	38	9,66

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICA 3.1
La curva de secado



Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinado el tiempo de secado, cuyo tiempo es de 40min, se determina la humedad de la materia prima:

$$\% \text{Humedad} = \left\{ \frac{(m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}})}{m_{\text{inicial}}} \right\} * 100$$

Los siguientes valores corresponden a la humedad de la materia prima (Tabla 3.4):

Tabla 3.4
Porcentaje de humedad del sésamo

m inicial (gr.)	m final (gr.)	%H
100,001	96,447	3,553
100,008	96,457	3,543
100,005	96,544	3,456
100,002	96,498	3,502
100,005	96,498	3,502
100,003	96,536	3,437
100,006	96,485	3,514
100,009	96,470	3,530
100,004	96,495	3,505
100,007	96,533	3,467

Fuente: elaboración propia

3.3.1.4. MOLIENDA

Luego de la etapa de secado se realiza la molienda de la semilla la cual se efectúa, en molinillo eléctrico con capacidad de 100 gr. por un tiempo aproximado de 1,30min, con intervalos de descanso cada 15 seg para evitar el calentamiento de la muestra; hasta que alcance el diámetro de la partícula que se requiere para el proceso. (Figura 3.12)

Figura 3.12

Molienda de la semilla de sésamo



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.5. TAMIZADO

El tamizado se realiza con un tamiz vibratorio para determinar el tamaño de partícula de la semilla molida, empleando diferentes tamices con tamaños de malla desde 1, 0.5, y 0.25mm cada uno de ellos corresponde a los números 16, 32, y 60 de la serie Tyler respectivamente. Este análisis se realizo de la siguiente manera:

Se tomo una muestra de 100gr de semilla molida y se introdujo la misma en el tamiz vibratorio, ordenando los tamices de mayor a menos tamaño de malla y tamizando durante un tiempo de 15min y 200 rpm. (Figura 3.13)

Figura 3.13
Tamizando el sésamo molido



Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.5 Muestran los resultados obtenido durante este análisis.

Tabla 3.5
Análisis granulométrico de la materia prima

Nº malla (mm)	M muestra (gr.)	Porcentaje (%)
1mm	34,18	35,31
0,5mm	43,57	45,01
0,25mm	17,48	18,06
0,000	1,57	1,62
total	96,80	100

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis granulométrico, las masas de rechazo en los diferentes tamices nuevamente vuelven al proceso de molienda.

Como para el diseño experimental se ha empleado trabajar con tres niveles como el tamaño de la partícula, temperatura y tiempo; de acuerdo a los resultados obtenidos se trabajara con un tamaño de partícula que pase por la malla de 1mm y de 0.5mm como se muestra en la tabla 3.5, es decir los rechazos de las mallas 0,5 y 0,25mm; las cuales se pesaron y se sometieron al proceso de extracción con una temperatura de 65°C. A medida que el tamaño de partícula es mas pequeño existe mayor superficie de contacto por lo tanto mayor es la cantidad de aceite que se extrae siendo el tiempo para cada extracción de 4 horas. (Ver tabla 3.6)

Tabla 3.6

El rendimiento de aceite en los diferentes tamaños de partícula

Vasos metálicos (inicial) (gr)	Vasos metálicos (final) (gr)	Muestra (gr)	Malla (mm)	Aceite crudo de sésamo (gr)	Aceite crudo de sésamo (%)
23,848	26,928	6,09	1	3,18	51,64
24,049	27,386	6,103	0,5	3,33	54,43

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.6. EXTRACCIÓN

La extracción de aceite de sésamo se lleva a cabo mediante el equipo moderno Soxhlet, usando n-hexano como solvente extractor a, cuyo tiempo de contacto entre el solvente y la muestra es mayor el rendimiento de aceite. Este equipo ya cuenta con su propio cartucho celulosa; el cual es sometido con su respectiva muestra al extractor, también se introduce el solvente en vasos metálicos. El equipo funciona de esta manera: un tiempo de macerado hasta que alcance la temperatura requerida, un tiempo de extracción, un tiempo de destilación y aireación. (Figura 3.7)

Figura 3.7**Extracción de aceite crudo de sésamo por solvente**

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.7. DESTILACIÓN Y AIREACION

Este proceso se llevo a cabo en el mismo equipo, el n-hexano es recuperado por un tiempo de 20min, donde se separan el aceite del n-hexano debido a su gran volatilidad, siendo éste recuperado por condensación para su posterior reutilización. Luego se hace la aireación para eliminar por completo n-hexano del aceite crudo. (Figura 3.8)

Figura 3.8**Destilación**

Fuente: Elaboración propia

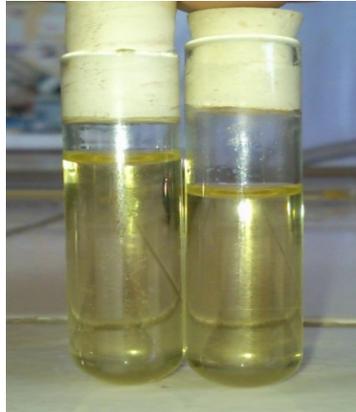
3.3.1.8. ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO FINAL

Una vez obtenido el aceite crudo de sésamo se procedió al almacenamiento del mismo, en tubos pequeños de ensayo cerrado al vacío, para evitar su descomposición del producto.

(Figura 3.9)

Figura 3.9

Aceite crudo de sésamo o ajonjolí



Fuente: Elaboración propia

3.4. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo del trabajo de investigación los datos que se tomaron en cuenta para un respectivo control y posterior cálculo fueron: las propiedades fisicoquímicas de la materia prima, análisis del producto intermedio y la aplicación del diseño experimental para la obtención

3.4.1. ANÁLISIS DE PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA

En el análisis de la materia prima y del producto intermedio se midió las propiedades fisicoquímicas del sésamo y del aceite crudo de sésamo:

3.4.1.2. ANÁLISIS DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); los parámetros tomados en cuenta para su análisis fueron:

- Cenizas.

- Fibra.
- Fosforo.
- Material Grasa.
- Humedad.
- Proteína total.
- Valor energético.

Otras propiedades fisicoquímicas que se realizaron fueron los carbohidratos totales.

3.4.1.3. ANÁLISIS DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICA DEL ACEITE CRUDO DE SÉSAMO

Se realizo el análisis del aceite crudo de sésamo dando seguimiento a algunos parámetros importantes, dicho análisis se realizo en el en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); los parámetros tomados en cuenta para su análisis fueron:

- Acidez.
- Densidad relative.
- Rancidez.
- Humedad.
- Indice de refraccion

Otras propiedades fisicoquímicas que se realizaron fueron los ácidos grasos en el Centro de Alimentos y Productos Naturales (CAPN) dependiente de la Universidad Mayor “San Simón” en la ciudad de Cochabamba.

3.4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el trabajo de investigación se elaboro un diseño experimental (2^k) que se representa en una matriz experimental combinada entre símbolos geométricos y letras minúsculas para indicar las combinaciones del tratamiento.

Estudiar el efecto de tres variables a dos niveles cada una representa en la práctica un diseño factorial (ecuación 3.1):

2^k

Donde:

K = Número de factores o variables

2 = Número de niveles

Cuyo arreglo factorial de acuerdo a la ecuación (3.1) es el siguiente:

$$2^*3= 8 \text{ muestras} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

En el presente trabajo de investigación se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado con la finalidad de analizar el efecto que produce la variación de ciertas variables en el proceso de extracción.

3.4.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA EXTRACCIÓN

Para la construcción de la matriz lógica experimental se utilizó un diseño factorial conformado de tres factores: tiempo, tamaño y temperatura cada una con dos niveles:

- ❖ Tiempo de extracción (**t**): 3hrs y 4hrs
- ❖ Temperaturas de extracción (**Te**): 55°C y 65°C
- ❖ Tamaño de partícula (**Tp**): 0,5mm -1mm

En la (Tabla 3.7) se muestra el diseño factorial de la matriz de variables para el proceso de extracción.

Tabla 3.7

Matriz de variables para el proceso de extracción

Corridas	Variables			Replica I	Replica II	Variable respuesta (Y)
	T (mm)	t (hrs)	Te (°C)			
(1)	-1	-1	-1	+1	-1	y ₁
a	+1	-1	-1	+1	-1	y ₂
b	-1	+1	-1	-1	+1	y ₃
ab	+1	+1	-1	-1	+1	y ₄
c	-1	-1	+1	+1	-1	y ₅
ac	+1	-1	+1	-1	+1	y ₆
bc	-1	+1	+1	-1	+1	y ₇
abc	+1	+1	+1	-1	+1	y ₈

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

t = Tiempo de extracción con disolvente en minutos

Te= temperatura de extracción en grados centígrados

Tp= tamaño de la partícula en milímetros

y = Variable respuesta (Rendimiento del aceite) en la muestra

4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA LAS PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA

El análisis y discusión de resultados que se realizó fueron de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima dentro de las cuales se encuentra el análisis de los resultados de la aplicación de diseño experimental en partes importantes del proceso de obtención de este producto intermedio.

En las cuales se presentaron forzosamente errores accidentales y sistemáticos que contribuyeron a que exista una diferencia entre los valores.

A lo largo de este capítulo también se encuentra el análisis del producto intermedio, también la aplicación del diseño experimental y otros.

4.1.2. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

Se consideró inicialmente determinar las propiedades fisicoquímicas del sésamo o ajonjolí: humedad, cenizas, proteínas y el contenido graso mediante el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID (ANEXO A.1); posteriormente se calcularon los carbohidratos del sésamo de forma indirecta utilizando los datos anteriores. De esta manera se obtuvo un análisis aproximado completo de la semilla de sésamo (Tabla 4.1). La cantidad de carbohidratos se determinaron indirectamente mediante la siguiente Ecuación Matemática:

$$\text{Carbohidratos} = 100 - (\text{Humedad} + \text{Cenizas} + \text{Proteína} + \text{Grasa})$$

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímica de la semilla de sésamo para 100g. de muestra

Componente	Unidad	Cantidad por 100 g. de la semilla de sésamo.
Valor energético	Kcal/100g	561,88
Proteína total	%	27,20
Materia grasa	%	42,20
fibra	%	7,08
Humedad	%	3,91
Cenizas	%	4,48
Hidrato de carbono	%	18,32
fosforo	mg/100g	119,98

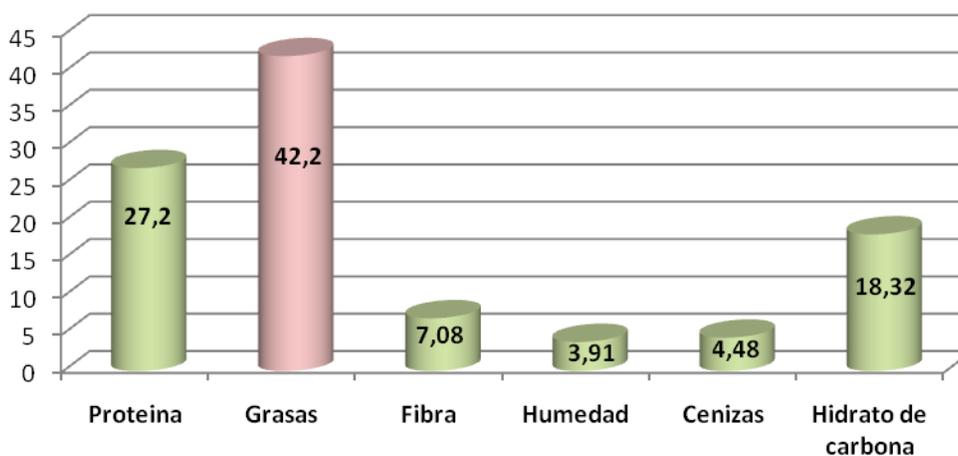
*Datos proporcionados por el CEANID, 2011. (ANEXO A.1).

Fuente: Elaboración propia.

Mediante las barras estadísticas (Figura 4.1) se puede observar de forma grafica los componentes de la semilla de sésamo (en porcentaje), apreciando que el oleaginoso contiene gran cantidad de materia grasa y proteína total.

Figura 4.1

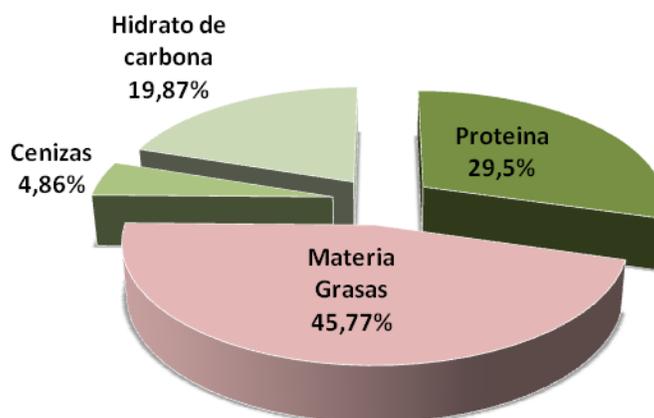
Contenido proximal de la semilla de sésamo



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la materia grasa, la torta estadística nos muestra un 45,77% en base seco de la semilla de sésamo (Figura 4.2), pudiendo confirmar de esta manera que la semilla de sésamo es una importante fuente de energía.

Figura 4.2
Porcentaje de materia grasa en peso seco de la semilla de sésamo



Fuente: Elaboración propia.

4.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS PARA LAS PROPIEDADES DEL PRODUCTO

El análisis y discusión de resultados que se realizó en el producto fueron: de las propiedades fisicoquímicas. En las cuales también se presentaron ineludiblemente los errores fortuitos y sistemáticos.

4.2.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO

Entre las propiedades fisicoquímicas se consideró la acidez, índice de refracción y la humedad y otros parámetros del producto a través del (CEANID) (ANEXO A.2).

Tabla 4.3
Composición del aceite crudo de sésamo

Componente	Unidad	Cantidad por 100 g. de porción comestible.
*Acidez Total	%	3,94
*Densidad a 20°C	gr./l	0,9156
*Humedad	%	2,36
*Índice de refracción (20°C)	%	1,4696
*Rancidez	Pos/Neg.	negativo

*Datos aportados por el CEANID, 2011. (ANEXO A.2).

Fuente: Elaboración propia

Estos análisis fueron realizados en base a la recomendación del laboratorio de control de calidad de la planta productora de aceite crudo y refinado, fábrica de aceite “**itikaguazù s.a.**”

4.2.1.1. COMPARACIÓN DEL ACEITE CRUDO DE SÉSAMO

En la tabla 4.3 se observan las características físico- químicas del aceite crudo de sésamo obtenido experimentalmente y la composición media que se encuentra como referencia en bibliografía.

Tabla 4.4
Comparación de aceite crudos de sésamo

características	Aceite crudo de sésamo (experimental)	Aceite crudo de sésamo (datos bibliografía)
Acidez total (%)	3,94	Max. 3,5 - 4
Índice de refracción	1.4696	1.472 - 1.4786
Humedad	2,36	Max. 2,5
Densidad	0,9156	0.916- 0,925
Rancidez	Negativo	Max. 20

Fuente: Elaboración propia, (Velásquez, 2008)

Como se aprecia en la tabla 4.4 las características físico- químicas del aceite crudo de sésamo obtenido experimental, se encuentran algunos parámetros muy altos.

El valor de la acidez total expresada como ácido oleico (3,94%) muestra que se realizó un adecuado acondicionamiento de la muestra prima, que no permitió el desarrollo de reacciones que deterioran el aceite crudo de sésamo.

La humedad también se encuentra dentro del parámetro eso indica que durante el proceso de moliendo no adquirió humedad por el medio ambiente.

El porcentaje de índice de refracción (1,4696) y la densidad (0,9156), que se determinaron en el aceite crudo de sésamo se encuentran dentro de los límites permitidos.

La rancidez es negativa la cual indica que durante la experimentación, pone de manifiesto una alta resistencia de este aceite a la oxidación.

Tabla 4.5

Comparación del perfil de ácidos grasos saturados e insaturados en el aceite crudo de sésamo.

Características	Unidades	Aceite crudo (experimental)	Aceite crudo (bibliografía)
Ácido palmítico C16:0	%	8,52	7 - 12
Ácido palmitoleico C16:1	%	0,09	0,5
Ácido esteárico C18:0	%	4,51	3,5 - 6
Ácido oleico C18:1n9c	%	32,30	35 - 50
Ácido linoleico C18:2n6c	%	40,65	35 - 50
Ácido araquídico C20:0	%	0,47	1
Ácido linolénico C18:3n3c	%	0,23	1
Ácidos grasos totales			Esteres metílicos
Ácidos insaturados		UFA	73,54 %
Ácidos saturados		AFA	13,61 %

*Datos proporcionados por el CAPN, 2011. (ANEXO A.3).

Fuente: elaboración propio, (Castedo, 2010)

La tabla 4.5 presenta la composición porcentual en ácidos grasos saturados e insaturados del aceite crudo de sésamo experimental, obtenido por cromatografía gaseosa.

El perfil de ácidos grasos saturados e insaturados determinado para el aceite crudo de sésamo experimental, muestra la composición en ácidos grasos similares a los ácidos grasos citado por la bibliografía.

En la tabla 4.5 se observa una mayor proporción en ácidos grasos insaturados (73,82%) en comparación con la fracción de ácidos grasos saturados (13,61%), tal como lo muestran los reportes bibliográficos.

El ácidos grasos que se encuentra en mayor proporción es el ácidos linoleico (40,65%), palmíticos (8,52%), esteárico (4,51%), Ácido palmitoleico (0,09%), araquidico (0,47%), y linolenico (0,23%), cuyo nivel se encuentra dentro del valor reportado por la bibliografía; seguidamente por el acido oleico (32,30%), que superan los valores citados por la bibliografía, y en pequeñas cantidades.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los resultados obtenidos de cada combinación tamaño de partícula, tiempo y temperatura de extracción (T_p , t y T_e), facilitaron el diseño experimental y de este modo se determinaron las variables mas 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 el porcentaje de aceite crudo de sésamo (rendimiento). Para los fines de análisis estadístico, se tomo como variables respuesta el porcentaje de aceite crudo de sésamo obtenido, pues este muestra claramente y en forma directa, el rendimiento del proceso y la cantidad de aceite que se produjo.

En la tabla 4.6, se muestra los resultados obtenidos de manera experimental dentro del proceso de extracción de aceite crudo de sésamo, realizado de acuerdo al diseño factorial que fue elaborado para el efecto.

Tabla 4.6

Datos experimentales del proceso de extracción del aceite crudo de 6gr de sésamo

N° de ensayos	Variables			Replica I		Replica II		Variable respuesta (Y)
	Tp (mm)	t (hrs)	Te (°C)	Aceite (gr)	Aceite (%)	Aceite (gr)	Aceite (%)	
1	0,5	3	55	3,03	50,01	3,01	49,65	49.83
2	1	3	55	2,8	45,8	2,8	45,77	45.79
3	0,5	4	55	3,11	51,77	3,11	51,89	51.83
4	1	4	55	2,98	47,93	2,92	48,12	48.03
5	0,5	3	65	3,16	52,65	3,19	53,15	52.20
6	1	3	65	3	49,21	3,04	49,86	49.5
7	0,5	4	65	3,33	54,65	3,33	54,2	54.43
8	1	4	65	3,08	51,37	3,18	51,9	51.64
Total (Yj)				24,49	403,39	24,58	404,54	403.25

Fuente: Elaboración propia.

El aceite crudo de sésamo se obtuvo en el proceso de extracción, empleando dos tamaños diferentes de partículas, combinado con distintos tiempos y distintas temperaturas de extracción. El mayor porcentaje de aceite crudo de sésamo se obtuvo trabajando con la partícula de menor tamaño (0,5mm) y con el mayor tiempo de extracción (4hrs), también con la temperatura más alta de 65°C.

Lo cual se muestra claramente que se obtiene un rendimiento de aceite crudo del 54.43% en 4 horas de extracción. Si se analiza el rendimiento, entre las 3 y 4 horas de extracción el porcentaje de aceite se incrementa 2.23%.

Tabla 4.7

Condiciones de operación recomendadas para el proceso de extracción del aceite crudo de sésamo

Tamaño de partícula (A)		Tiempo de extracción (hrs)	Temperatura de extracción (°C)
Serie Tyler	Abertura de malla (mm)	4	65
32	0.5		

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE SÉSAMO

El análisis de varianza muestra 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 como así también la significancia de los mismos. (ANEXO B -1), donde se detalla la resolución del diseño.

En la tabla 4.7 se muestran los datos con los cuales se ha realizado el cálculo del análisis de varianza (ANVA) de un diseño de 2*3

Tabla 4.8

Análisis de varianza para el proceso de extracción de aceite crudo de sésamo

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrado (SC)	Grado de libertad (GL)	Cuadrado medios (CM)	F_{cal}	F_{tab}
total	10214,23	15			
Factor (A)	11,11	1	11,11	0,008	3,22
Factor (B)	4,63	1	4,63	0,003	5,23
Factor (C)	9,44	1	9,44	0,007	5,23
Interacción AB	0,001	1	0,001	$7,85 \cdot 10^{-7}$	5,23
Interacción AC	0,35	1	0,35	0,0002	5,23
Interacción BC	0,008	1	0,008	$6,2 \cdot 10^{-6}$	5,23
Interacción ABC	0,006	1	0,006	$4,7 \cdot 10^{-6}$	5,23
Error experimental	10188,68	8	1273,59		

Fuente: Elaboración propia (ANEXO B-1)

En la tabla 4.8, se observa que el factor A “tamaño de partícula”, el factor B “tiempo de extracción” y factor C “temperatura de extracción” no son significativos en el proceso de

extracción del aceite crudo de sésamo, es decir no actúan independientemente la una de la otra.

Conclusiones:

- ❖ Como se puede observar en el cuadro de Análisis de Varianza (Tabla 4.8) ($F_{cal} < F_{tab}$) (0,008 < 3,22) para el factor (A) tiempo lo tanto se acepta la Hp y se puede afirmar que no existe evidencia estadística de variación del tamaño de partícula.
- ❖ La (Tabla 4.8) indica ($F_{cal} < F_{tab}$) (0,003 > 5,23) para el factor (B) tiempo de extracción; lo cual acepta la Hp y se puede afirmar que no existe evidencia estadística de variación.
- ❖ Para el factor (C) ($F_{cal} < F_{tab}$) (0,007 > 5,23), temperatura de extracción; lo cual acepta la Hp y se puede afirmar que no existe evidencia estadística de variación.
- ❖ Para todo el caso de la interacción (AB), (AC), (BC) y (ABC) ($F_{cal} < F_{tab}$) de los factores “tamaño de partícula- tiempo”, “tamaño de partícula-temperatura”, “tiempo-temperatura” y “tamaño de partícula-tiempo-temperatura”; lo cual es aceptado por la Hp y se puede afirmar que no existe evidencia estadística de variación en la interacción.

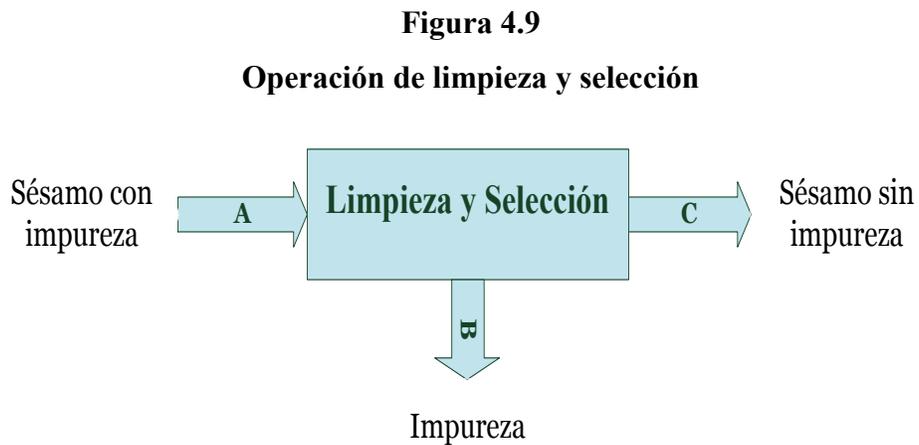
4.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Los balances de materia se realizaron en las operaciones de selección, secado, molienda y tamizado de la materia prima; porque en dichos procesos se maneja cantidades considerables de masa. El balance de energía se realizó, por su mayor importancia, únicamente en la operación de extracción.

Los balances de materia y energía en las operaciones de obtención del aceite crudo de sésamo, se realizó de la siguiente manera:

4.4.1. BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE LIMPIEZA Y SELECCIÓN

En base a los datos obtenidos y las ecuaciones básicas del balance de materia ANEXO C-1, se determinara la cantidad de sésamo sin impureza. En la (Figura 4.9) se muestra el balance de materia para la operación de limpieza y selección.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos son los siguientes:

$$A = \text{Peso del Sésamo con impureza} = 650\text{gr}$$

$$B = \text{Peso de la impureza} = 6,89\text{gr}$$

$$C = \text{Peso del sésamo sin impureza} = ?$$

El balance de materia es el siguiente:

$$A = B + C$$

$$C = A - B$$

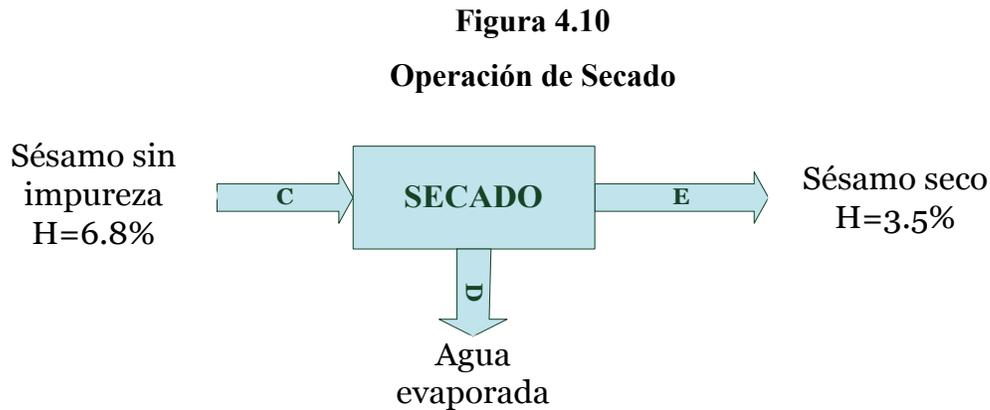
$$C = (650 - 6,89) \text{ gr.}$$

$$C = 643,11 \text{ gr.}$$

Se puede observar que la semilla de sésamo no tiene impureza, ya que solo es de 1,06% de impureza.

4.4.2. BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN SECADO

En base a los datos obtenidos y las ecuaciones básicas del balance de materia ANEXO C-1, se determinara la cantidad de agua evaporada de la semilla de sésamo. En la (Figura 4.10) se muestra el balance de materia en la operación de secado.



Fuente: Elaboración propia.

Los datos son los siguientes:

$C = \text{Peso del sésamo sin impureza} = 643,11 \text{ g.}$

$D = \text{Peso del agua evaporado} = ?$

$E = \text{Peso del sésamo seco} = 620,601 \text{ g.}$

El balance de materia es el siguiente:

$$C = D + E$$

$$D = C - E$$

$$D = (643,11 - 620,601) \text{ g.}$$

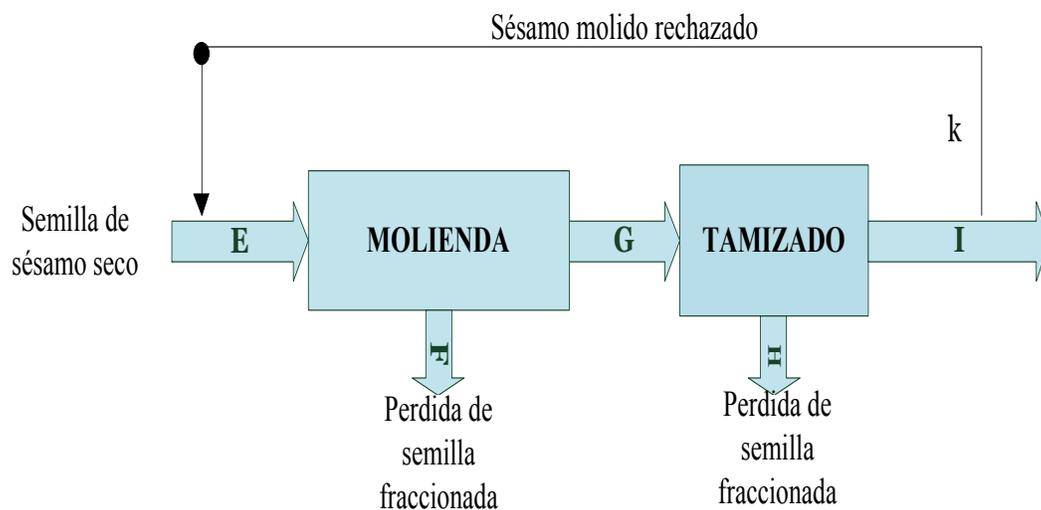
$$D = 22,51 \text{ g.}$$

Se puede observar que en la operación de secado, la semilla de sésamo no contiene mucha humedad, esto ayuda en proceso de molienda.

4.4.3. BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE MOLIENDA Y TAMIZADO

En base a los datos obtenidos y las ecuaciones básicas del balance de materia ANEXO C-1, se realizó un balance total, se determinará la cantidad de pérdida de semilla fraccionada en el proceso de molienda y de tamizado. (Figura 4.11)

Figura 4.11
Operación de molienda y tamizado



Fuente: Elaboración propia.

Los datos para la operación de molienda son los siguientes:

E = Peso de la semilla de sésamo seco = 620,601 g.

F = Peso de la pérdida de semilla fraccionada = ?

G = Peso de la semilla molida = 614,47 g.

H = Peso de la pérdida de semilla fraccionada = ?

I = Peso del sésamo molido pasado por tamices = 595,58 g.

K = Peso del sésamo molido rechazado = 189,09

El balance de materia en la operación de molienda:

$$E = G + F$$

$$F = E - G$$

$$F = (620,601 - 614,47) \text{ g.}$$

$$F = 6,131 \text{ g.}$$

El balance de materia en la operación de tamizado:

$$G = H + I$$

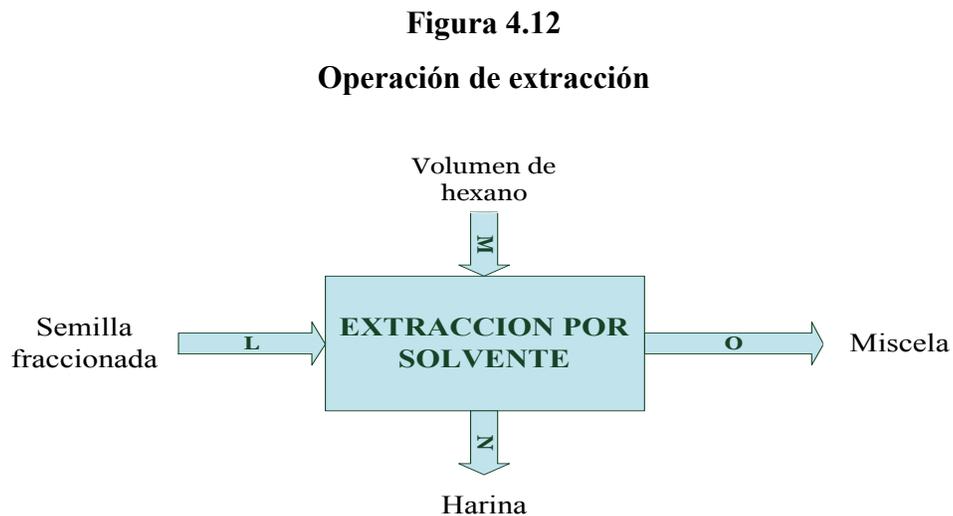
$$H = G - I$$

$$H = (614,47 - 595,58) \text{ g.} = 18,89 \text{ gr.}$$

La cantidad total de la semilla de sésamo seco que ingresa al proceso de molienda es de 620,601 g. pero durante las operaciones de molienda y tamizado se tiene una pérdida de (6,13 y 18,89) g. respectivamente y a la alimentación del molino retorna un 31,75 % de materia prima que no ha alcanzado el tamaño adecuado, lo cual indica que solo cantidad de semilla fraccionada entra al proceso de extracción es de 406,49 gr.

4.4.4. BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE EXTRACCIÓN

En base a los datos obtenidos y las ecuaciones básicas del balance de materia ANEXO C-1, se determinará la cantidad de miscela. (Figura 4.12).



Fuente: Elaboración propia.

Los datos y el balance de materia son los siguientes:

$$L = \text{Peso de la semilla fraccionada} = 406,49 \text{ g.}$$

$$M = \text{Volumen de n-hexano} = 2500\text{g}$$

$$N = \text{Peso de la harina} = (406,49 * 0,48) = 195,12 \text{ g.}$$

$$O = \text{Miscela} = L + M - N = 406,49 + 2500 - 195,12 = 2711,37\text{g.}$$

4.4.5. BALANCE DE MATERIA EN LA OPERACIÓN DE DESTILACIÓN

En base a los datos obtenidos y las ecuaciones básicas del balance de materia ANEXO C-1, se determinara la cantidad de aceite crudo de sésamo. (Figura 4.13).

Figura 4.13
Operación de destilación



Fuente: Elaboración propia.

Los datos y el balance de materia son los siguientes:

$$O = \text{Peso de la miscela} = 2711,37\text{g.}$$

$$R = \text{Volumen de n-hexano recuperado} = 2500 * 0,80 = 2000\text{gr}$$

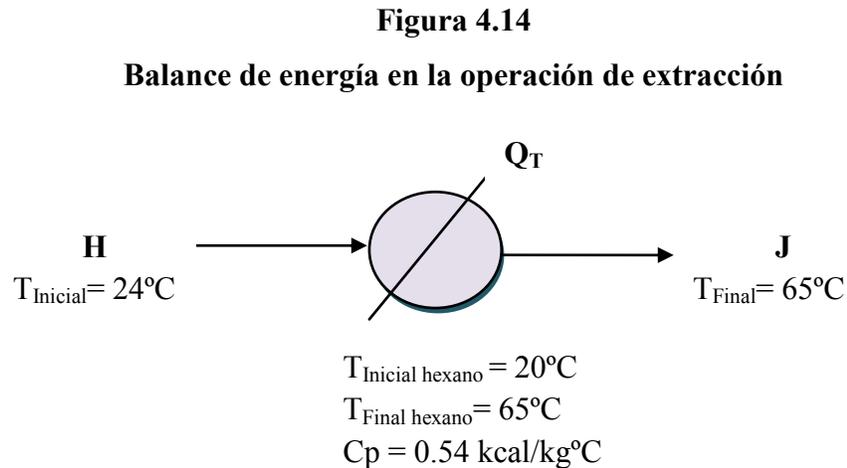
$$Q = \text{volumen de perdida n-hexano} = 2500 * 0,20 = 500\text{gr}$$

$$P = \text{Aceite crudo de sésamo} = O - R - Q = 2711,37 - 2000 - 500 = 211,37 \text{ g.} = 0,211\text{kg.}$$

4.4.6. BALANCE DE ENERGÍA EN LA OPERACIÓN DE EXTRACCIÓN

En la operación de extracción se determina el contenido de calor total o entalpia total

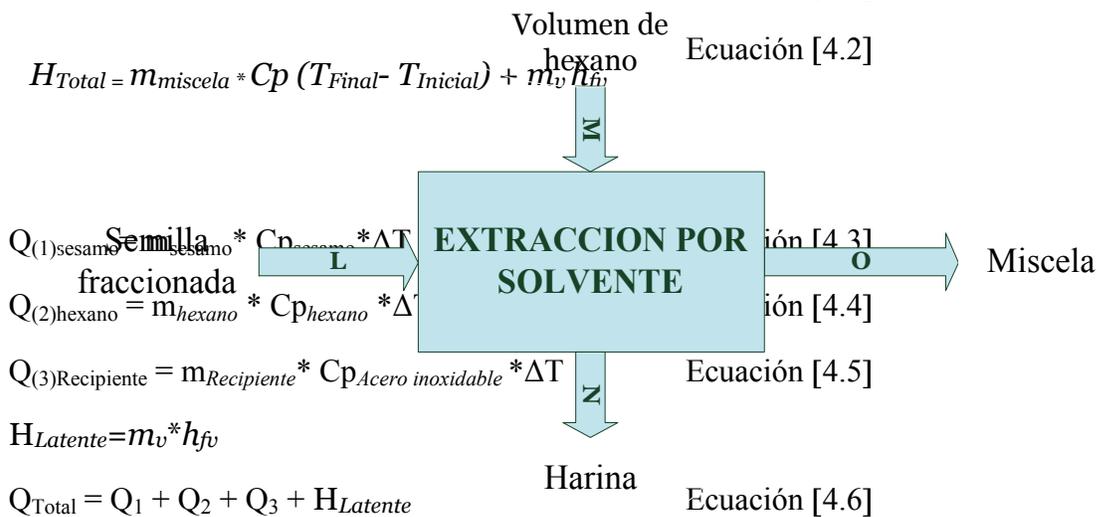
(H_{Total}), en función de las ecuaciones: ANEXO C-2



Según (Ramírez, 2005), para calcular el calor de la extracción del sésamo, se debe utilizar las ecuaciones [4.1] y ecuación [4.2]

$$H_{Total} = H_{Sensible} + H_{Latente} \quad \text{Ecuación [4.1]}$$

$$H_{Total} = m_{miscela} * C_p (T_{Final} - T_{Inicial}) + m_v * h_{fv} \quad \text{Ecuación [4.2]}$$



Donde:

Q = Cantidad de calor

m = cantidad de masa

C_p = cantidad de capacidad específica

ΔT = la diferencia de temperatura

m_v = Cantidad de agua evaporada = 0

h_{fv} = Entalpia (liquido saturado) = 0

***Cálculo del C_p del sésamo fraccionado**

Según (torrejón, 2008), para calcular la capacidad específica del sésamo fraccionado utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{p_{ac}} = 0,5 * (P/100) + 0,2 * (100 - P/100)$$

Donde:

P = Porcentaje de agua en la semilla de sésamo fraccionado ver ANEXO A-2

$$C_{p_{sesamo}} = 0,5 * (3.5/100) + 0,2 * (100 - 3.5/100)$$

$$C_{p_{sesamo}} = 0,0175 + 19.99$$

$$C_{p_{sesamo}} = 20.01 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Reemplazando los datos en la ecuación [4.3], para obtener la cantidad de calor en la semilla de sésamo fraccionado

$$Q_{(1)sesamo} = 0,406\text{kg} * 20.01\text{kcal/kg}^\circ\text{C} * (65 - 24)^\circ\text{C}$$

$$Q_{(1)sesamo} = 333.09\text{kcal}$$

***Cálculo de la cantidad de calor requerido para el n-hexano**

De acuerdo a la ecuación[4.4], se obtiene la cantidad de calor que se requiere para el n-hexano:

$$Q_{(2)hexano} = 2.5\text{kg} * 0.54 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (65 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{(2)hexano} = 60.75 \text{ kcal}$$

***Cálculo de la cantidad de calor requerido para el recipiente**

De acuerdo a la ecuación[4.5], se obtiene la cantidad de calor que se requiere para el recipiente:

$$Q_{(4)\text{Recipiente}} = 0,048\text{kg} * 0.12 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (65 - 24)^\circ\text{C}$$

$$Q_{(4)\text{Recipiente}} = 0.24 \text{ kcal.}$$

***Cálculo de la cantidad total de calor para el proceso de extracción**

De acuerdo a la ecuación[4.6], se obtiene la cantidad de calor total que se requiere para proceso de extracción:

$$Q_{\text{Total}} = 333.09 \text{ kcal} + 60.67 \text{ kcal} + 0,24 \text{ kcal.} + 0$$

$$Q_{\text{Total}} = 393.99 \text{ kcal.}$$

La cantidad de calor que se requiere para la operación de extracción es de 393.99 kilocalorías. Se calculo la cantidad de calor para la miscela. Los datos que se requirió para resolver las anteriores ecuaciones como la capacidad calorífica del sésamo se calculo con la fracción a partir de la composición; los cuales se detallan en los ANEXOS C-2.

5.1. CONCLUSIONES

❖ De acuerdo a los resultados del análisis fisicoquímico de la semilla de sésamo, se tiene un contenido de materia grasa de 42.20% muy bajo frente a los datos experimental obtenido en laboratorio Operación Unitarios; estos se debe mucho a la trituración de la semilla, ósea al tamaño de partícula, también el contenido de cascarilla en la semilla de sésamo.

❖ En relación a la extracción del aceite crudo de sésamo, resulta mas adecuado trabajar con la fracción mas fina, proporciona mejores rendimientos en el proceso de extracción por solvente y en un tiempo de tal que permita la obtención en su totalidad del producto de interés.

Los parámetros que dan mejores resultados en la extracción del aceite crudo de sésamo, a nivel laboratorio son los siguientes:

- Tamaño de partícula 0.5 mm de malla
- Tiempo de extracción 4 horas
- Temperatura de extracción 65°C
- Relación solido/liquido 0.0476g/ml

❖ El proceso de extracción, a nivel de laboratorio; tiene un rendimiento de del 54.43% de aceite crudo de sésamo, comparado con el 58 % de la extracción lograda a nivel industrial, lo cual es explicable que mucho depende a la variedad de semilla de sésamo.

❖ Se logro determinar las propiedades físico-químicos del aceite crudo de sésamo, las misma son: Acidez total 3.94%, índice de fracción 1,4696, humedad 2.36 %, densidad 0.9156 y rancidez que es negativo.

❖ El aceite crudo de sésamo posee una mayor proporción en ácidos grasos insaturados 73.54%, frente la fracción de ácidos grasos saturados 13,61%. El acido graso que se encuentra en mayor proporción es el acido linoleico 40.30%, seguidamente por el acido oleico 32.30%.

- ❖ Los resultados del diseño factorial utilizado el programa estadístico ANVA señalan que el tiempo de extracción, tamaño de partícula y temperatura de extracción y la interacción con sus diferentes variables en la extracción no influyen significativamente sobre el porcentaje obtenido de aceite crudo de sésamo.

- ❖ El presente trabajo de investigación, contribuyen a la incorporación dentro del mercado local de un nuevo complemento alimenticio de origen vegetal con la materia prima que en actualidad va incrementando la producción de esta semilla en nuestro país, siendo también esta semilla de exportación. Como de igual manera el aceite crudo de sésamo se puede emplear en la elaboración de diferentes productos en la industria cosmética.

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda realizar pruebas experimentales con diferentes variedades de la semilla de sésamo. Ya que las mismas presentan una variación en su composición fisicoquímica.
- ❖ Se recomienda implementar una pequeña planta piloto para la obtención de aceite crudo de sésamo, en el departamento de santa cruz; donde existe mayor producción de la semilla de sésamo, siendo una alternativa importante para los productores de la semilla. Dándole también un valor a la harina residual que queda como parte del proceso de extracción del aceite, como por ejemplo; alimento balanceado para animales por el alto valor nutritivo que contiene.
- ❖ Los resultados obtenidos motivan a recomendar un estudio mas detallado del proceso de extracción, el cual permita evaluar parámetros como relación solido/liquido, temperatura y tiempo de extracción a presión de vacío, porque de esta manera se trabaja en la industria.
- ❖ Estudiar nuevas aplicaciones del aceite crudo de sésamo para la industria cosmética, como el destinado a la laboratorio de cremas, jabón liquido y otros