

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“OBTENCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE LA SEMILLA
DEL MANGO MEDIANTE EXTRACCIÓN A SOLVENTE
N-HEXANO, EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

Por:

ARIEL MARTÍNEZ MALDONADO

**Modalidad de graduación: Investigación Aplicada, presentado a
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura
en Ingeniería Química.**

Septiembre 2017

TARIJA-BOLIVIA

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES.

1.1.1. Aceites vegetales.

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. Entre los más usados están el de: soja, palma, girasol, sésamo, cacahuete, palma, oliva y canola. Muchos son consumidos directamente o usados como ingredientes en las comidas, pero no todos son comestibles (como el aceite de castor o algodón).

1.1.2. El fruto del mango.

El mango se consume principalmente fresco, sin embargo, existe una variedad de productos procesados que incluye almíbares, jugos, néctar, mermelada, entre otros.

Los países más destacados en la producción de mango son la India y China, como se muestra en la tabla I-1.

Tabla I-1.

Primeros diez países productores de mango.

| País | Toneladas |
|-------------|------------------|
| India | 16,196,000 |
| China | 4,400,000 |
| Tailandia | 2,985,530 |
| Indonesia | 2,376,339 |
| México | 1,760,588 |
| Pakistán | 1,680,388 |
| Brasil | 1,175,735 |
| Bangladesh | 945,059 |
| Nigeria | 860 |
| Egipto | 786,528 |

Fuente: FAOSTAT. 2012.

Tabla I-2.

Primeros diez países exportadores de mango.

| País | Toneladas |
|-------------|------------------|
| México | 297,295 |
| India | 214,64 |
| Tailandia | 196,441 |
| Brasil | 127,132 |
| Pakistán | 101,164 |
| Perú | 99,79 |
| Ecuador | 60,139 |
| Yemen | 43,467 |
| Filipinas | 24,076 |
| Egipto | 19,564 |

Fuente: Trade Map.

Una planta puede dar entre 3.000 y 7.000 frutos. La producción de la manga larga o tradicional se ha decidido reemplazarla por la Tommy Atkins (manga manzana) que es bastante apetecida en Tarija.

Las 100 unidades de “manga larga” se comercializan en 20Bs, el precio de la manga manzana alcanza los 90 Bs, mientras que su venta por unidad puede costar entre 1 y 2 Bs.

La producción de mango en el país se muestra por departamentos, destacándose el departamento de Cochabamba como se muestra en la tabla I-3.

Tabla I-3.

Superficie, producción y rendimiento, año agrícola 2007-2008.

| DEPARTAMENTO | FRUTO | SUPERFICIE (Ha) | PRODUCCIÓN (Tm) | RENDIMIENTO (Kg/ha) |
|---------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Chuquisaca | Mango | 39 | 315 | 8,077 |
| La Paz | Mango | 417 | 3,373 | 8,089 |
| Cochabamba | Mango | 290 | 3,891 | 9,969 |
| Tarija | Mango | 28 | 224 | 8,000 |
| Santa Cruz | Mango | 208 | 2,038 | 9,798 |

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

Tabla I-4.

Distribución de la producción agrícola en el departamento de Tarija, según producto, año agrícola 2007-2008 (en porcentaje).

| Producto | Total | Consumo | | Para Transformación | Pérdidas | Ventas al Mercado | | Otros |
|----------|-------|---------|--------|---------------------|----------|-------------------|----------|-------|
| | | Hogar | Animal | | | Nacional | Exterior | |
| Mango | 100 | 0,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,34 | 0,00 | 0,05 |

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

Tabla I-5.

Número de árboles frutales dispersos por departamento, censo agropecuario

| Especie | Bolivia | CH | LP | CB | OR | PT | TJ | SC | BN | PA |
|---------------|---------|--------|---------|--------|----|----|-------|---------|--------|-------|
| Mangos v.n.e. | 477.799 | 10.195 | 151.038 | 55.837 | - | 67 | 8.264 | 186.309 | 58.515 | 7.574 |

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. Variedad no especificada-2013.

En las aplicaciones industriales se utiliza principalmente la pulpa, teniendo como desperdicio el bagazo, el hueso y la piel, los cuales representan cerca del 40 al 60% del peso total de la fruta. El porcentaje de desperdicio en el aprovechamiento de la fruta es de 12-15% en promedio, en piel y bagazo del 5-10% y 15-20% de semilla de mango ^[1].

Por su alto contenido de azúcares y agua la fruta y sus residuos se descomponen rápidamente con lo que los pequeños y medianos productores tienen importantes pérdidas económicas, además de generar indeseables focos de contaminación. Actualmente se desarrollan usos para la utilización de estos residuos, por ejemplo, la pectina obtenida de la piel de mango es comparable con la obtenida de la piel de cítricos ^[10]. También se ha empleado como alimento para ganado a través del desarrollo de ensilados ^[9].

De entre todos los subproductos, la semilla de mango ha atraído mayor atención debido a que se han encontrado aplicaciones como sustituto de la manteca de cacao en la elaboración de productos de confitería. El producto restante de la extracción puede ser un sustituto para el trigo o maíz utilizado en la formulación de alimento para animales y es una buena fuente de muchos aminoácidos esenciales ^[11].

1.1.3. Aceite de mango.

Por su composición la grasa de semilla de mango es una de las seis grasas tropicales permitidas que pueden reemplazar parcialmente el aceite de cacao en la elaboración de chocolate. Su perfil de lípidos le hace tener un potencial de comercialización importante ^[12]. Y obtenerse recursos económicos de un desperdicio agroindustrial. Se abre la posibilidad de utilizar grasa de semilla de mango en la Industria de Alimentos, de acuerdo a lo establecido por la norma **NTE INEN-ISO 23275- 2014**.

Dentro de la Unión Europea, y conforme a la Directiva 2000/36/CE, pueden utilizarse las siguientes grasas vegetales, bien de forma individual o mezcladas, procedentes de las plantas que aparecen en la siguiente lista:

- ✓ Illipé, sebo de Borneo o tengkawang (*Shorea spp.*),
- ✓ Aceite de palma (*Elaeis guinensis*, *Elaeis olifera*),
- ✓ Sal (*Shorea robusta*),
- ✓ Shea (*Butyrospermum parkii*).
- ✓ Kokum gurgi (*Garcinia indica*), y
- ✓ Semilla de mango (*Mangifera indica*).

La Norma ISO 23275-1 describe un procedimiento para la detección de dichas grasas (solamente se hacen restricciones para las muestras puras de grasa de Illipé) en manteca de cacao y chocolate puro. La Norma ISO 23275-2 describe un procedimiento que permite una cuantificación de confianza de dichas grasas para unos niveles del 5%, cumpliendo el límite obligatorio establecido por la Directiva 2000/36/CE, del Consejo y el Parlamento Europeo.

Para facilitar el uso de ambas partes de la Norma ISO 23275, se ha establecido una herramienta analítica denominada “CoCal-1”. “CoCal-1” contiene los métodos validados de detección (parte 1) y cuantificación (parte 2) de CBEs en chocolate puro, y también un material de referencia certificado de manteca de cacao (IRMM-801) con el que calibrar los instrumentos de los analistas y una hoja electrónica de evaluación para Microsoft Excel con la que calcular el resultado final.

La almendra de la semilla del mango contiene cantidades altas de materia grasa, y el aceite extraído podría utilizarse como sustituto de los que actualmente proporciona el mercado, debido a que se trata de un producto alimenticio de gran valor nutritivo, además de estar aprovechando un recurso que hasta ahora se ha desechado y que constituye una fracción de la basura orgánica generada por las comunidades en Tarija.

Tabla I-6.

Características principales del Aceite de Mango.

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Color | Variación de blanco al amarillo |
| Olor | Muy poco |
| Densidad relativa | 0,897 (25 °C) |
| Índice de peróxido | 2,69 |
| Índice de refracción | 1,464 (25 °C) |
| Punto de fusión | 27 °C |
| Calor específico | 0,9688 Kcal/kg °C |
| Calor latente | 125,6718 Kcal/kg |
| No saponificables | 0,70% |
| Valor de saponificación | 191,10% |
| Índice de yodo | 47,75% |
| Ácidos grasos libres | 0,10% |
| Ácido oleico | 42,90% |
| Ácido palmítico | 6,90% |
| Ácido linoleico | 3% |
| Ácido esteárico | 41,70% |

Fuente: Ángel Rojas 2010

1.1.4. Producción de aceite de semilla de mango.

El aceite de semilla de mango no cuenta con estudios estadísticos de producción a nivel mundial y latino americano, ya que es un producto que no tiene una producción a gran escala o masiva. Se cuenta con productores a pequeña escala como ser laboratorios Hersol que comercializan este producto en el Estado de México, los cuales se incluyen en la producción mínima de aceites en la denominación de otros.

Tabla I-7.

Producción de aceites no tradicionales en el Estado de México.

| Productos elaborados | Denominación | Unidad de medida | Valor de los productos elaborados con materias primas propias | | | Venta de los productos elaborados con materias primas propias | |
|----------------------|--|------------------|---|----------------|--------------|---|-------------|
| | | | Cantidad | Valor | Precio medio | Mercado | |
| | | | | Miles de pesos | Pesos | Total | Exportación |
| | Aceites vegetales sin refinar | | | 226,067 | | 230,838 | 0 |
| 141 | de cacahuete | toneladas | 38 | 814 | 21,421 | 814 | 0 |
| 143 | de linaza | toneladas | 32 | 1,547 | 48,344 | 1,547 | 0 |
| 145 | de palma | toneladas | 26,044 | 213,698 | 8,205 | 217,837 | 0 |
| 149 | otros | - | - | 10,008 | | 10,64 | 0 |
| | Aceites de vegetales refinados | - | - | 62,23 | | 62,23 | 0 |
| 159 | Otros * | - | - | 62,23 | | 62,23 | 0 |
| | Aceites refinados para otros usos | - | - | 407 | | 407 | 0 |
| 169 | otros | - | - | 407 | | 407 | 0 |

Fuente: Censos Económicos 2014 INEGI.

* El aceite de semilla de mango está contemplada.

La producción de aceite de semilla de mango en Bolivia es nula, ya que no cuenta con los estudios necesarios ni el apoyo respectivo de entidades gubernamentales ni el sector privado en el desarrollo o implementación de este proyecto, debido al mal aprovechamiento del fruto mango, ya que en su mayor parte se consume como fruto fresco.

Los aceites más producidos en el país son el de soya y girasol, ya que estos productos cuentan con un mercado fijo nacional o extranjero. La capacidad de molienda de la materia prima para la extracción de estos aceites se detalla en la Tabla I-8. La cantidad de exportación y mercado interno de aceite comestible en Bolivia se muestra en la Tabla I-9.

Tabla I-8.

Empresas oleaginosas en Bolivia.

| Empresas | Origen del capital | Ubicación | Procesos | Productos | mercado interno | mercado externo | Principales destinos |
|--|--------------------|-----------------------|----------------------------------|--|-----------------|-----------------|--|
| Gravetal S.A | Colombia | Santa Cruz | Extracción | Tortas y aceites crudos de soya | | 100% | Colombia y Venezuela |
| Industrial Oleaginosas S.A | Bolivia | Santa Cruz | Extracción, refinación, envasado | Tortas, aceites crudos de soya y girasol, aceites refinados y margarinas de soya y girasol | 20% | 80% | Colombia , Venezuela y Ecuador |
| Industrias de Aceite S.A (IASA) | Perú y Bolivia | Santa Cruz-Cochabamba | Extracción, refinación, envasado | Tortas, aceites crudos, aceites refinados de soya y girasol | 50% | 50% | Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Chile |
| Granos Empresa de Servicios Agroindustriales S.R.L | Bolivia | Santa Cruz | Extracción, refinación, envasado | Tortas, aceites crudos, aceites refinados de soya y girasol | | | Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Chile |
| Cooperativa de Transformación Agroindustrial (ETASA) | Bolivia | Santa Cruz | Extracción, refinación, envasado | Tortas, aceites crudos, aceites refinados de soya y girasol | 75% | 25% | Chile y Perú |
| ITIKA S.A | - | Tarija | Extracción, refinación, envasado | Tortas, aceites crudos, aceites refinados de soya | - | - | - |

Fuente: Cadena Productiva del Aceite 2011.

Tabla I-9.

Disposición de Aceite comestible en Bolivia.

| Año | Producción de aceite comestible | Exportaciones de aceite de soya | | | Exportaciones de aceite de girasol | | | Disposición Mercado Interno (Tn) |
|------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| | | Peso Bruto (Tn) | Peso Neto (Tn) | Valor FOB(\$us) | Peso Bruto (Tn) | Peso Neto (Tn) | Valor FOB(\$us) | |
| 2005 | 123,577 | - | - | - | - | - | - | 123,577 |
| 2006 | 132,792 | - | - | - | - | - | - | 132,792 |
| 2007 | 168,119 | 34,801 | 32,642 | 30,322,532 | 5,529 | 5,276 | 5,905,650 | 130,202 |
| 2008 | 155,535 | 36,08 | 33,675 | 50,660,718 | 4,892 | 4,689 | 8,866,555 | 117,171 |
| 2009 | 132,756 | 21,882 | 20,667 | 24,443,659 | 5,158 | 4,971 | 5,893,384 | 107,118 |

Fuente: Cadena Productiva del Aceite 2011

No existe información estadística de aceites no tradicionales por ser obtenidos a nivel de laboratorios o escala piloto en centros de investigación.

1.2. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN MÁS UTILIZADOS.

Si partimos directamente de las semillas, estas deben ser limpiadas, descascarilladas y trituradas, pasando a un molino con lo que se divide finamente, permitiendo así una mejor extracción del aceite, donde un disolvente arrastra la materia grasa, siendo separadas en el evaporador, a la vez que se recupera el disolvente y vuelve al extractor.

La harina desengrasada es transportada a un separador de disolvente para eliminar trazas del mismo, aún presentes en la harina. El disolvente recuperado vuelve también al extractor. La extracción del aceite de una semilla oleaginosa por medio de lavado de solvente se puede realizar de tres maneras percolación, inmersión y extractores mixtos.

Extracto: Es la sustancia obtenida en forma concentrada de una parte de la materia prima mediante un solvente, el cual extraerá las propiedades esenciales y constitutivas requeridas.

Solvente: También llamado disolvente, es una sustancia mayoritaria en una solución la cual disuelve a uno o varios solutos formando una mezcla homogénea, en la que los compuestos preservan sus propiedades químicas, pero no las físicas.

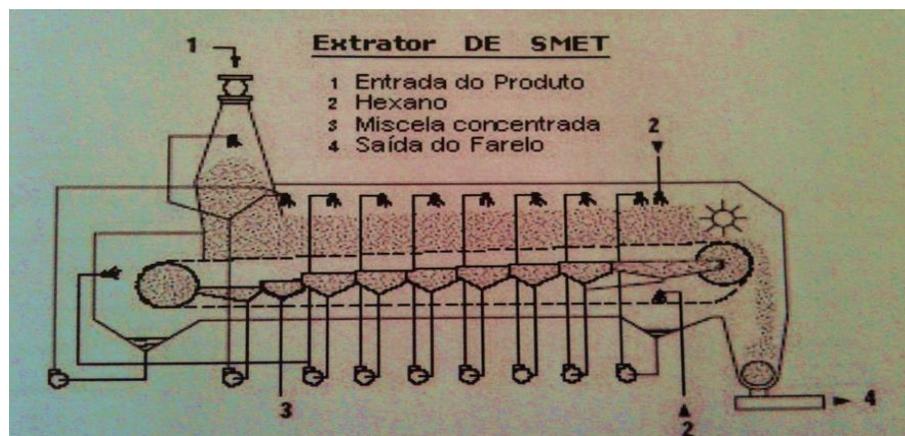
1.2.1. Percolación.

Se lleva a cabo mediante una lluvia del solvente de manera tal que llegue a toda la masa, pero sin llenar todos los espacios vacíos existentes entre las semillas. En otras palabras, se realiza una verdadera percolación cuando el disolvente envuelve a todas las partículas de las semillas con una película de líquido en continuo recambio. Para poder realizar el proceso por percolación es necesario que las partículas de la semilla tengan un tamaño que permita un fácil drenaje del solvente de la masa.

La velocidad del disolvente en contacto con la superficie de la semilla es grande ya que el líquido escurre velozmente por efecto de la gravedad. Debido a esto requiere de varios reciclados del mismo y se realizan varias etapas de lavado, con el fin de poner en contacto la semilla pobre en aceite con el disolvente de menor contenido en dicho producto y viceversa.

Figura I-1.

Extractor De Smet que opera por percolación.



Fuente: Bailey A.E. (1994).

La concentración de aceite en la micela de lavado en el proceso de percolación puede alcanzar valores muy altos por efecto del reciclado de la micela. Hoy en día los extractores por percolación han sustituido a los de inmersión debido a que tienen un coste de ejercicio más bajo, son menos voluminosos y pueden alcanzar gran capacidad de trabajo.

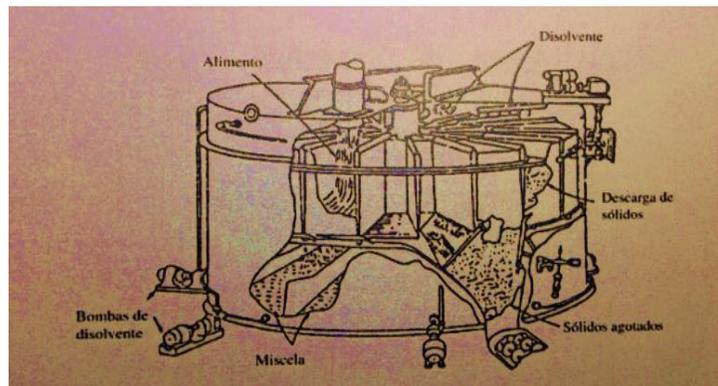
1.2.2. Inmersión.

En el proceso por inmersión, al encontrarse la semilla inmersa en el solvente, la velocidad de recambio del solvente sobre la superficie de las partículas es necesariamente lenta, incluso si circula rápidamente. El proceso por inmersión puede realizarse fácilmente aunque la semilla haya sido reducida a partículas de pequeños tamaños, con baja velocidad de paso del solvente, puede realizar una extracción continua con un perfecto lavado en contracorriente sin necesidad de recirculaciones.

Este proceso es el más adecuado para extraer el aceite de células aun enteras (extracción por difusión). El proceso de inmersión tiene una concentración de aceite muy baja llegando como máximo a un 15 %.

Figura I-2.

Extractor Rotocell que opera por inmersión.



Fuente: Bailey A.E. (1994)

1.2.3 Extractores Mixtos.

Por percolación e inmersión. Recientemente Italia ha diseñado un interesante extractor que ha encontrado rápidamente aplicación industrial y que está constituido por dos extractores en serie, de los cuales el primero trabaja por percolación que dura 30 min que extrae 80-90 % del aceite y el segundo por inmersión que dura 120 min.

Teniendo como ventajas elevada concentración de aceite en la micela, bajo aceite residual en harinas, posibilidad de trabajar con productos de elevada concentración en grasa y baja granulometría.

Una de las desventajas de este proceso es la necesidad de un riguroso control debido a que necesita equipamiento automatizado lo cual provoca un alto costo de producción e implementación de la planta.

El disolvente que más se utiliza es el “hexano” comercial. Este disolvente es económico y abundante producido por la industria petrolífera en condiciones de pureza adecuadas. Actualmente se han lanzado al mercado un disolvente compuesto principalmente por n-hexano que no deja residuo en la destilación.

Otros disolventes utilizados son el hexano técnico que está constituido de una fracción de éter de petróleo y que además de hexano contiene 2 y 3 metil pentano, así como dimetil butano que está exenta de sustancias aromáticas.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo general.

- Obtener aceite a partir de la semilla del mango mediante extracción a solvente n-hexano, en el departamento de Tarija.

1.3.2. Objetivo específicos.

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la semilla de mango para la obtención de aceite a partir de la semilla del mango mediante extracción a solvente n-hexano.
- Seleccionar el proceso de extracción de aceite de semilla de mango mediante extracción a solvente n-hexano.
- Formular la fase experimental para la obtención de aceite a partir de semilla del mango mediante extracción a solvente n-hexano.
- Caracterizar las propiedades físicas y calidad del producto obtenido: Aceite a partir de semilla del mango mediante extracción a solvente n-hexano.
- Analizar y valorar los resultados del proceso de obtención del aceite de semilla del mango mediante extracción a solvente n-hexano.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

1.4.1. Impacto Social.

La obtención de aceite de mango permite el aprovechamiento de la semilla de este fruto y el uso del producto obtenido en la elaboración de diferentes productos, ya que el aceite de mango tiene propiedades emolientes naturales, alta capacidad de oxidación, la cicatrización de heridas y la actividad regenerativa debido a su alta cantidad de ácidos grasos. Siendo un producto alternativo de los que ahora existen, realizado con material de desecho producido por la sociedad como es la semilla de mango.

Generará una concientización en el uso de los desechos orgánicos y las posibles bondades que estos pueden llegar a ofrecer en distintas áreas.

1.4.2. Impacto Tecnológico.

Actualmente se están desarrollando usos para la utilización de estos residuos, por ejemplo, la pectina obtenida de la piel de mango es comparable con la obtenida de la piel de cítricos, como también el apropiamiento de las nuevas tecnologías estudiadas en la extracción de aceites en los diferentes países del mundo, que permitan el aprovechamiento y uso de la semilla de mango para obtención de aceite de amplio uso doméstico e industrial como ser cremas hidratantes, protectoras contra la radiación UV ^[10].

1.4.3. Impacto Económico.

El aceite de mango extraído podría utilizarse como sustituto de los actualmente existentes, debido a que se trata de un producto alimenticio de gran valor, generando un mercado para este producto de forma comercial, para mejorar así el flujo económico en las distintas regiones productoras de mango.

Además de estar aprovechando un recurso que hasta ahora no se ha aprovechado que puede llegar a tener un valor monetario apreciable y que constituye una fracción considerable de desecho en las comunidades.

Se abre la posibilidad de utilizar grasa de semilla de mango en la Industria de Alimentos en México, de acuerdo a lo establecido por la norma NTE INEN-ISO 23275- 2014.

1.4.4. Impacto Ambiental.

El mango es un producto consumido como fruto fresco, como jugos o en conservas. La recuperación de la semilla como una materia prima es una iniciativa o un incentivo a la recolección del mismo ya que esto significa más ingresos para los productores. Lo que representaría una disminución del impacto visual ambiental y disminución de plagas provocado por los desechos del fruto, además de estar aprovechando un recurso que hasta ahora no se aprovecha en su plenitud.

1.4.5. Justificación Personal.

La falta de apoyo de las entidades gubernamentales en el aprovechamiento del fruto de mango en jugos, néctares y conservas a nivel industrial o microempresas provoca una gran pérdida de interés de los productores en el ampliado de cultivos de este fruto ya que no cuenta con un mercado estable para la distribución de este fruto. Las posibilidades futuras del aprovechamiento de los residuos del fruto como ser la semilla de mango en la obtención de aceite y alimento balanceado pueden generar un mercado estable para este producto, generando así un mayor ingreso económico en dichas empresas por dar un valor agregado a los residuos de su materia prima y captando mayor interés en los productores de los posibles programas de desarrollo de este fruto.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL MANGO.

El origen del mango ha sido tema de especulación durante muchos años, aunque se cree que su primera aparición fue durante el periodo cuaternario.

El mango procede originariamente del área indobirmana, probablemente cultivada por el hombre desde hace más de 4000 años. India, donde todavía hoy crecen selvas de mangos silvestres, sigue siendo la zona de cultivo principal de esta planta. Los mangos se han extendido a casi todas las áreas tropicales: hacia el sur y sudeste de Asia, a Australia, Madagascar, al este de África, Brasil, y Centroamérica. Crece también en zonas subtropicales de clima favorable como Florida, Sudáfrica, Israel, Chipre y Egipto.

Refiriéndonos a los subtrópicos, probablemente se introdujo en el sur de África en el siglo XVI a.C., pero no llegó a Canarias y Madeira hasta la segunda mitad del siglo XVIII y a EEUU (Florida y Hawái), Australia e Israel hasta el siglo XIX.

La llegada de esta fruta a América se debió a los portugueses, quienes en el siglo XVIII la introdujeron en Brasil, también fueron ellos quienes la introdujeron en África occidental. Los españoles, por su parte, contribuyeron en la expansión del mango por América, pues transportaron pequeños árboles productores de Filipinas a México. Su introducción en el sur de España no parece haberse producido hasta el siglo XX. Por otro lado, destacar que la obtención en 1910 en Florida del excelente cultivar "Haden" marcó el comienzo del desarrollo moderno de este cultivo^[4].

2.2. EL FRUTO DE MANGO.

El fruto del mango es una drupa carnosa, climatérica, de dimensiones y formas variables, incluyendo alargada, rectangular y ovalada o intermedia. Tiene una longitud aproximada de 10 cm a menores de 20 cm, el endocarpo es leñoso, grueso y fibroso, todo dependiendo de la variedad. El pericarpio es liso, uniforme, de color verde, verde amarillento o amarillo, aunque algunas variedades poseen matices rojo,

morado o anaranjado ^[4]. En la Figura II-1 se observa algunos frutos de mango en el árbol.

Figura II-1.

Frutos de mango (*Mangifera indica* L.).



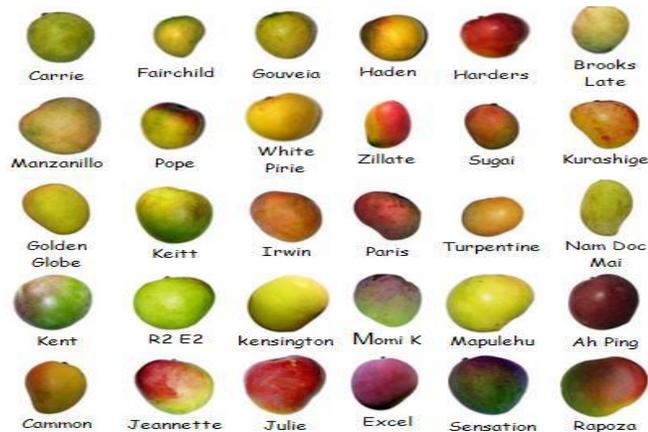
Fuente: Martha del pilar López Hernández (2013).

2.3. TIPOS DE MANGO.

Los tipos de mango se pueden reunir en tres grandes grupos. Del hemisferio occidental, con baja calidad del fruto y alto grado de poliembriónía, como es el caso de la variedad “Hilacha” o Magdalena river, muy conocida, Grupo Indochino o de Saigón, de frutos puntiagudos, generalmente más largos que anchos, coloración pobre, poco contenido de fibra y buen sabor, y por último el grupo de la India, con frutos de forma variables, de color rojo brillante, púrpura o amarillo, aromáticos y monoembriónicos ^[4].

Figura II-2.

Algunas variedades de mango comerciales.



Fuente: Agreda (2009).

2.4. COSECHA Y MADURACIÓN DEL MANGO.

Una maduración adecuada del mango y recolección es indispensable, ya sea para la venta del fruto fresco o en este caso para su procesamiento. El mango si se recolecta demasiado verde se produce una maduración no normal y desarrolla arrugamiento de la piel, sabor, color y aroma pobres, aún si se usan maduradores artificiales como el acetileno o etileno. Si se cosecha sobre madurado tampoco es bueno, ya que no se puede almacenar satisfactoriamente y se puede desarrollar una pulpa muy suave alrededor del hueso. La mayoría de los cultivadores de mango se fijan en el cambio de tono de la cáscara para recolectarlos, el cual va de verde embotado a olivo ^[5].

2.5. RECOLECCIÓN DE LA SEMILLA DE MANGO.

La recolección de materia prima (semilla de mango) se realizará de manera indirecta, ya que es considerado por la población en general como un desecho, limitando así la adquisición de la misma. La mayor parte de la producción de mango se consume fresco ya que no se cuenta en el país con una industria procesadora de jugo de este fruto.

Un posible modo de recolección para la semilla de mango sería mediante la retribución por la cantidad de semillas entregadas, dicha retribución puede ser monetaria o con el mismo fruto mango para la población en general y microempresas de despulpado existentes. Teniendo en cuenta que las pérdidas en la recolección en la población sean grandes, por el poco interés en este producto y su forma de recolección, se recomienda un estudio en la implementación de una planta procesadora de jugo o despulpado del mango.

2.6. COMPOSICIÓN DEL MANGO.

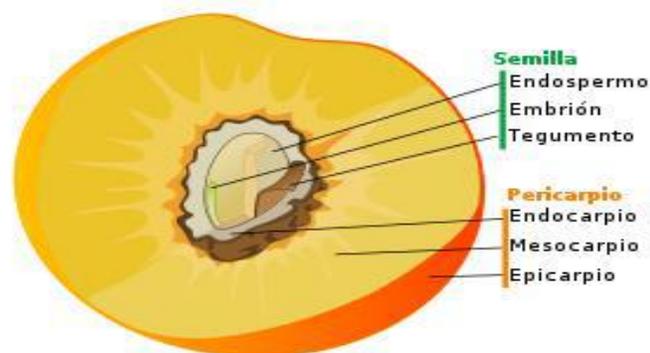
La semilla del mango abarca del 9 al 27% aproximadamente del peso total de la fruta. El color de la piel varía con la madurez y el cultivo. Su contenido de carotenoides aumenta durante su madurez; es buena fuente de provitamina A ^[5].

La parte comestible del fruto total corresponde entre el 60 y el 75%. El componente mayoritario es el agua en un 84%. El contenido de azúcar varía de 10-20% y de las proteínas en un 0.5%.

El ácido predominante es el ácido cítrico aunque también se encuentran el ácido málico, succínico, galacturónico, tartárico y oxálico en cantidades menores [5].

Figura II-3.

El fruto de mango y sus partes.



Fuente: Agronet (2012).

2.7. CONTENIDO NUTRICIONAL.

El mango es una fruta popular en su mayoría es consumido en estado fresco, ya que es considerado como una de las frutas tropicales más deliciosas. Representa una importante fuente nutritiva por su contenido en vitaminas y minerales como se muestra en la tabla II-1 [5].

Tabla II-1.

Contenido de nutrientes en promedio por 100 gramos.

| | |
|-----------------------|--------|
| Agua | 81.7% |
| Calorías | 66 cal |
| Proteína | 0.7 g |
| Grasa | 0.4 g |
| Carbohidratos totales | 16.8 g |
| Fibra | 0.9 g |
| Ceniza | 0.4 g |
| Calcio | 10 mg |
| Fósforo | 13 mg |
| Hierro | 0.4 mg |

Fuente: Facultad Nacional de Agronomía–Medellín (2012).

2.8. COMPOSICIÓN DE LA SEMILLA DE MANGO.

Propiedades nutricionales y composición de la semilla. La semilla de mango es rica en carbohidratos, proteína bruta, aceite y baja en fibra.

Tabla II-2.

Composición de la semilla de mango.

| Composición | % Base seca |
|----------------------|------------------------|
| Proteína cruda | 10.06 ± 0.12 |
| Aceite crudo | 14.80 ± 0.13 |
| Cenizas | 2.62 ± 0.025 |
| Fibra cruda | 2.40 ± 0.01 |
| Carbohidratos | 70.12 ± 1.34 |
| Contenido energético | 213.92 ± 4.32 kJ/100 g |

Fuente: Fowomola (2010).

Tabla II-3.

Contenido de vitaminas en la semilla de mango.

| Vitaminas | Cantidad (mg /100 g) |
|------------------|-----------------------------|
| A | 15.27 (UI) |
| E | 1.30 |
| K | 0.59 |
| B1 | 0.08 |
| B2 | 0.03 |
| B6 | 0.19 |
| B12 | 0.12 |
| C | 0.56 |

Fuente: Fowomola (2010).

Tabla II-4.

Composición de la almendra de mango.

| Componente | Cantidad |
|-------------------|-----------------|
| Humedad | 54,40% |
| Proteína | 6,00% |
| Grasa | 12,08% |
| Carbohidratos | 32,80% |
| Fibra cruda | 2,00% |
| Cenizas | 2,00% |
| Taninos | 0,39% |

Fuente: Inifap, 2005.

Los valores de las propiedades de la semilla de mango, se comparan con los valores reportados en estudios previos de la semilla y se muestran en la tabla II-5

Tabla II-5.

Composición de diferentes tipos de semillas de mango.

| Componente (%) | Tommy | Mango (FAO) | Egipcio |
|-----------------------|--------------|--------------------|----------------|
| Humedad | 64,27 | 44,4 | 50,7 |
| Ceniza | 1,86 | 2 | 2,5 |
| Grasa | - | 12,8 | 12,3 |
| Proteína | 12,04 | 6 | 6,7 |
| Fibra | 2.1 | 2 | 2,7 |

Fuente: Francy Juliette Rojas Morales 2011.

2.9. PRINCIPIO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN.

La extracción es una operación de separación por transferencia de materia en la que se ponen en contacto dos fases inmiscibles con objeto de transferir uno o varios componentes de una fase a otra. Si la mezcla original está en fase sólida y se pretende separar de ella un componente (solute) de otro (inerte) mediante su contacto con una fase líquida (disolvente) que lo disuelve selectivamente, se habla de una extracción sólido-líquido.

2.9.1. Lixiviación.

Operación unitaria cuya finalidad es la separación de uno o más componentes contenidos en una fase sólida, mediante la utilización de uno o más componentes contenidos en una fase líquida, mediante el uso de una fase líquida o disolvente. El componente o componentes que se transfieren de la fase sólida a la líquida recibe el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte.

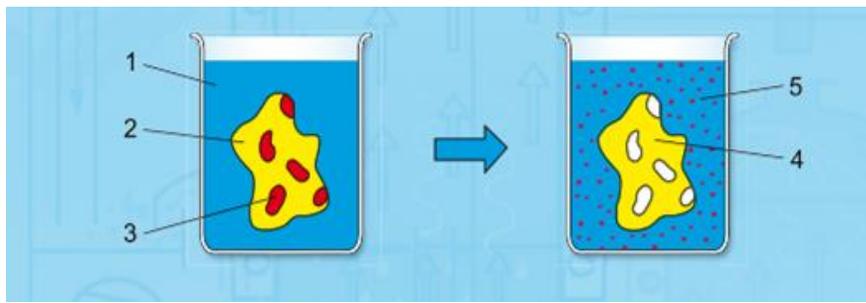
Entre más grande sea la superficie de contacto entre la parte sólida y el líquido que le atraviesa aumenta la eficiencia de la extracción y para que esto se de es necesario que la parte sólida se le someta a un pretratamiento, que normalmente es el secado y la molienda de la muestra.

Los componentes de este sistema son los siguientes:

- **Soluto.-** Son los componentes que se transfieren desde el sólido hasta en líquido extractor.
- **Sólido Inerte.-** Parte del sistema que es insoluble en el solvente.
- **Solvente.-** Es la parte líquida que entra en contacto con la parte sólida con el fin de retirar todo compuesto soluble en ella.

Figura II-4.

Soluto antes y después de la extracción.



Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química. Mc Graw Hill.

En el mecanismo de extracción de un soluto contenido en un sólido mediante un líquido, ocurren las siguientes etapas.

Cambio de fase del soluto.- Paso del soluto desde el sólido al líquido. Difusión del soluto en el disolvente contenido en los poros del sólido, dando transferencia del soluto desde el interior del sólido hasta la superficie del mismo, debido a la diferencia de concentración de este en la interface sólido-líquido (gradiente de concentración) y la superficie exterior del sólido.

$$N_S = - D_L \frac{dC}{dz} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

N_S = Densidad de flujo de materia en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

D_L = Difusividad del soluto a través del disolvente en $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$

C = Concentración de la disolución en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Z = distancia en el interior del poro en m.

Variables de la extracción sólido-líquido.- Como en el estudio de otras muchas operaciones, hay que considerar aquí el equilibrio que se tiende a alcanzar durante la operación y la velocidad con que se alcanza, en función de los diversos factores que pueden afectar a uno y a otra. El conocimiento que se posee de la interfase líquido-sólido es escaso y por ello el mecanismo primario del cambio de fase de un soluto presente inicialmente en forma sólida, de la cual depende como es lógico, la cinética del proceso, permanece oscuro, haciendo difícil el desarrollo de una teoría general para esta operación

- a. La naturaleza del soluto.
- b. La naturaleza del disolvente.
- c. La presión.
- d. La temperatura.

En el caso especial en que la velocidad es igual a cero y no hay reacción química, se utiliza la segunda ley de Fick

$$D_{AB} = \frac{d^2 c_A}{dx^2} + \frac{d^2 c_A}{dy^2} + \frac{d^2 c_A}{dz^2} = \frac{dc_A}{dt} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

D_{AB} difusividad del soluto A en el disolvente B (distancia/ tiempo)

El balance de cantidad de movimiento o la ecuación de movimiento (Ecuación Navier-Stokes) para la dirección x se vuelve:

$$\left(\frac{d^2 U_x}{dx^2} + \frac{d^2 U_x}{dz^2} \right) \nu = U_x \frac{dU_x}{dx} + U_z \frac{dU_x}{dz} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Si existe transferencia de calor entre el fluido y el sólido un balance general de energía proporciona:

$$\left(\frac{d^2 U_x}{dx} + \frac{d^2 U_x}{dz}\right)\alpha = U_x \frac{dU_x}{dx} + U_z \frac{dU_x}{dz} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Estas ecuaciones deben de ser resueltas junto con la ecuación de continuidad de forma simultánea.

$$\frac{dU_x}{dx} + \frac{dU_y}{dy} + \frac{dU_z}{dz} = 0 \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Todas las ecuaciones tienen la misma forma, si u_x , c_A y t y las tres difusividades de cantidad de movimiento ν , masa D_{AB} y calor α se reemplazan entre sí en los lugares apropiados en las ecuaciones.

Al resolver dichas ecuaciones, generalmente se sustituyen formas adimensionales de las variables

$$\frac{U_y(U_x, z=0=0)}{U_0(U_x, z=0=0)} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$\frac{C_A - C_{A,i}}{C_{A0} - C_{A,i}} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$\frac{t - t_i}{t_0 - t_i} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Entonces las condiciones de frontera se vuelven idénticas en $z = 0$ las tres variables son 0 y $z = \infty$, las tres son iguales a la unidad.

En consecuencia la forma de las soluciones, que proporcionan perfiles adimensionales de velocidad, concentración y temperatura, son iguales. Las pendientes iniciales de los perfiles de concentración, temperatura y velocidad proporcionan los medios para calcular los respectivos coeficientes de transferencia locales.

$$N_A = -D_{AB} \left(\frac{dC_A}{dz} \right)_{z=0} = k_L (C_{A, i} - C_{A0}) \quad \text{Ecuación 2.9}$$

La velocidad de transferencia de masa (N_A) de un soluto A, desde una partícula de sólido puro de superficie S, que se está disolviendo en un volumen de solución V es:

$$V \frac{dC_A}{dt} = N_A = S_p \cdot k_L (C_{A, s} - C_A) \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Para obtener la difusión acorde a la Segunda Ley de Fick, tal como han planteado numerosos autores (Fan y col., 1948; Carrín y Crapiste, 2008; Smith, 1952; Sineiro y col 1996; Sasmaz, 1996), deben darse las siguientes condiciones:

- El coeficiente de difusión debe ser una constante independiente del espesor o del radio de la partícula sólida.
- La estructura del sólido debe ser razonablemente homogénea.
- La distribución de aceite en la célula debe ser uniforme.
- El espesor de la lámina debe ser despreciable con respecto al largo de la misma, cuando el sólido se considere que es una lámina.
- Para el caso de láminas, el espesor de las mismas debe ser uniforme y el mismo para todas las láminas extraídas al mismo tiempo.
- Para el caso de esferas, el radio del sólido debe ser uniforme y el mismo para todas las partículas sólidas extraídas al mismo tiempo.

Coefficiente de transferencia de masa k_L : Se puede establecer una relación entre el fenómeno microscópico de difusión dentro del sólido y el fenómeno macroscópico de transferencia de masa desde la fase sólida hacia la fase líquida (Espinoza-Pérez y col, 2008). Los modelos desarrollados por otros autores incluyen movimiento del sólido (Carrín y Crapiste, 2008; Veloso y col, 2005) y variación de las condiciones del equilibrio (Thomas y col, 2005).

Cuando se establece el equilibrio, la concentración de aceite en la interfase se relaciona con la concentración de aceite en el seno de la miscela a través de la constante de equilibrio según la expresión (Geankoplis, 1998).

$$C = KC_L \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Para esfera porosa.

$$\frac{C_S - C_{Si}}{C_{S0} - C_{Si}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D_{ef} n^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Despreciando para tiempos largos los términos superiores y tomando derivada.

$$\frac{dC_S}{dt} = -\frac{\pi^2 D_{ef}}{r^2} (C_S - C_{Si}) \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Considerando que en el equilibrio la concentración de aceite en la interfase se relaciona con la concentración de aceite en el seno de la miscela a través de la constante de equilibrio, según la ecuación 2.13, se obtiene (Geankoplis, 1998).

$$\frac{\pi^2 D_{ef}}{r^2} (C_S - K_{eq} C_L) = \frac{k_L A}{V_S} (C_S - K_{eq} C_L) \quad \text{Ecuación 2.14}$$

A partir de la expresión de la ecuación 2.14 es posible estimar el coeficiente de transferencia de masa conociendo el coeficiente de difusión efectiva, según:

$$k_L = \frac{\pi^2 D_{ef} V_S}{r^2 A} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Haciendo un análisis a la ecuación 2.15 y remplazando los valores de sus respectivas ecuaciones como ser el área y volumen. Considerando que $r = \frac{D}{2}$.

$$k_L = \frac{4 \pi^2 D_{ef} \pi D^3}{6 D^2 \pi D^2} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

$$k_L = \frac{2 \pi^2 D_{ef}}{3 D} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Remplazando los valores en la ecuación 2.17 se tiene.

$$k_L = \frac{2 \pi^2 1.35 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}}{3.5 \times 10^{-4} m}$$

$$k_L = 1.776 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$$

Con lo que se puede concluir que k_L es directamente proporcional a D_{ef} multiplicado por una constante, D_{ef} es inversamente proporcional al diámetro de la partícula.

Tabla II-6.

Datos para el cálculo de la velocidad de transferencia de masa del aceite.

| Característica | Datos |
|--|-----------------------------|
| Tiempo | 4 h |
| Superficie de la semilla | $4.8 \times 10^{-3} m^2$ |
| Coefficiente de transferencia de masa (Analleli Jiménez Durán 2015). | $1.93 \times 10^{-5} m/s$. |
| Concentración del aceite final | $5.219 kg/m^3$. |
| Concentración del aceite inicial | $4.521 kg/m^3$. |
| Volumen de solvente usado | $2,3 \times 10^{-4} m^3$ |
| Tiempo de extracción | 4 h |
| Diámetro de la partícula de la semilla | $5 \times 10^{-4} m$ |
| Diámetro del cartucho | 0.04 m |
| Altura del cartucho | 0.10 m |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Coefficiente de difusión efectiva del n-hexano.

$$D_{ef} = 1.35 \times 10^{-5} \frac{cm^2}{s} * \frac{0.0001 m^2}{1 cm^2} = 1.35 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}$$

Volumen de la esfera.

$$V = \frac{\pi d^3}{6}$$

$$V = \frac{\pi (5 \times 10^{-4} m)^3}{6} = 6.545 \times 10^{-11} m^3$$

Área de una esfera.

$$A = \pi d^2$$
$$A = \pi(5 \times 10^{-4} \text{ m})^2 = 7.854 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

Superficie del cartucho

$$S = (2 * r * (r + h)) + \pi r^2$$
$$S = (2 * 0.02 \text{ m} * (0.02 \text{ m} + 0.10 \text{ m})) + \pi * (0.02 \text{ m})^2$$
$$S = 6.056 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Constante de transferencia de masa k_L .

$$k_L = \frac{\pi^2 D_{ef} V_s}{r^2 A}$$
$$k_L = \frac{\pi^2 * 1.35 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 6.545 \times 10^{-11} \text{ m}^3}{(2.5 \times 10^{-4} \text{ m})^2 * 7.854 \times 10^{-7} \text{ m}^2} = 1.78 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N_A = S_p \cdot k_L (C_{A, s} - C_A)$$

$$N_A = 6.056 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 1.78 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} \left(5.219 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 4.521 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$
$$N_A = 7.53 \times 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

La masa extraída de aceite en la práctica es de $7.22 \times 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

La masa calculada para la extracción de forma teórica es de $7.53 \times 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

Como se puede apreciar la diferencia entre los resultados obtenidos de forma teórica tienen una variación, no muy alejada de la real obtenida en laboratorio. Concluyendo así que los datos obtenidos en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango son aceptables.

2.9.2. Selección del proceso.

Para llevar a cabo la extracción, se seleccionó el proceso más adecuado y viable para este estudio mediante comparación con diferentes procesos.

Se representa con un valor numérico las comparaciones entre los distintos métodos de extracción, siendo el menor 1 y el mayor puntaje 5, como se muestra en la tabla II-7.

Tabla II-7.

Puntuación por grado de aceptación.

| Clasificación | Puntuación |
|----------------------|-------------------|
| Muy baja | 1 |
| Baja | 2 |
| Media | 3 |
| Alta | 4 |
| Muy alta | 5 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla II-8.

Selección del proceso de extracción.

| Descripción | Lixiviación por inmersión | Lixiviación por percolación | Lixiviación mixta |
|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Velocidad de recambio del solvente | 2 | 4 | 3 |
| Alta velocidad de paso del disolvente | 2 | 4 | 3 |
| Concentración del aceite extraído | 2 | 4 | 5 |
| Costo de construcción | 2 | 2 | 4 |
| Costo de producción del aceite | 3 | 2 | 4 |
| Cantidad de solvente a usar | 4 | 2 | 4 |
| Presencia del equipo en UAJMS | No existente | Existente | No existente |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla II-8, el proceso más favorable es el de lixiviación por percolación, debido a que el equipo a ser usado es más accesible y se encuentra en las instalaciones de la UAJMS, como también el bajo consumo de solvente en el equipo y a su alta efectividad y bajos costos de operación.

2.9.3. Variables de extracción.

Los factores más importantes que influyen sobre la velocidad de extracción son:

- **Tamaño de las partículas sólidas.** Evidentemente cuanto más pequeñas sean, mayor es la superficie interfacial y más corta la longitud de los poros. Por tanto mayor es la velocidad de transferencia. Sin embargo, tamaños excesivamente pequeños pueden hacer que las partículas se apelmacen dificultando la extracción.
- **Tipo de disolvente.** El disolvente debe ser lo más selectivo posible y se recomienda de baja viscosidad.
- **Temperatura.** Un aumento de la temperatura favorece la solubilidad y aumentan los coeficientes de transferencia de materia. El límite superior se fija atendiendo a criterios de calidad del producto, criterios económicos y de seguridad con respecto al disolvente.
- **Agitación del disolvente-soluto.** Favorece la transferencia por aumento de coeficientes de transferencia de materia en la interfase solido-líquido. Además se evita la sedimentación y apelmazamiento de las partículas sólidas.

Por otro lado, la destilación es una operación básica mediante la cual se separan dos o más compuestos de una mezcla líquida empleando calor (agente energético de separación) para generar una fase vapor enriquecida en los compuestos más volátiles, quedando la fase líquida enriquecida en los compuestos menos volátiles.

Las fases líquida y vapor generadas se encuentran en equilibrio termodinámico, de tal forma que la composición de ambas fases dependerá de las diferencias entre las

presiones de vapor de los componentes puros. Cuanto más diferentes sean las presiones de vapor de los compuestos puros más fácilmente se separan los compuestos puesto que presentarán puntos de ebullición más diferentes, quedando pues los componentes más volátiles contenidos mayoritariamente en la fase vapor.

La fase vapor generada posteriormente se llevará a un condensador para obtener un producto destilado final en forma líquida. Esta operación de destilación permitirá separar el soluto del disolvente, permitiendo la reutilización del disolvente recuperado.

2.10. SOXHLET.

La extracción Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas:

- Colocación del solvente en un balón.
- Ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo.
- El condensado cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior.
- Ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que vuelve el solvente con el material extraído al balón.
- Se vuelve a producir este proceso la cantidad de veces necesaria para que la muestra quede agotada. Lo extraído se va concentrando en el balón del solvente.

2.10.1. Preparación de la muestra.

La operación comienza por la preparación de la muestra. Cada sistema de trabajo tiene su manera de preparar la muestra, con frecuencia debe ser dividida en fragmentos de mayor o menor tamaño, en el caso de la madera se la muele en molino de cuchillas hasta que el 90% del material pase por malla de 40 mesh. Con esta muestra así alistada se carga el cartucho de extracción.

2.10.2. Cartuchos.

Este cartucho consiste en un recipiente cilíndrico con base semiesférica para que apoye perfectamente en la base del equipo extractor y sea además más resistente. Los materiales más utilizados son: el algodón prensado y la porcelana porosa. Los cartuchos se llenan hasta la mitad o un poco más y en lo posible no es conveniente comprimir demasiado la muestra para que no se vea impedida la difusión.

2.10.3. Tapón del cartucho.

Una vez cargado el material que se puede hacer con la mano en caso de hojas, tallos etc., o bien con un embudo o con una cuchara de cocina si está molido, se debe colocar un tapón por si acaso la muestra tienda a flotar e irse del cartucho. El más utilizado es el hecho con una torunda de algodón envuelta o no en gasa. Dado que las paredes del cartucho suelen ser ásperas hay que conseguir que el tapón llegue al fondo por medio de los dedos o de una espátula

2.10.4. Colocación del solvente.

La cantidad de solvente debe ser la necesaria para que al ascender al cartucho y antes de que se haga la sifonada, no quede seco el balón inferior porque de esa manera, se seca la muestra y se quema, o cuando caiga el líquido de la sifonada sobre el vidrio recalentado se puede producir una explosión de los vapores con el consiguiente riesgo de accidente. Si la cantidad a agregar no está estipulada en la norma, se carga el solvente desde arriba, lentamente, para que vaya cubriendo el cartucho y luego produzca el rechupe. Esta es la cantidad mínima, pero como durante la operación hay pérdida del solvente por evaporación, y además debe quedar una cantidad mínima en el balón para que no se concentre el extracto demasiado, hay que agregar por lo menos una cantidad semejante en exceso.

2.10.5. Operación de extracción.

Una vez que el equipo está armado, abierta el agua el refrigerante, cargado el cartucho con muestra e introducido el solvente, sólo resta encender el calentador y comenzar la operación. Llegada la temperatura a la de ebullición del solvente éste comienza a evaporarse y luego de que calienten las paredes del equipo, comienza a condensar en el refrigerante y a caer en forma de gotas sobre el cartucho.

2.10.6. Culminación de la operación.

Una vez que se ha dado por terminada la operación de extracción, es conveniente esperar un cierto tiempo para que el sistema se enfríe hasta que sea fácil manipularlo. A continuación no hay que olvidarse de cerrar el agua de refrigeración para no realizar consumo innecesario. Una vez desarmado el equipo se extrae el cartucho que está saturado de solvente y se coloca en un sitio aireado o en la campana para que se seque la muestra.

2.11. METODOLOGÍA A SER EMPLEADA EN EL ESTUDIO.

Los pasos que forman parte de la metodología a usar se describe a continuación.

2.11.1. Limpieza y separación de la semilla.

Se realizará la limpieza de forma manual para eliminar las impurezas presentes, tales como, la piel, la pulpa, cascarilla, etc. Todos estos elementos extraños deben ser separados porque pueden originar variaciones en el proceso de extracción ^[5].

Antes de la extracción del aceite, las semillas deben descascarillarse. La cascarilla no suele contener aceite, corrientemente no más del 1%.

A nivel laboratorio si se intenta separar totalmente la cascarilla, se pierde aceite en una porción de partículas que se va con la cáscara. Si se deja una cantidad excesiva de cascarilla, se perderá aceite por absorción en esta. Las semillas de reducido tamaño, así como la quinua, linaza, colza, sésamo, etc., se manipulan sin descascarillar o estas se separan después del tamizado una vez molturadas ^[5].

2.11.2. Secado de la semilla.

La humedad de las semillas es un factor que afecta a la afinidad entre aceites y el resto de estos, pudiéndose controlar por medio del secado, es por esta razón que el objetivo de este proceso se puede resumir en lo siguiente: coagulación de las proteínas de las semillas, agrupando el aceite disperso y haciendo a los sólidos de las semillas permeables al flujo de aceite, pero las proteínas anhidras no se coagulan con facilidad y muestran señales de descomposición por calor, entonces lo que se busca es un grado de humedad óptimo, ya el agua ayuda también al paso del aceite a través de la superficie de la materia sólida, por su mayor afinidad fisicoquímica con esta.

A nivel laboratorio, el secado se llevará a cabo en estufas eléctricas a 100°C y el periodo de tiempo depende de la humedad al que se debe llegar para favorecer la extracción de aceite ^[5].

2.11.3. Molienda de la semilla.

La transformación de las semillas oleaginosas en partículas pequeñas facilita la extracción de aceite, tanto por un efecto de rompimiento ejercido por la trituración, como por la disminución de las distancias que deben recorrer el aceite y el disolvente, dentro y fuera de la semilla. Se ha mostrado que el factor que regula la velocidad de la extracción, es con toda seguridad, la resistencia interna de las partículas a la difusión molecular del aceite y el disolvente. Sin embargo, se debe tener en cuenta, en la práctica, otros factores, tales como la resistencia mecánica de la partícula y la que opone la masa de ellas al paso del disolvente. Por lo cual, no se suelen triturar las semillas para la extracción hasta el tamaño mínimo ya que estas se pueden apelmazar ^[5].

Esta operación a nivel laboratorio se realiza en un molino de cuchillas, el cual reduce el tamaño de las partículas de las semillas, permitiendo la ruptura de las células que facilita la liberación del aceite ^[5].

2.11.4. Extracción de aceite por disolvente.

Con frecuencia se suelen realizar extracciones no normalizadas, por eso es conveniente saber el rango de los puntos de ebullición de las sustancias que se pueden utilizar en el extractor soxhlet.

En la tabla II-9, se expone una lista de los solventes comunes utilizados en las extracciones con soxhlet, las mismas que pueden variar dependiendo de la zona donde se encuentren ^[8].

Tabla II-9.

Punto de ebullición de solventes.

| Compuesto | Temperatura (°C) |
|------------------|-----------------------------|
| Éter | 35 |
| Dicloro metano | 40 |
| Éter de petróleo | 35-40 |
| Cloroformo | 62 |
| Metanol | 65 |
| Etano-benceno | 65 |
| Hexano | 69 |
| Etanol-tolueno | 73 |
| Acetato de etilo | 77 |
| Etanol-tolueno | 78 |
| Benceno | 80 |
| Ciclo hexano | 81 |
| Ácido fórmico | 101 |
| Dioxano | 102 |
| Tolueno | 111 |

Fuente: Núñez, 2008

El hexano es una de las más empleadas y la que generalmente se prefiere en la extracción de aceite de las semillas oleaginosas.

El n-hexano está prácticamente libre de compuestos de nitrógeno o azufre y de hidrocarburos no saturados y dejan por evaporación un residuo inferior al 0.0016%.

Su estabilidad es suficiente como para volverlo a emplear indefinidamente y es asequible en cantidades prácticamente ilimitadas. La única desventaja para su empleo es su extrema inflamabilidad, las instalaciones es necesario tomar toda clase de precauciones para evitar incendios o explosiones^[8].

2.12. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

El diagrama de bloques correspondiente a los procesos de extracción del aceite de la semilla de mango a nivel de laboratorio se presenta en la figura II-5.

Figura II-5.

Diagrama de bloques para la extracción de aceite de semilla de mango.



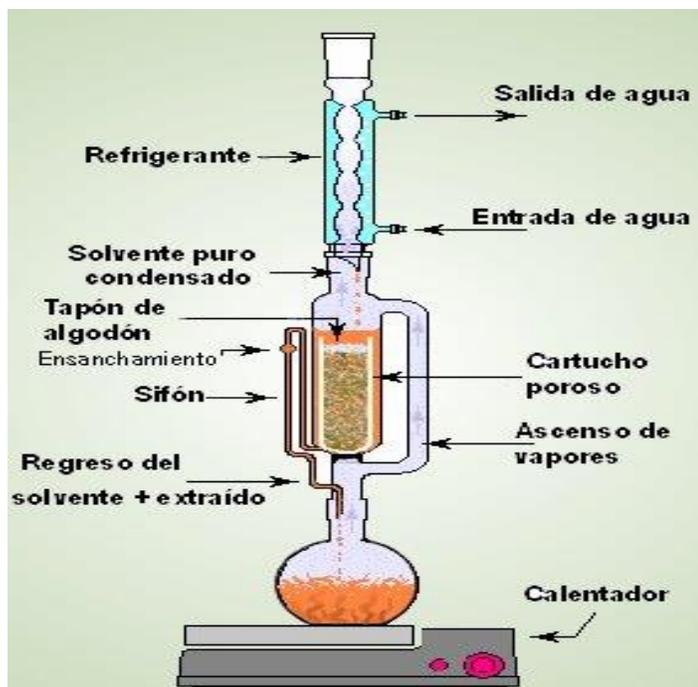
Fuente: Elaboración propia 2017

A continuación se explica las etapas de forma resumida.

- **Recepción de la semilla de mango:** Una vez recibida la semilla de mango debe ser almacenada a temperatura ambiente y en un lugar seco.
- **Limpieza:** Se realizará el pelado y despulpado manualmente, asegurándose de quitar toda la piel que rodea a la semilla para eliminar las impurezas tales como la piel, la pulpa, la corteza de la semilla, semillas defectuosas, etc.
- **Secado:** El secado se realizará en estufas eléctricas a 100 °C 2 h, hasta llegar a una humedad óptima.
- **Molienda:** Esta operación se efectúa en un molino de cuchillas, el cual reduce el tamaño de las partículas de las semillas de mango, permitiendo la ruptura de las células lo que facilita la liberación del aceite de estas, el tamaño promedio de la partícula es de 0.50 mm.
- **Extracción con solvente:** La extracción de aceite se realizará en un extractor soxhlet, que es armado como se indica en la figura II-6, la semilla de mango molida se introduce en un cartucho de papel filtro en donde se pone en contacto con el solvente, con lo cual se realizará la extracción, el proceso continuo hasta que no se observan restos de aceite en el papel filtro donde está contenida la semilla molida^[8].
- **Evaporación del solvente:** El solvente mezclado con el aceite extraído es evaporado en un rota vapor, en donde se realiza la separación del solvente y el aceite.
- **Almacenamiento:** El aceite extraído se debe almacenar en botellas de vidrio ámbar y protegidas de la luz.

Figura II-6.

Equipo soxhlet en el momento que produce el sifonamiento del solvente.



Fuente: Núñez, 2008.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. INTRODUCCIÓN.

La parte experimental del presente trabajo de investigación, “extracción de aceite de semilla de mango” se realizó en los laboratorios del CEANID de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de la ciudad de Tarija.

3.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS Y MATERIAL NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

Los materiales, equipos e instrumentos del laboratorio necesarios para la realización de la parte experimental.

3.2.1. Balanza analítica.

En la figura III-1 se muestra una balanza usada para el control de peso en todos los procesos que forman parte de la extracción de aceite de semilla de mango las principales características se muestran en la Tabla III-1.

Figura III-1.

Balanza analítica.



Fuente: elaboración propia 2017

Tabla III-1.

Características de la balanza.

| Características | Rango |
|--------------------------|----------------|
| Voltaje | 220 V |
| Alimentador externo | 50 Hz |
| Consumo | 14 VA |
| Tiempo de estabilización | 2-3 segundos |
| Dimensiones | 210*355*120 mm |
| Peso | 6,4 kg |
| Temperatura de trabajo | 10-40 °C |

Fuente: Elaboración propia 2017

3.2.2. Estufa Eléctrica.

En la figura III-2, se muestra la estufa eléctrica que se usa en el proceso de secado de la almendra de mango, las características principales se muestran en la Tabla III-2.

Figura III-2.

Estufa Eléctrica.



Fuente: elaboración propia 2017

Tabla III-2.

Características de la estufa eléctrica.

| Características | Rango |
|------------------------|------------------|
| Rejillas | 3 |
| Bandejas | 4 |
| Temperatura máxima. | 350 °C |
| Temperatura mínima. | 25 °C |
| Material | Acero inoxidable |
| Control | Programable |
| Dimensiones | 700*500*500 mm |
| Estabilidad | 15 °C |
| Sensibilidad | 1 °C |

Fuente: elaboración propia 2017.

3.2.3. Molino eléctrico.

En la figura III-3 se muestra un equipo para la trituración de la almendra de la semilla de mango.

Figura III-3.

Molino de cuchillas eléctrico.



Fuente: Elaboración propia 2017

3.2.4. Tamiz vibratorio.

En la figura III-4 se muestra un equipo de tamiz vibratorio que se utiliza para el clasificado granulométrico de la almendra deshidratada de mango las características principales de este equipo se detallan en la tabla III-3.

Figura III-4.
Tamiz vibratorio.



Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla III-3.
Características del tamiz vibratorio.

| Características | Rango |
|------------------------|--------------------------------------|
| Voltaje | 380,220,110 V |
| Energía | 125 W |
| Tipo | circular |
| Capa | 1-8 capas |
| Material | Acero inoxidable |
| Peso | 50 Kg |
| Dimensión | 360*300*736 mm |
| Frecuencia | 50-60 Hz |
| Número de modelo. | ZY-200 laboratorio de tamiz vibrante |
| Mallas | 4,2,1,0.71,0.5,0.25,0.0065 mm |

Fuente: Elaboración propia 2017.

3.2.5. Calentador eléctrico.

En la figura III-5 se muestra el calentador eléctrico que se usa en la extracción de aceite de semilla de mango.

Figura III-5.
Calentador eléctrico



Fuente: Elaboración propia 2017.

El material de laboratorio necesario para realizar la investigación se detalla a continuación.

- Caja Petri de vidrio.
- Cucharilla de metal.
- Desecador de vidrio.
- Cartuchos de celulosa.
- Matraces aforados de vidrio.
- Embudo de vidrio.
- Soxhlet.
- Refrigerante.
- Pinzas de metal.
- Soporte universal de metal.
- Frascos ámbar de vidrio.

3.3. MATERIA PRIMA.

La materia prima que se utilizó en el trabajo de investigación fue la manga manzana (Tommy Atkins), proveniente de Villa Montes adquiridas en el mercado campesino de la ciudad de Tarija.

3.3.1. Reactivos químicos.

El solvente a utilizar para la extracción de aceite de semilla de mango es n-hexano: Reactivo químico utilizado como solvente en la extracción de aceites de semillas de fórmula química C_6H_{14} . Es un líquido incoloro y transparente de olor característico e inmiscible en agua. En lo que se refiere a sus propiedades fisicoquímicas se detallan en la Tabla III-4.

Tabla III-4.

Propiedades físicas y químicas del n- hexano.

| Propiedades | Rango |
|-----------------------------|-------------------------|
| Densidad a 20° C. | 0,66 gr/cm ³ |
| Punto de ebullición. | (63-69) °C |
| Punto de fusión. | -95°C |
| Temperatura de inflamación. | -22°C |
| Temperatura de ignición. | 240°C |
| Límite de explosión. | (1,1/7,4)% volumen |

Fuente: Núñez 2008.

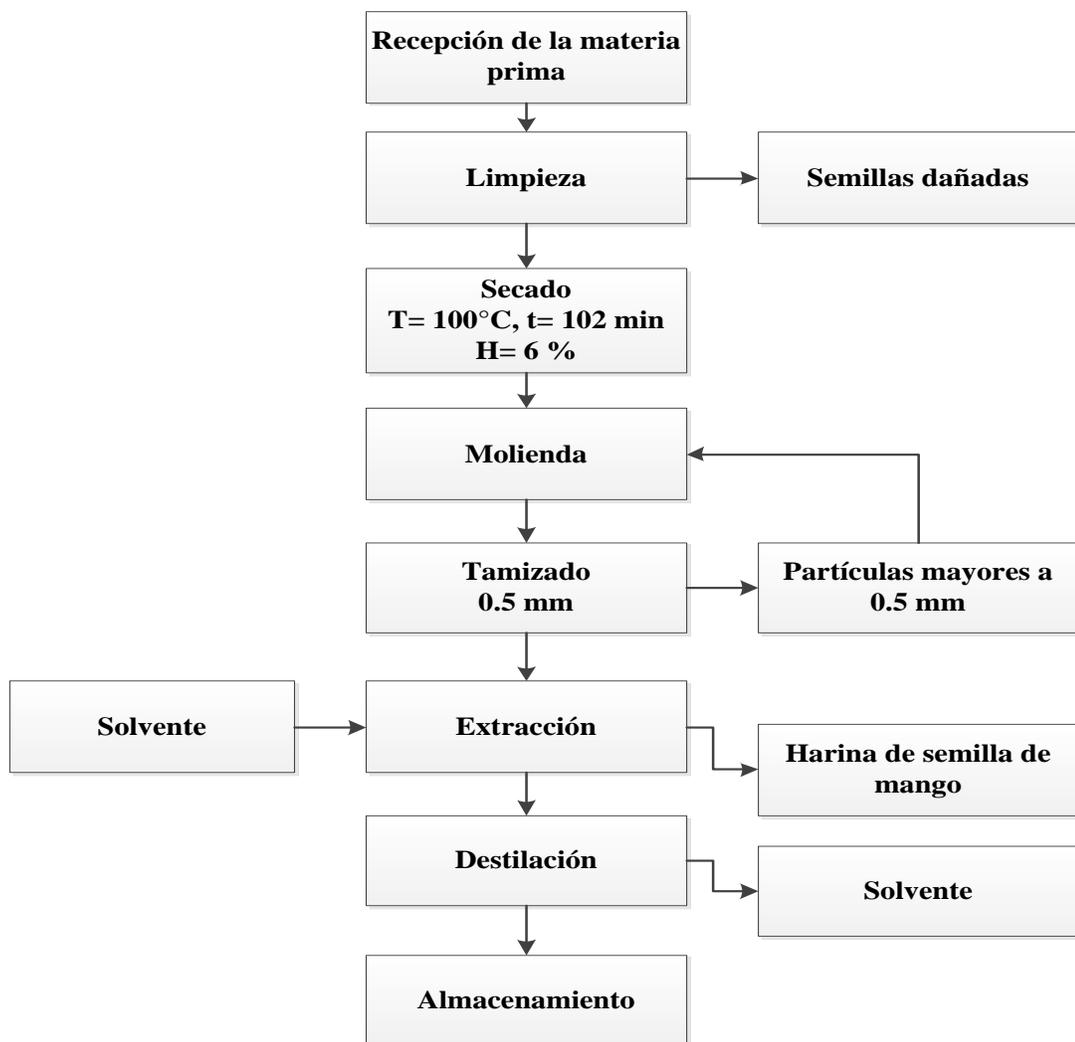
Este reactivo cuenta con indicaciones de peligro que son: elevada toxicidad si es ingerido o si absorben sus vapores, altamente inflamables y muy volátil. Por lo que resulta oportuno aclarar que durante su manipulación se tomaron las precauciones para evitar los riesgos indicados anteriormente.

3.4. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

Los procesos que forman parte de la obtención de aceite de semilla de mango, se describen a continuación en el diagrama de bloques en la figura III-6.

Figura III-6.

Diagrama de flujo para la extracción de aceite de semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Recepción de la materia prima.

La materia prima utilizada en la obtención de aceite de semilla de mango fue la manga manzana (Tommy Atkins), proveniente de Villa Montes. Adquiridas en el mercado campesino de la ciudad de Tarija.

3.4.2. Limpieza.

La limpieza de la materia prima se realizó de forma manual en el pelado y despulpado del fruto del mango, separando de esta manera la semilla o materia prima necesaria.

Se realizó el pesado de la cáscara del mango, pulpa y semilla del mango para el cálculo de los porcentajes aproximados del fruto manga manzana (Tommy Atkins).

Una vez finalizado el pelado y despulpado del fruto, se realizó la extracción de la corteza de la semilla de forma manual para la obtención de la almendra de mango, siendo esta la materia prima necesaria para el estudio.

3.4.3. Secado.

Para realizar el secado de la almendra de mango, se aplicó en método gravimétrico, que consistió en pesar 500 g de materia prima y llevarla a una estufa eléctrica a 100° C durante 92 min, tiempo necesario para regular el contenido de humedad de la almendra de mango a 6% para la molienda del mismo.

3.4.4. Molienda.

El objetivo de la molienda, es la disminución del tamaño de la almendra de mango para aumentar la superficie de contacto con el solvente, reduciendo el tiempo de extracción. Para este fin, la semilla obtenida del secado paso por el proceso de molienda, donde se usó un molino eléctrico con el fin de moler el grano hasta obtener harina de almendra de mango con un tamaño de partícula entre (0.25 y 0.50) mm.

3.4.5. Tamizado.

La harina de almendra de mango obtenida en la molienda, pasó por un tamiz vibratorio (equipo provisto con 3 platos), con la finalidad de realizar una clasificación granulométrica, la abertura de las mallas son: 0.25mm; 0.50mm y 1mm. El tiempo de tamizado fue de 15 min.

Las partículas mayores a 0.50mm. Fueron llevadas al proceso de molienda hasta obtener el tamaño de partícula deseado.

3.4.6. Extracción.

Para el proceso de extracción de aceite de almendra de mango, se aplicó el método gravimétrico, mediante el uso de un equipo soxhlet como muestra la figura III-6.

Figura III-7.

Equipo soxhlet.



Fuente: Elaboración propia 2017.

El calentador eléctrico termostatzado, es capaz de trabajar con un sólo equipo soxhlet. Para evitar el consumo excesivo de agua por parte del refrigerante, se armó cuatro equipos de extracción en serie como muestra la figura III-7.

Figura III-8.
Equipos soxhlet.



Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Cartuchos de extracción.

En primer lugar se elaboró de forma manual el cartucho de celulosa que se utilizó como contenedor de la muestra dentro del equipo, este cartucho consiste en un recipiente cilíndrico con base semiesférica para que apoye perfectamente en la base del extractor. Se utilizó papel filtro para la elaboración de dichos cartuchos.

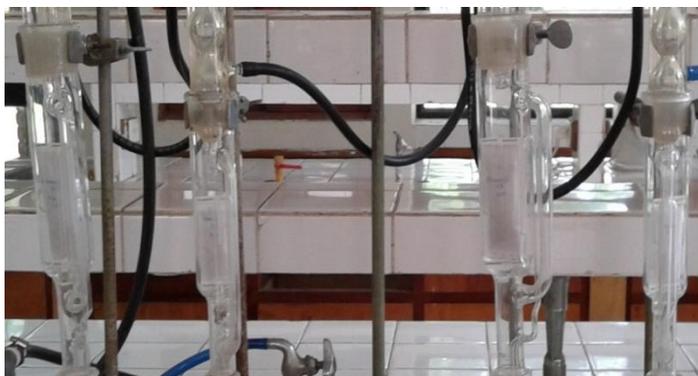
3.4.8. Cargado de harina de semilla de mango.

El cargado se realizó pesando 10 g de harina de semilla de mango, con la ayuda de una espátula se introdujo dentro del cartucho de extracción seguidamente se cerró el cartucho, con la finalidad de evitar que la harina de semilla de mango sea arrastrado por el solvente en el proceso de extracción.

Se codificaron los cartuchos de acuerdo al tamaño de partícula de harina para luego introducirlos en el extractor soxhlet.

Figura III-9.

Cartuchos introducidos en el equipo soxhlet.



Fuente: Elaboración propia

3.4.9. Cantidad de solvente a utilizar.

Para la obtención de aceite de semilla de mango se utilizó el solvente n-hexano, se procedió a verter aproximadamente 230 ml de solvente en un matraz de boca esmerilada.

Es importante que el solvente al ascender al cartucho y antes que se provoque el sifonamiento el matraz no quede sin solvente debido a que la muestra puede llegarse a quemar.

3.4.10. Funcionamiento del equipo soxhlet.

Una vez armada la batería de equipos soxhlet, se procedió a regular el flujo de agua de los refrigerantes. Se elevó la temperatura a 150 °C con la finalidad de comenzar el proceso de ebullición del solvente con la consecuente evaporación del mismo, que sube por las paredes del extractor soxhlet hasta llegar al refrigerante donde se condensa y desciende en forma de gotas sobre el cartucho.

Transcurrido 5 min. De la condensación, el cartucho se encuentra completamente sumergido en solvente hasta un punto en que el soxhlet alcanza su tope de llenado y se produce el primer sifonamiento como se muestra en la figura III-9.

Figura III-10.

Sifón cargado de solvente.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.11. Proceso de destilación.

El proceso de destilación se realizó en el mismo equipo soxhlet, una vez terminada la extracción se retiró el cartucho de extracción para realizar la recuperación del solvente.

Este proceso dura alrededor de 15 min donde el indicador del punto final de la recuperación del solvente, termina cuando se observa una recuperación completa del solvente del balón.

3.4.12. Aireación.

El proceso de aireación consistió en llevar el aceite obtenido del proceso al contacto con el ambiente alrededor de 6 h con la finalidad de eliminar el resto del solvente remanente.

3.4.13. Almacenamiento.

El aceite obtenido fue almacenado en frascos de vidrio de color ámbar con la finalidad de protegerlo de oxidación y la rancidez.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental es una prueba en las cuales se introducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sean posibles observar e identificar las causas de los cambios de la respuesta de salida. [8].

Suele ser posible visualizar el proceso como una combinación de métodos que transforman alguna entrada en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas de las variables del proceso X_1, X_2, \dots, X_p son controlables, mientras que otras Z_1, Z_2, \dots, Z_q son incontrolables [13].

En los objetivos de un diseño experimental pueden incluirse:

- Determinar que variables tienen influencia en la respuesta “Y”
- Determinar el mejor valor de las “X” que influyen en “Y” de modo que tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.
- Determinar el mejor valor las “X” que influyen de modo que la variabilidad de “Y” sea pequeña.
- Determinar el mejor valor de las “X” de modo que minimicen los efectos de las variables incontrolables.

3.6. DISEÑO FACTORIAL.

Los diseños factoriales, son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Se conocen distintos métodos generales para el análisis de diseños factoriales, sin embargo, existen varios casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes porque se usan ampliamente en el trabajo de investigación, y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico.

El más importante de estos casos especiales ocurre cuando se tienen “k” factores, cada uno con dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos como sería el caso de dos valores de temperatura, presión o tiempo. También pueden ser cualitativos como sería el caso de dos máquinas, operadores, los niveles superior e inferior de un factor o quizás la ausencia o presencia de un factor. [13].

Una réplica completa de tal diseño requiere que se recopilen: 2^k observaciones, siendo un diseño factorial conocido como:

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde:

k = número de parámetros o factores.

2 = número de niveles.

Uno de los diseños de serie 2^k , es el 2^3 , que indica que tiene 3 factores o parámetros, cada una con dos niveles.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

Para la realización del diseño experimental en el proceso de extracción de semilla de mango, se aplica el siguiente diseño factorial.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ pruebas.}$$

Donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

- Tamaño de la partícula (T_p) = 2 niveles.
- Tiempo (t) = 2 niveles.
- Humedad (H) = 2 niveles.

En la tabla III-5, se exponen los niveles de variación de los factores en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.

Tabla III-5.

Niveles de variación de los factores en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.

| Factor | Nivel mínimo | Nivel máximo |
|------------------------------|---------------------|---------------------|
| Tamaño de la partícula (mm). | 0.25 mm | 0.5 mm |
| Tiempo (h) | 3 h | 4h |
| Humedad | 3 % | 6 % |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla III-6.

Matriz de variables para el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.

| Corridas | Combinación de tratamientos. | Factores | | | Porcentaje de aceite extraído |
|-----------------|-------------------------------------|----------------------|----------|----------|--------------------------------------|
| | | T_p | t | H | |
| 1 | (1) | -1 | -1 | -1 | Y ₁ |
| 2 | A | 1 | -1 | -1 | Y ₂ |
| 3 | B | -1 | 1 | -1 | Y ₃ |
| 4 | Ab | 1 | 1 | -1 | Y ₄ |
| 5 | C | -1 | -1 | 1 | Y ₅ |
| 6 | Ac | 1 | -1 | 1 | Y ₆ |
| 7 | Bc | -1 | 1 | 1 | Y ₇ |
| 8 | Abc | 1 | 1 | 1 | Y ₈ |

Fuente: Elaboración propia 2017.

CAPÍTULO IV
CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1. LIMPIEZA Y ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.

Se realizó de forma manual el pelado, despulpado y pesado del fruto para la obtención de un porcentaje aproximado, detallados en las tablas a continuación.

Tabla IV-1.

Pesado de las partes del fruto mango.

| ° N | Fruto (gr) | Pulpa (gr) | Cáscara (gr) | Semilla (gr) |
|-----|------------|------------|--------------|--------------|
| 1 | 400 | 318 | 44 | 38 |
| 2 | 450 | 354 | 49 | 47 |
| 3 | 510 | 403 | 56 | 51 |
| 4 | 480 | 382 | 52 | 46 |
| 5 | 410 | 325 | 45 | 40 |
| 6 | 450 | 358 | 49 | 43 |
| 7 | 504 | 401 | 55 | 48 |
| 8 | 350 | 276 | 38 | 36 |
| 9 | 400 | 313 | 46 | 41 |
| 10 | 449 | 356 | 49 | 44 |
| 11 | 676 | 536 | 74 | 66 |
| 12 | 500 | 404 | 55 | 41 |
| 13 | 447 | 355 | 49 | 43 |
| 14 | 425 | 337 | 47 | 41 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla IV-2.

Pesado de las partes de la semilla de mango.

| ° N | Semilla (gr) | Cascarilla (gr) | Almendra (gr) |
|-----|--------------|-----------------|---------------|
| 1 | 38 | 16 | 22 |
| 2 | 47 | 21 | 26 |
| 3 | 51 | 23 | 28 |
| 4 | 46 | 20 | 26 |
| 5 | 40 | 18 | 22 |
| 6 | 43 | 20 | 23 |
| 7 | 48 | 21 | 27 |
| 8 | 36 | 16 | 20 |
| 9 | 41 | 19 | 22 |
| 10 | 44 | 19 | 25 |
| 11 | 66 | 29 | 37 |
| 12 | 41 | 17 | 24 |
| 13 | 43 | 19 | 24 |
| 14 | 41 | 18 | 23 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla IV-3.

Porcentaje de las partes del fruto de mango.

| Peso promedio del mango | (%) |
|------------------------------------|------------|
| Pulpa de mango. | 79,34 |
| Cáscara de fruto de mango. | 10,97 |
| Cascarilla de la semilla de mango. | 4,28 |
| Almendra de semilla de mango. | 5,41 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

4.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA.

En la tabla IV-4 se detalla los resultados de los análisis fisicoquímicos de la almendra de mango realizados en el laboratorio de centro de análisis, investigación y desarrollo (CEANID) extraído del anexo A.

Tabla IV-4.

Composición fisicoquímica de la almendra de mango.

| Parámetro | Técnica o método | Unidad | Resultado |
|--------------------------|-------------------------|---------------|------------------|
| Ceniza | NB 39034:10 | % | 0,64 |
| Fibra | Gravimétrico | % | 0,79 |
| Grasa | NB 313019:06 | % | 11,92 |
| Hidratos de carbono. | NB 313010:05 | % | 23,46 |
| Humedad | Cálculo | % | 72,27 |
| Proteína total (Nx6,25). | NB/ISO 8968-1:08 | % | 1,81 |
| Valor energético. | Cálculo | kcal/100g | 117,46 |

Fuente: Laboratorio CEANID 2017.

Tabla IV-5.

Variación de la semilla analizada respecto a los valores bibliográficos.

| Componente (%) | Analizado | Bibliográfico |
|-----------------------|------------------|----------------------|
| | Mango | Mango |
| Humedad | 72,27 | 64,27 |
| Ceniza | 0,64 | 1,86 |
| Grasa | 11,92 | 12,04 |
| Proteína | 1,81 | 5,4 |
| Fibra | 0,79 | 2,1 |
| Valor energético. | 117,46 | 213,92 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Como se puede apreciar los valores tienen una discrepancia apreciable, esto puede ser fruto del distinto tipo de métodos de análisis adoptados por los laboratorios, la falta de conocimiento en los laboratorios de parámetros de este producto. También puede influir el suelo y su fertilidad, factores climáticos, etc. Los cuales pueden provocar una diferencia en los componentes de la semilla de un país al otro.

4.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DE LA ALMENDRA DE MANGO.

Para ajustar el contenido de humedad de la almendra de mango hasta un 6 %, se aplicó un tratamiento térmico que se realizó en una estufa eléctrica a 100°C. El tiempo se determinó aplicando un método basado en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa hasta un peso constante como se muestra en la tabla IV-6.

Tabla IV-6.

Variación del peso en función del tiempo.

| Tiempo (min) | Muestra (g) |
|---------------------|--------------------|
| 0 | 7,49 |
| 15 | 6,78 |
| 30 | 6,03 |
| 45 | 4,86 |
| 60 | 4,17 |
| 75 | 3,41 |
| 90 | 2,98 |
| 105 | 2,59 |
| 120 | 2,48 |
| 135 | 2,47 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Como se puede observar en la tabla los datos de la variación del peso se tomaron cada 15 minutos, durando así todo el proceso 3 horas.

4.4. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.

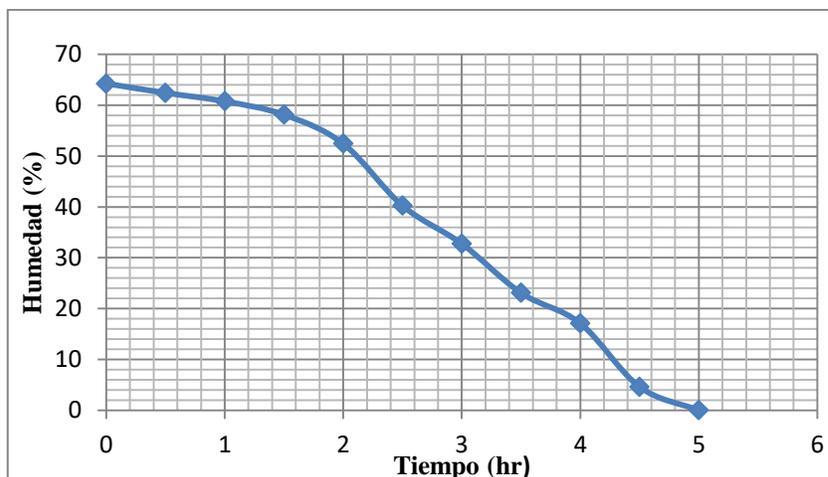
Para el cálculo del contenido de humedad de la semilla de mango se utilizó los datos de la Tabla IV-7 y se aplicó la ecuación citada por Banderas 1994.

Los resultados de la variación de la humedad se muestran en la tabla IV-8.

La variación de la curva de secado obtenida con respecto al teórico, se debe al uso de un secador diferente, ocasionando una variación del tiempo de secado de la semilla y la pérdida de humedad de la misma con respecto al bibliográfico, como se puede apreciar en la Figura IV-1 y Figura IV-2.

Figura IV-1.

Variación de la humedad en función del tiempo.



Fuente: Jaime Roberto Corea Ochoa.

Tabla IV-7.

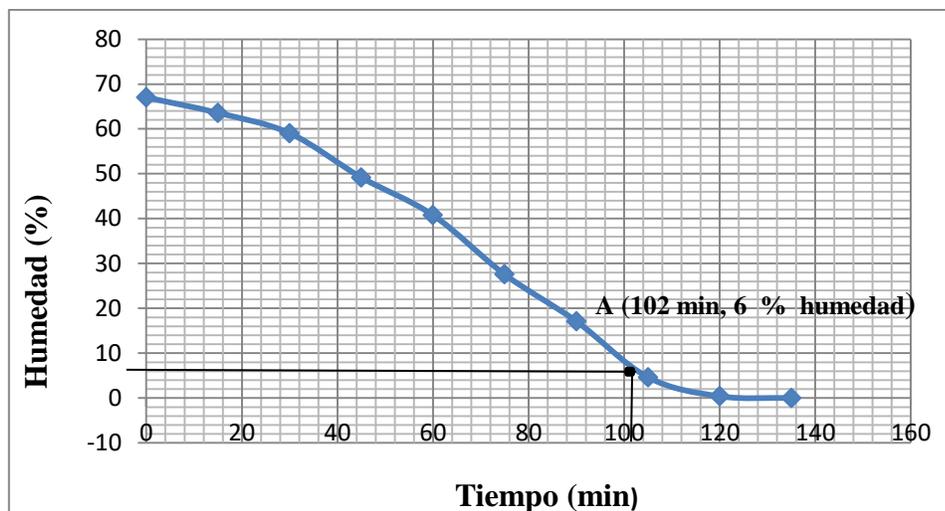
Variación de la humedad en función del tiempo.

| Tiempo (min) | Muestra (%) |
|--------------|-------------|
| 0 | 67,02 |
| 15 | 64,61 |
| 30 | 57,99 |
| 45 | 50,00 |
| 60 | 40,77 |
| 75 | 29,23 |
| 90 | 17,11 |
| 105 | 4,63 |
| 120 | 0,40 |
| 135 | 0,01 |

Fuente: Elaboración propia

Figura IV-2.

Variación de la humedad en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura IV-2, el tiempo de secado corresponde a 102 min para alcanzar una humedad de 6 %.

Se debe tener sumo cuidado de que la temperatura no exceda los 140 °C ya que las propiedades del aceite se volatiliza, ocasionando pérdidas en el sistema ^[16].

Estudios anteriores realizados adoptan diferentes temperaturas y contenido de humedad incluso llegando a realizar el secado de la se milla de mango al medio ambiente, estos parámetros de secado se muestran en la Tabla IV-8.

Tabla IV-8.

Variación de los de resultados bibliográficos con respecto a los obtenidos.

| Autor | Resultados | | |
|---|------------------|-------------|-------------|
| | Temperatura (°C) | Tiempo (hr) | Humedad (%) |
| Jaime Roberto Corea Ochoa (Guatemala) | 110 | 5 | 6 |
| Magaly Tapia, Beatriz Pérez, Yesica Mayett (México) | 55 | 15 | 8 |
| Francy Juliette Rojas, Fernando Burbano (Colombia) | 60 | 24 | - |
| Ángel Rojas, Luisana Marín (Venezuela) | Ambiente | 4 | - |
| Ariel Martínez Maldonado (Bolivia) | 100 | 1.7 | 6 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

4.5. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA HARINA DE SEMILLA DE MANGO.

Una vez secada la semilla de mango, se procedió a realizar el proceso de molienda para la obtención de harina de mango, el cual se tamiza en mallas de abertura de 1 mm; 0.50 mm y 0.25 mm.

Los resultados obtenidos en la clasificación granulométrica se muestran en la tabla IV-9.

Tabla IV-9.

Clasificación granulométrica de la harina de semilla de mango.

| Tamaño de malla | Harina (g) | Harina en porcentaje (%) |
|-----------------|------------|--------------------------|
| 1,5 mm | 0,174 | 0,08 |
| 1 mm | 15,736 | 7,23 |
| 0,5 mm | 167,745 | 77,06 |
| 0,25 mm | 34,029 | 15,63 |
| Total | 217,684 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la clasificación granulométrica, tuvo mayor retención de harina de semilla de mango en la malla 0.5 mm con el 77.06 % y en la malla 0.25 con el 15.63%. Los cuáles serán usados con la finalidad de determinar si existe alguna diferencia del rendimiento con respecto al tamaño de la muestra en la extracción de aceite de semilla de mango.

4.6. BALANCE DE MATERIA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

Figura IV-3.

Diagrama de flujo para la extracción de aceite de semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

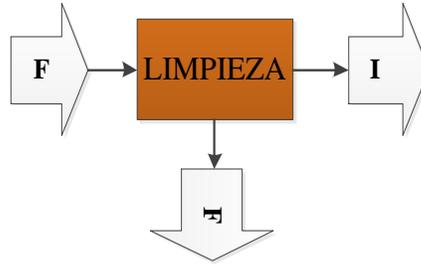
A continuación se describe el balance de materia para cada proceso que forma parte de obtención de semilla de mango (en base de 100g de masa inicial).

4.6.1. Balance de materia del proceso de limpieza.

Balance aplicado en el proceso de limpieza de la semilla de mango.

Figura IV-4.

Limpieza de semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

$$F = 1000 \text{ g}$$

$$F_1 = ?$$

$$I = 441.6 \text{ g}$$

$$F = F_1 + I$$

Ecuación 4.2

$$F_1 = F - I$$

$$F_1 = 1000 - 441.6$$

$$F_1 = 558.4 \text{ g}$$

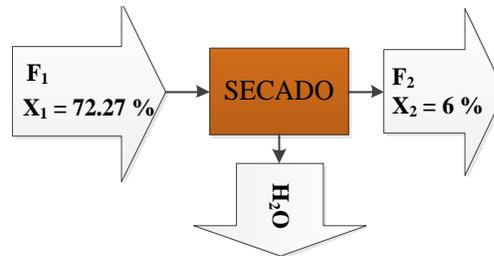
El total de semilla de mango libre de impureza es de 558.4 g.

4.6.2. Balance de materia del proceso de secado.

Balance aplicado en el proceso de secado de la semilla de mango.

Figura IV-5.

Secado de la semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

F₁ (semilla de mango con el 72.27 % de humedad, ver tabla IV-1)

F₂ (semilla de mango con el 6 % de humedad, bibliografía)

H₂O = ?

$$F_1 = H_2O + F_2 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Despejando F₂ de la ecuación 4.3

$$F_2 = F_1 - H_2O \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$H_2O = X_1 F_1 - X_2 F_2 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Remplazando H₂O en la ecuación 4.4

$$F_2 (1 - X_2) = F_1 - X_1 F_1 + X_2 F_2 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Despejando F₂ de la ecuación 4.6

$$F_2 = \frac{F_1 - X_1 F_1}{1 - X_2} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$F_2 = \frac{558.4 - (0.7227 * 558.4)}{(1 - 0.06)} = 164.73 \text{ g}$$

La semilla de mango obtenida del proceso de secado es de 164.73 g con humedad del 6%.

Remplazando los valores en la ecuación 4.5

$$H_2O = X_1 F_1 - X_2 F_2$$

$$H_2O = (0.7227 * 558.4) - (0.06 * 164.73) = 393.67 \text{ g}$$

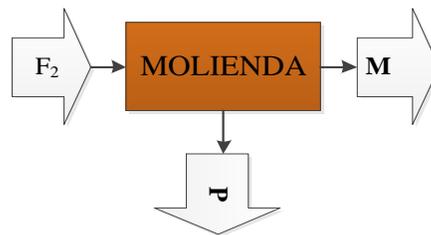
La cantidad de agua evaporada en el proceso de secado es de 393.67 g

4.6.3. Balance del proceso de molienda.

Balance aplicado en el proceso de molienda de la semilla de mango.

Figura IV-6.

Molienda de la semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

Dónde: $F_2 = 164.73$

$P = 6.08$

$M = ?$

$$F_2 = P + M$$

Ecuación 4.8

Despejando M de la ecuación 4.8

$$M = F_2 - P$$

$$M = (164.73 - 6.08) \text{ g}$$

$$M = 158.65 \text{ g}$$

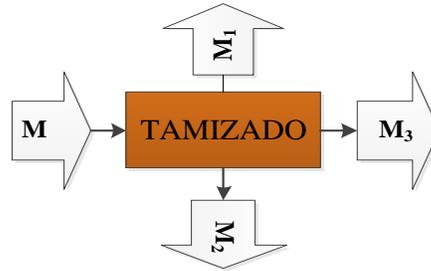
La harina de semilla de mango obtenida después del proceso de molienda es 158.65 g.

4.6.4. Balance de materia del proceso de tamizado.

Balance aplicado en el proceso de tamizado de la semilla de mango.

Figura IV-7.

Tamizado de la harina de semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

$$M = 158.65 \text{ g}$$

$$M_1 = 24.80 \text{ g } M_2 = ?$$

$$M_3 = 11.47 \text{ g}$$

$$M = M_1 + M_2 + M_3$$

Ecuación 4.9

Despejando M_2 de la ecuación 4.9

$$M_2 = M - M_1 - M_3$$

$$M_2 = (158.65 - 24.80 - 11.47) \text{ g}$$

$$M_2 = 122.38 \text{ g}$$

La harina de semilla de mango obtenida después del proceso de tamizado es 122.38 g.

4.6.5. Balance en el proceso de extracción.

Balance aplicado en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.

Figura IV-8.

Extracción de aceite de semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

$$M_2 = 122.38 \text{ g}$$

$$S = 1835.7 \text{ g}$$

$$M_4 = 147.26 \text{ g}$$

$$C = ?$$

$$M_2 + S = C + M_3$$

Ecuación 4.10

Despejando C de la ecuación 4.10

$$C = M_2 + S - M_3$$

$$C = (122.38 + 1835.7 - 147.26) \text{ g}$$

$$C = 1810.82 \text{ g}$$

La cantidad de mezcla de aceite y solvente extraído es de 1810.82 g.

4.6.6 Balance en el proceso de destilación.

Balance aplicado en el proceso de destilación de aceite de semilla de mango.

Figura IV-9.

Destilación del aceite de semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

$$C = 1810.82 \text{ g}$$

$$S = 1730.28 \text{ g}$$

$$A = ?$$

$$C = S + A$$

Ecuación 4.11

Despejando A de la ecuación 4.11

$$A = C - S$$

$$A = (1810.82 - 1730.28) \text{ g}$$

$$A = 80.54 \text{ g}$$

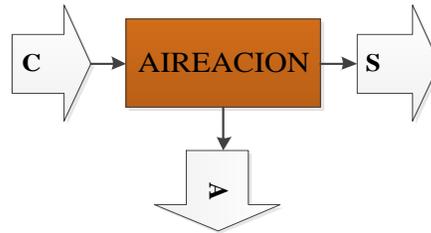
La cantidad de mezcla de aceite y solvente extraído del proceso de destilación es de 80.54 g.

4.6.7. Balance de materia en el proceso de aireación.

Balance aplicado en el proceso de destilación de aceite de semilla de mango.

Figura IV-10.

Aireación del aceite de semilla de mango.



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

$$A = 80.54 \text{ g}$$

$$S = 67.79 \text{ g}$$

$$A_1 = ?$$

$$A = S + A_1$$

Ecuación 4.12

Despejando A_1 de la ecuación 4.12

$$A_1 = A + S$$

$$A_1 = (80.54 - 67.79) \text{ g}$$

$$A_1 = 12.75 \text{ g}$$

La cantidad de aceite de semilla de mango, después del proceso de aireación es de 12.75 g.

4.7. BALANCE DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

En los procesos de secado, extracción y destilación, ocurre transferencia de energía en forma de calor, donde se puede aplicar el cálculo de balance de energía.

La ecuación para realizar los balances de energía son citadas por (Barderas 1994).

Calor saliente del sistema – Calor entrante al sistema = Acumulación.

La acumulación es igual a cero debido a que la energía entrante es igual a la saliente.

$$Q_c = Q_g \quad \text{Ecuación 4.13}$$

La ecuación para el cálculo del calor ganado o perdido por una sustancia sin cambio de fase es:

$$Q = m C_p (T_f - T_0) \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$Q_{\text{latente}} = m_a \lambda_{\text{vap}} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

4.7.1. Balance de energía en el proceso de secado.

Aplicando la ecuación 4.13 para el proceso de secado se obtiene:

$$Q_{\text{CE}} = Q_{\text{GS}} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Para el cálculo del calor ganado por la semilla de mango se desarrolla mediante la ecuación 4.17 considerando que existe un cambio de fase.

$$Q_g = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

$$Q_{\text{sensible semilla}} = m_s C_{ps} (T_{fs} - T_{0s}) \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Dónde:

$$m_s = 0.16473 \text{ kg}$$

$$C_{ps} = 15.96 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \text{ (Juan Carlos Cuevas 2001)}$$

$$T_{fs} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{0s} = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible semilla}} = 0.16473 * 15.96 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} (100 - 22) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible semilla}} = 205.07 \text{ kcal}$$

El calor Ganado por la semilla de mango en el proceso de secado es de 205.07 kcal.

El cálculo del calor latente en el secado de la semilla de mango se realiza mediante la ecuación 4.18

$$Q_{\text{latente semilla}} = m_{\text{agua}} \lambda_{\text{vap}} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Dónde:

$$m_{\text{agua}} = 0.39367 \text{ kg}$$

$$\lambda_{\text{vap}} = 539.4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{ (Barderas 1996)}$$

$$Q_{\text{latente}} = 0.39367 \text{ kg} * 539.4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 212.35 \text{ kcal}$$

El calor cedido por la estufa es:

$$Q_{\text{CE}} = Q_{\text{GS}}$$

$$Q_{\text{CE}} = Q_{\text{latente}} + Q_{\text{sensible}}$$

$$Q_{\text{CE}} = 212.35 \text{ kcal} + 205.07 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{CE}} = 417.42 \text{ kcal}$$

4.7.2. Balance de energía en el proceso de extracción.

Aplicando y desarrollando la ecuación 4.13 en el proceso de extracción se tiene que:

$$Q_{cc} = Q_{gm} + Q_{gs} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Para el cálculo del calor ganado por el matraz se aplica la ecuación:

$$Q_{gm} = m_m * C_{pm} * (T_e - T_{0m}) \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Dónde:

$$m_m = 0.24 \text{ kg}$$

$$C_{pm} = 0.21 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ (Barderas 1995)}$$

$$T_e = 145 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{0m} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{gm} = 0.24 \text{ kg} * 0.21 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (145 - 21) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{gm} = 6.25 \text{ kcal}$$

Para el cálculo del calor ganado por el solvente se aplica la ecuación:

$$Q_{gs} = Q_{\text{sensible solvente}} + Q_{\text{latente solvente}} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Para el cálculo del calor sensible ganado por el solvente se aplica la ecuación:

$$Q_{\text{sensible solvente}} = m_{\text{sol}} * C_{\text{psol}} * (T_e - T_{0\text{sol}})$$

Dónde:

$$m_{\text{sol}} = 0.64 \text{ kg}$$

$$C_{\text{psol}} = 0.62 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ (Perry 1996)}$$

$$T_e = 145 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{0\text{sol}} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 0.64 \text{ kg} * 0.62 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (145 - 19) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 49.99 \text{ kcal}$$

El calor necesario para alcanzar la temperatura de ebullición del solvente es de 49.99 kcal

Para el cálculo del calor latente ganado por el solvente se aplica la ecuación:

$$Q_{\text{latente solvente}} = m_{\text{sol evap}} \lambda_{\text{vap}} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Dónde:

$$m_{\text{sol evap}} = 0.14 \text{ kg}$$

$$\lambda_{\text{vap}} = 50 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{ (Perry 1996)}$$

$$Q_{\text{latente solvente}} = 0.14 \text{ kg} * 50 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{latente solvente}} = 7 \text{ kcal}$$

El calor necesario para evaporar el solvente cada 3 min es de 7 kcal.

El tiempo del proceso de extracción es de 4 hr, la cantidad de veces que se carga el equipo soxhlet es de 44 en todo el proceso, entonces el calor necesario es de 308 kcal.

Remplazando los valores en la ecuación

$$Q_{\text{gs}} = Q_{\text{sensible solvente}} + Q_{\text{latente solvente}}$$

$$Q_{\text{gs}} = 49.99 \text{ kcal} + 308 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{gs}} = 357.99 \text{ kcal}$$

El calor total necesario para el proceso de extracción es de 357.99 kcal.

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 4.20 del calor total cedido se obtiene:

$$Q_{\text{cc}} = Q_{\text{gm}} + Q_{\text{gs}}$$

$$Q_{cc} = 6.25 \text{ kcal} + 357.99 \text{ kcal}$$

$$Q_{cc} = 364.24 \text{ kcal}$$

4.7.3. Balance de energía en el proceso de destilación.

Aplicando y desarrollando la ecuación en el proceso de destilación se tiene que:

$$Q_{cc} = Q_{gm} + Q_{gp} + Q_{gs} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Debido a que la recuperación del solvente se realizó en el mismo equipo soxhlet la temperatura del solvente y matraz no tienen una gran variación que en la extracción.

El cálculo del calor ganado por el matraz en el proceso de destilación se aplica la ecuación:

$$Q_{gm} = m_m * C_{pm} * (T_{fd} - T_{0m}) \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Dónde:

$$m_m = 0.24 \text{ kg}$$

$$C_{pm} = 0.21 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \text{ (Barderas 1995)}$$

$$T_{fd} = 145^\circ\text{C}$$

$$T_{0m} = 123 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{gm} = 0.24 \text{ kg} * 0.21 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (145 - 123) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{gm} = 1.11 \text{ kcal}$$

Para el cálculo del calor ganado por el aceite en el proceso de destilación se aplica la ecuación:

$$Q_{ga} = m_a * C_{pa} * (T_f - T_{0a}) \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Dónde:

$$m_a = 0.013 \text{ kg}$$

$$C_{pa} = 0.97 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \text{ (Diego Gonzales 2015)}$$

$$T_f = 145^\circ\text{C}$$

$$T_{0a} = 123 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{ga} = 0.013 \text{ kg} * 0.97 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (145 - 123) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ga} = 0.28 \text{ kcal}$$

Para el cálculo del calor ganado por el solvente en la destilación se aplica la ecuación:

$$Q_{gs} = Q_{\text{sensible solvente}} + Q_{\text{latente solvente}}$$

Para el cálculo del calor sensible ganado por el solvente en la destilación se aplica la ecuación:

$$Q_{\text{sensible destilacion}} = m_s * C_{ps} * (T_d - T_0)$$

Dónde:

$$m_s = 0.64 \text{ kg}$$

$$C_{ps} = 0.62 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ (Perry 1996)}$$

$$T_d = 145 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{0d} = 123 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible destilacion}} = 0.64 \text{ kg} * 0.62 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (145 - 123) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible destilacion}} = 8.73 \text{ kcal}$$

Para el cálculo del calor latente ganado por el solvente en la destilación se aplica la ecuación:

$$Q_{\text{latente destilacion}} = m_{se} \lambda_{\text{vap sol}}$$

Dónde:

$$m_{se} = 0.59 \text{ kg}$$

$$\lambda_{\text{vap sol}} = 50 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{ (Perry 1996)}$$

$$Q_{\text{latente destilación}} = 0.59 \text{ kg} * 50 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{latente destilación}} = 29.5 \text{ kcal}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación

$$Q_{gs} = Q_{\text{sensible destilación}} + Q_{\text{latente destilación}}$$

$$Q_{gs} = 8.73 \text{ kcal} + 29.5 \text{ kcal}$$

$$Q_{gs} = 38.23 \text{ kcal}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 4.24 del calor total cedido por el calentador tenemos:

$$Q_{cc} = Q_{gm} + Q_{ga} + Q_{gs}$$

$$Q_{cc} = 1.11 \text{ kcal} + 0.28 \text{ kcal} + 38.23 \text{ kcal}$$

$$Q_{cc} = 39.62 \text{ kcal}$$

4.8 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

Para determinar el efecto conjunto de las variables (tamaño de partícula, tiempo de extracción y porcentaje de humedad) sobre el proceso de extracción se usó el diseño factorial 2^3 con dos réplicas por cada prueba, en función de la variable respuesta: porcentaje de aceite extraído.

$$R = \frac{\text{producto Obtenido}}{\text{Materia prima empleada}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Dónde:

Producto obtenido = el aceite de semilla de mango extraído (g)

Materia prima empleada = harina de semilla de mango usada (g)

Tabla IV-10.

Porcentaje de aceite recuperado en el proceso de extracción.

| Combinación de Tratamientos. | Variables | | | Variable Respuesta | |
|------------------------------|-----------|-------|-------|--------------------|------------|
| | T | T (h) | H (%) | Réplica I | Réplica II |
| | (mm) | | | | |
| -1 | 0,25 | 3 | 3 | 9,58 | 9,49 |
| T | 0,5 | 3 | 3 | 9,61 | 9,54 |
| t | 0,25 | 4 | 3 | 9,66 | 9,58 |
| H | 0,5 | 4 | 3 | 9,72 | 9,65 |
| Tt | 0,25 | 3 | 6 | 9,83 | 9,77 |
| TH | 0,5 | 3 | 6 | 10,48 | 10,42 |
| tH | 0,25 | 4 | 6 | 10,09 | 9,94 |
| TtH | 0,5 | 4 | 6 | 10,83 | 10,79 |

Fuente: Elaboración propia 2017

4.9 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO FACTORIAL 23 EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

Los análisis realizados de la varianza con los porcentajes de aceite de semilla de mango extraído, de las dos réplicas, los resultados se muestran en la tabla IV-11.

Tabla IV-11.

Análisis de varianza en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango.

| Fuente de variación (FV) | Suma de cuadrados (SC) | Grados de libertad (GL) | Cuadrados medios (CM) | Fisher Cal | Fisher Tab |
|------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|------------|
| Total | 3,04 | 16 - 1 = 15 | | | |
| Tamaño de la partícula. | 0,600 | 2 - 1 = 1 | 0,600 | 200 | 11,259 |
| Tiempo de extracción. | 0,150 | 2 - 1 = 1 | 0,150 | 50 | 11,259 |
| Porcentaje de humedad. | 0,007 | 2 - 1 = 1 | 0,007 | 2,333 | 11,259 |
| Tamaño - tiempo. | 1,769 | 2 - 1 = 1 | 1,769 | 589,667 | 11,259 |
| Tamaño - % humedad. | 0,449 | 2 - 1 = 1 | 0,449 | 149,667 | 11,259 |
| Tiempo - % humedad. | 0,036 | 2 - 1 = 1 | 0,036 | 12 | 11,259 |
| Tamaño - tiempo - % humedad. | 0,004 | 2 - 1 = 1 | 0,004 | 1,333 | 11,259 |
| Error | 0,025 | 2 ³ -8 | 0,003 | | |

Fuente: Elaboración propia 2017

Como se puede apreciar el error es menor a 0.05, lo cual establece que las variables T (tamaño de partícula), t (tiempo de extracción) y H (porcentaje de humedad), son variables significativas para el proceso de extracción de aceite de semilla de mango. Los cálculos realizados en el análisis de la varianza en el proceso de extracción se detallan en el ANEXO B.

4.10. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE MANGO.

Los resultados obtenidos del balance de materia, balance de energía y el rendimiento en la extracción de aceite, en el presente estudio se detallan de forma pormenorizada a continuación en las Tabla IV-12 y Tabla IV-13.

Tabla IV-12.

Resultados del balance de materia en la extracción de aceite.

| Entrada | Proceso | Salida |
|----------------|------------------------|---------------|
| 1000 g | Limpieza de la semilla | 558,4 g |
| 558,4 g | Secado de semilla | 164,73 g |
| 164,73 g | Molienda de la semilla | 122,38 g |
| 122,38 g | Extracción de aceite | 12,75 g |

Fuente: Elaboración propia 2017

Se realizó también los cálculos de transferencia de masa basados en las leyes de Fick, los cuales se detallan en el punto 2.9, del presente proyecto.

El resultado obtenido es:

La masa calculada para la extracción de forma teórica es de $7.53 \times 10^{-8} \frac{kg}{s}$

La masa extraída de aceite en la práctica es de $7.22 \times 10^{-8} \frac{kg}{s}$

Como se puede apreciar la diferencia entre los resultados obtenidos, de los basados en la ley de Fick, tiene una variación no muy alejada de la real obtenida en laboratorio, concluyendo así que los datos obtenidos en el proceso de extracción de aceite de semilla de mango son aceptables.

Tabla IV-13.

Resultados del balance de energía en la extracción de aceite.

| Entrada | Proceso | Salida |
|---|----------------|--|
| Calor cedido por la estufa 417,42 Kcal. | Secado | Calor ganado por la semilla 205,07 Kcal |
| Calor cedido por el calentador 364,24 Kcal. | Extracción | Calor ganado por el matraz 6,25 Kcal |
| | | calor ganado por el solvente 357,99 Kcal |
| Calor cedido por el calentador 39,62 Kcal. | Destilación | Calor ganado por el matraz 1,11 Kcal |
| | | Calor ganado por el aceite 0,285 Kcal |
| | | Calor ganado por el solvente 38,23 Kcal |

Fuente: Elaboración propia 2017

Para el cálculo del porcentaje de obtención de aceite de semilla de mango en el proceso extracción se aplica la ecuación 4.1

$$R = \frac{\text{producto Obtenido}}{\text{Materia prima empleada}} * 100$$

Los datos en el balance de materia son:

Aceite crudo obtenido = 12.75 g

Harina de semilla de mango = 122.38 g

$$R = \frac{12.75 \text{ g}}{122.38 \text{ g}} * 100 = 10.41 \%$$

Rendimiento del proceso de extracción.

Rendimiento teórico = 0.1200

Rendimiento real = 0.1042

$$R = \frac{\text{Rendimiento Real}}{\text{Rendimiento Teorico}} * 100$$

$$R = \frac{0.1042}{0.1200} * 100 = 86.83 \%$$

El rendimiento del proceso de extracción alcanza un 86.83 %.

4.11 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO A LOS BIBLIOGRÁFICOS.

Los resultados obtenidos del aceite de semilla de mango se muestran similares, con excepción de la acidez que se encuentra por encima de lo permitido con respecto al bibliográfico y al de soya que tiene parámetros ya establecidos como se muestran en las tablas a continuación.

Tabla IV-14.

Verificación de datos obtenidos del aceite con respecto a bibliográficos.

| Parámetros | Resultados obtenidos | Resultados bibliográficos |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Acidez | 2,47% | 0,78% |
| Densidad relativa. | 0,875(20°C) | 0,897 (25°C) |
| Índice de refracción. | 1,4629(25°C) | 1,464(25°C) |
| Índice de peróxido. | 1,55 | 2,69 |

Fuente: Elaboración propia 2017

Esta variación puede estar sujeta a la diferencia de parámetros de control de los análisis realizados y a las condiciones de operación practicadas en el estudio, de tal manera que influyen en los datos obtenidos y en los resultados, como también influyen las condiciones de producción del fruto, la madures, la fertilidad del suelo, etc.

Tabla IV-15.
Aceite crudo de soya.

| Determinación | Parámetros de calidad | | | Norma técnica |
|---|-----------------------|-------|--------|---------------|
| | Valor ITIKA | Min. | Max. | |
| Color amarillo. | 40 | - | 50 | AOCS |
| Densidad relativa (20° C). | 0.9233 gr/cc | - | - | |
| Acidez (% A. Oleico). | 0,9 | - | 1 | ISO 660 |
| Índice de peróxido (meqO ₂ /kg). | 0.541 | - | 6.0 | NB-203-77 |
| Índice de refracción (25°C). | 1.470 | 1.466 | 1.470 | NB-34003 |
| Fósforo (%) | 143 | - | 200,00 | Colorimetría |

Fuente: WWW.ITIKA SA.COM 2011

4.12. COSTO DEL ESTUDIO PROPUESTO.

El análisis realizado del costo para la extracción de aceite de semilla de mango se detalla a continuación.

Tabla IV-16.
Presupuesto estimado del presente estudio.

| N | Detalle | Aporte propio | Aporte solicitado |
|---|--|---------------|-------------------|
| 1 | Material de escritorio. | 159 | 0 |
| 2 | Materia prima. | 1529 | 250 |
| 3 | Adquisición de información e impresión. | 435 | 0 |
| 4 | Transporte y viáticos. | 560 | 0 |
| 5 | Análisis realizados en el laboratorio de (CEANID). | 131 | 304 |
| 6 | Trabajo personal. | 4500 | 0 |
| 7 | Inversión total (bs). | 7868 | |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla IV-17.

Material de escritorio.

| N | Detalle | Cantidad | Costo unitario (bs) | Costo total (bs) |
|----------|---------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | Hojas papel boom. | 3 paquetes | 30 | 90 |
| 2 | Lapiceros de color. | 2 unidades | 2,5 | 5 |
| 3 | Marcador negro. | 1 unidades | 5 | 5 |
| 4 | Cuaderno anillado de 100 hojas. | 1 unidad | 20 | 20 |
| 5 | Grampas | 1 paquete | 19 | 19 |
| 6 | Tijera | 1 unidad | 20 | 20 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla IV-18.

Adquisición de información e impresión.

| N | Detalle | Cantidad | Costo unitario (bs) | Costo total (bs) |
|----------|----------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | Información digital. | 56 hr | 3 | 168 |
| 2 | Fotocopias | 296 hjs | 0,3 | 89 |
| 3 | Impresiones | 643 hjs | 0,3 | 193 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla IV-19.

Trasporte y viáticos.

| N | Detalle | Cantidad | Costo unitario (bs) | Costo total (bs) |
|----------|-------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | Colectivo | 40 días | 4 | 160 |
| 2 | Móvil | 15 días | 8 | 120 |
| 3 | Viáticos e imprevistos. | 55 días | - | 280 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla IV-20.
Materia prima.

| N | Detalle | Cantidad | Costo unitario (bs) | Costo total (bs) |
|----------|-----------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | Papel filtro. | 6 pliegues | 3 | 18 |
| 2 | Bolsas de sello hermético. | 1 paquete | 26 | 26 |
| 3 | Mango | 150 unidades | 1,5 | 225 |
| 4 | N-hexano | 2,5 litros | 504 | 1260 |
| 5 | Uso de materiales de laboratorio. | - | - | 100 |
| 6 | Uso de equipos de laboratorio. | - | - | 150 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

Tabla IV-21.
Análisis realizados en el laboratorio de (CEANID).

| N | Detalle | Costo total (bs) |
|----------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | Análisis de semilla de mango. | 305 |
| 2 | Análisis del aceite obtenido. | 130 |

Fuente: Elaboración propia 2017.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

Finalizando el trabajo de investigación, se concluye lo siguiente:

- La obtención de aceite de semilla de mango, mediante extracción a solvente en el equipo soxhlet, llega a un rendimiento de extracción de 10,79 %, siendo así un posible contribuyente a la economía actual.
- La caracterización de las propiedades fisicoquímicas de la semilla de mango nos permite apreciar las propiedades como ser: proteínas 1.81 %, fibra 0.79 %, valor energético 117.46 kcal/100g y otros, los cuales pueden ser aprovechados de diferentes formas como en alimentos balanceados.
- La selección del proceso de extracción para la obtención de aceite de semilla de mango es la lixiviación por percolación, ya que se cuenta con este equipo en las instalaciones de la UAJMS además de tener un requerimiento pequeño de solvente para la extracción, también presenta un alto porcentaje de recuperación de aceite, tiene un costo menor en la implementación y manejo de la planta.
- El estudio de los parámetros más importantes en la formulación experimental representa una mayor exactitud en la toma de datos de las variables significativas (tamaño de partícula, tiempo de extracción y porcentaje de humedad) en el proceso de extracción de semilla de mango.
- De acuerdo a los análisis realizados al producto final en el laboratorio de CEANID presenta una densidad relativa (20°C) de 0,8750, índice de refracción (25°C) de 1,4629, índice de peróxidos 1,55 y una acidez (como ácido oleico) de 2,47.

La comparación de los resultados del aceite con referencias bibliográficas se aprecia que la acidez analizada es mayor a la comparada.

- De acuerdo a los cálculos realizados, se obtuvo mayor rendimiento en la extracción de aceite, fue con los siguientes parámetros de control: tiempo de secado de la semilla 102 min a 100°C alcanzando la humedad del 6 % con una granulometría de 0.5 mm y un tiempo de extracción sólido- líquido de 4 horas.

La cantidad presente de aceite a en la semilla de mango según los análisis realizados en el laboratorio de CEANID fue 11,92 % de grasa.

5.2. RECOMENDACIONES.

A futuras investigaciones de proyectos de grado

- Realizar estudios de prefactibilidad en la implementación de una planta piloto de extracción de aceite de semilla de mango, debido a que contiene 10,79 % de grasa, que puede llegar a ser un sustituto de los ya existentes.
- Desarrollar estudios del uso de la semilla de mango como un suplemento en el alimento balanceado en la ganadería ya que tiene un alto contenido de proteínas, vitaminas, fibra y otros.
- Estudiar el rendimiento de extracción de aceite de semilla de mango en otras variedades de mango en el departamento, mejorando así los resultados ya obtenidos en el presente estudio disminuyendo así la falta de datos en el contenido de aceite en las semillas autóctonas del departamento de Tarija.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **PRIETO-MARTÍNEZ, J.; COVARRUBIAS-ALVARADO, J.E.; ROMER-CADENA, A.; FIGUEROA-VIERA, J.J.** (Eds). 2005. “*Paquete tecnológico del cultivo del mango en el Estado de Colima. SEDER, México*”. Fecha de consulta: 25 de mayo 2016 Disponible en: <<http://seder.col.gob.mx/Paquetes/MANGO.pdf>>.
- [2] **SALUNKHE, D.K.; KADAM, S.S.** 1995. *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage, and Processing*. Editorial CRC Press. United States of América.
- [3] **ÁNGEL ROJAS; LUISANA MARÍN; YOLFRE OROPEZA** “*Extracción del aceite de la semilla de mango utilizando solventes orgánicos*” Fecha de consulta: 25 de mayo 2016 Disponible en:<<http://www.feggylab.mex.tl.pdf>>
- [4] **MARTHA DEL PILAR LÓPEZ HERNÁNDEZ** “*Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización de la grasa de semilla de 20 accesiones de mango del banco de germoplasma y materiales nativos*”. ” Fecha de consulta: 19 de mayo 2016 Disponible en:<<http://www.repository.ut.edu.com> >
- [5] **SANDRA MILENA OSPINA HENAO; ELIANA NATALI HERNANDEZ RODRIGUEZ; CARLOS ALBERTO LOZANO MORENO** “*Estudio experimental del proceso de fermentación de residuos agroindustriales del mango (mangifera indica l) usando saccharomyces cerevisiae*” ” Fecha de consulta: 19 de mayo 2016 Disponible en:<www.repository.ucm.edu.com.jspui.handle>
- [6] **RODRÍGUEZ, L. (2012).** “*El aceite del hueso del mango podría ser aprovechado para la alimentación. Revista Digital Veo Verde. México*”. Fecha de consulta: 20 de Mayo de 2016, Disponible en: < www.veoverde.com/2012/05/el-aceite-del-hueso-del-mango-podria-ser-aprovechado-para-la-alimentacion>
- [7] **BAILEY.A.E.** “*aceites y grasas industriales*” Editorial Memphis Tennessee. 1951.
- [8] **NÚÑEZ, CARLOS, EDUARDO** “*Extracciones con equipo soxhlet Argentina 2008*” Disponible en: < www.cenunez.com.ar>

- [9] **SRUAMSIRI, S.; SILMAN, P. 2009.** “*Nutritive value and nutrient digestibility of ensiled mango by products. Maejo Int. J. Sci. Technol.*” Disponible en:
- [10] **TREJO-MÁRQUEZ, M.A. 2009.** “*Piel de mango, hueso de chocolate. Hypatia. 31*” Disponible en: < <http://hypatia.morelos.gob.mx>, verificado 10 de septiembre >
- [11] **PEREIRA, C.G.; MEIRELES, M.A. 2009.** “*Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: fundamentals, applications and economic perspectives. Food Bioprocess Technol*”
- [12] **DANDEKAR, P.; PATRAVALE B V. 2009.** “*Enzymatic synthesis of fructose ester from mango kernel fat. Indian J. Chemi. Technol.*”.
- [13] **DOUGLAS MONTGOMERY C.** “*Diseño y análisis de experimento*”. Editorial iberoamerica. Mexico. 1991.
- [14] **LORENA; DAVID; ALEX.** “*Material de laboratorio*” Disponible en: <www.sistemamid.com>
- [15] **RAMÍREZ RUIZ ERIK.** “*metodología de la investigación*”. Tarija-Bolivia 2009.
- [16] **JAIME ROBERTO COREA OCHOA.** “*Determinación del conjunto de parámetros adecuados del aceite de semilla de mango a partir de datos experimentales a nivel laboratorio*”. Disponible en: < www.biblioteca.usac.edu >
- [17] **ANALLELI JIMÉNEZ DURÁN 2015.** “*Deshidratado de rebanadas de mango tomy atkins utilizando extractos de sus semillas y metabisulfito de sodio como pretratamientos*”. Disponible en: < www.jupiter.utm.mx-tesis-dig.>
- [18] **FLORENCIA VERÓNICA GRASSO 2013.** “*Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna.*” Disponible en: < www.sedici.unlp.edu.ar >
- [19] **F. KERDOUSS, A. BANNARI, P. PROULX, R. BANNARI, M. SKRGA, Y. LABRECQUE.** “*Two-phase mass transfer coefficient prediction in stirred vessel with a CFD model*”. Disponible en: < www.sciencedirect.com >