

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El zapallo (Cucúrbita máxima), forma parte del género Cucúrbita, donde existe cinco especies que el hombre ha domesticado con la finalidad de consumo de sus frutos; estos son: Cucúrbita máxima, Cucúrbita moschata, Cucúrbita pepo, Cucúrbita ficifolia y Cucúrbita argyrosperma; donde cuatro se cultivan para consumo de sus frutos y uno para la obtención de dulces. De algunos cultivares selectos, se puede llegar a consumir hasta las hojas y flores. (Della Gaspera, 2013)

En cuanto al inicio del consumo de zapallo, fue desde épocas precolombinas en el pueblo latinoamericano, este posee una importante fuente de hidratos de carbono, vitaminas A y C y aminoácidos esenciales. Aporta pocas calorías y es de fácil digestión, es así que es incluido en dietas alimenticias hospitalarias, programas de alimentación de niños y bebés, entre otros. (Della Gaspera, 2013)

El Ministerio de Producción y Trabajo de Argentina (2015) menciona que las semillas de zapallo, aportan proteínas, ácidos grasos esenciales como Omega 3 que ayuda a disminuir el colesterol, la hipertensión; y el Omega 6 que es beneficioso para el buen funcionamiento del aparato circulatorio, también aporta vitamina E, ácido fólico, vitaminas del complejo B, minerales como el fósforo, magnesio, hierro, zinc, cobre y selenio. Y dentro de sus propiedades más conocidas es la capacidad de eliminar parásitos intestinales debido a una sustancia llamada curcurbitacina o cucurbitita. También hace mención que es utilizada para tratamiento fitoterapéuticos porque actuaría de manera benéfica en hiperplasias benignas de próstata.

Por otro lado, los aceites vegetales han cobrado importancia renovada a partir de la década del setenta, debido a que los requerimientos alimentarios de las personas comenzaron a variar por buscar una nutrición saludable, que satisficiera las necesidades energéticas de las personas sin causar acumulaciones dañinas, que luego provocarían la aparición de enfermedades como la diabetes y las cardiovasculares que actualmente son enfermedades de alta incidencia. (Pons, 2015)

Ahora bien, el aceite obtenido de semillas de zapallo debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados, tiene propiedades beneficiosas para uso en la dieta humana, considerado un alimento ideal para su uso en ensaladas tipo gourmet y su consumo en múltiples aplicaciones en la industria alimenticia y cosmética. (Sierra Sarmiento, Segura, Mejía, & Hoyos, 2018)

En la tabla 1 se observa la producción de zapallo en Bolivia por departamentos.

Tabla 1

Producción de zapallo en Bolivia por departamento

| Producción agrícola de zapallo (En toneladas métricas) | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Año | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| Tarija | 2443 | 2544 | 2533 | 2549 | 2552 |
| Chuquisaca | 1883 | 1923 | 1968 | 1919 | 1937 |
| La Paz | 2451 | 2468 | 2383 | 2400 | 2416 |
| Cochabamba | 5394 | 5641 | 5597 | 5920 | 5976 |
| Oruro | - | - | - | - | - |
| Potosí | 80 | 72 | 74 | 72 | 71 |
| Santa Cruz | 11890 | 11523 | 10739 | 11256 | 11281 |
| Beni | 340 | 355 | 339 | 356 | 346 |
| Pando | 115 | 104 | 108 | 102 | 103 |
| Totales | 24596 | 24630 | 23741 | 24574 | 24682 |

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE) & Ministerio de Desarrollo Rural de Tierras (MDRyT), 2022

Como se puede observar en la Tabla 1, el departamento de Tarija ocupa el tercer lugar con mayor producción de zapallo en Bolivia.

En el departamento de Tarija, el zapallo criollo tiene cáscara delgada y tierna, a medida que madura más tiende a endurecer, su peso es muy variable pero mayormente están entre 5 a 20 kg; presenta un color plomo verdoso y posee semillas de color ocráceas o blancas.

En cuanto a los usos del zapallo en el departamento de Tarija, la pulpa es empleada mayormente para elaboración de carbonada especialmente en cuaresma, también se utiliza en sopas, y zapallo con leche.

Por otro lado la pulpa se puede emplear para elaboración de mermeladas, compota, dulce de zapallo, pasteles. (Pineda Criollo, 2012)

En cuanto a la semilla de zapallo mayormente es descartada como desecho sin aprovechar sus propiedades nutricionales, es por tal motivo que producir aceite de semillas de zapallo será una novedad como trabajo de investigación.

Ahora bien, en la tabla 2, se muestra la producción de zapallo en el departamento de Tarija, por municipios.

Tabla 2

Producción de zapallo en el departamento de Tarija, por municipios

| Municipio | Producción (TM) | | |
|------------------------|-----------------|------|------|
| | Año | | |
| | 2019 | 2020 | 2021 |
| Villamontes | 902 | 908 | 909 |
| Entre Ríos (La Moreta) | 371 | 374 | 374 |
| Villa San Lorenzo | 270 | 272 | 272 |
| Padcaya | 282 | 284 | 284 |
| Bermejo | 100 | 101 | 101 |
| Tarija | 80 | 81 | 81 |
| Yacuiba | 325 | 327 | 327 |
| Uriondo | 153 | 154 | 155 |
| Tomayapo (El Puente) | 24 | 24 | 24 |
| Caraparí | 24 | 24 | 24 |
| Total | 2531 | 1549 | 2551 |

Fuente: MDRyT y Dirección de Análisis Productivo (DAPRO), 2022

Como se puede apreciar en la Tabla 2, el municipio de Villamontes, ocupa el primer lugar en cuanto a mayor producción de zapallo en el departamento de Tarija, con 909 TM en el año 2021, le sigue el municipio de Entre Ríos con 374 TM, Yacuiba con 327 TM y Villa San Lorenzo con 272 TM.

Objetivos

Objetivo general

Extraer aceite virgen de semillas de zapallo criollo (*Cucúrbita máxima L.*), mediante prensado en frío a nivel experimental (escala laboratorio), con el fin de brindar información de un nuevo producto.

Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima, para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo criollo.
- Determinar las variables del proceso de operación para la extracción de aceite virgen de semilla de zapallo a nivel laboratorio.
- Extraer el aceite virgen de semillas de zapallo criollo por prensado en frío.
- Caracterizar fisicoquímicamente, el aceite extraído, con el fin de conocer sus propiedades.
- Realizar el balance de materia y energía del proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo criollo.
- Calcular el rendimiento, del proceso de extracción del aceite obtenido.

Justificación

— Justificación Tecnológica

El presente trabajo de investigación procurara utilizar toda información científica tecnológica para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo criollo mediante prensado, traerá consigo datos referenciales que servirán a futuros estudios que se realice para la extracción de aceites de este tipo, potenciando así la industrialización del aceite de semillas oleaginosas.

— Justificación Económica

La extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, aportara al desarrollo económico dando un valor agregado a las semillas de zapallo que usualmente se desecha, incorporando así un nuevo producto al mercado, donde genera empleo y mejorara el

ingreso de los productores trayendo consigo una mejora en la calidad de vida de la población de Tarija.

— **Justificación Social**

El presente trabajo de investigación debido a que utiliza un producto agrícola incide en la cantidad de materia prima a usar y esto repercute en las familias que se dedican a este cultivo, ya que se aprovecharía al máximo sus cultivos, mejorando su calidad de vida. También el producto obtenido favorecerá a la sociedad debido a que tiene propiedades beneficiosas en la salud de las personas.

— **Justificación Ambiental**

La tecnología a emplear no provoca efectos negativos al medio ambiente, y en cuanto al desecho que se obtiene en la extracción del aceite se destinara como abono orgánico en los campos de producción de la materia prima.

Cabe mencionar, que se puede emplear la torta proveniente del prensado en la extracción de aceite de semillas de zapallo, para la elaboración de harina para consumo humano, el cual puede ser utilizado en panificación y pastas, entre otros. (Escobar Gianni, Curutchet, Zirbesegger, & Márquez Romero, 2012). Por otro lado, la torta de semillas de zapallo se puede utilizar como suplemento alimenticio para animales, debido a su alto contenido de proteína, como ser para vacas lecheras, cerdos, entre otros. (Ortiz Grisales, Pasos López, Rivas Abadía, Valdés Restrepo, & Vallejo Cabrera, 2009); (Manjarrez, Enriquez, Avila, & Shimada, 1976)

Situación problemática

La producción de zapallo en Bolivia es de gran importancia porque el zapallo es considerado una hortaliza muy nutritiva, pero solo se utiliza la pulpa para consumo, desechando mayormente la semilla y desaprovechando las importantes propiedades que contiene. Por esta razón se pretende brindar información de este nuevo producto.

Formulación de problema

¿Se podrá extraer aceite virgen de semillas de zapallo criollo (*Cucúrbita máxima L.*), mediante prensado en frío, con el fin de brindar información de un nuevo producto?

Hipótesis

Mediante prensado en frío se extrae aceite virgen de semillas de zapallo criollo (*Cucúrbita máxima L.*), brindando información de un nuevo producto con propiedades nutricionales.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1 Zapallo

Origen del zapallo

El zapallo es una hortaliza de origen Americano, que pertenece a la familia Cucurbitáceas, su nombre tiene origen quechua “sapallu” (zapallo). Esta especie presenta un fruto que posee una gama de tonalidades (blanco, crema, verde, plomo, naranja, marrón, y jaspeados), en cuanto a forma (redonda, alargada y periforme), textura de la pulpa (fina, arenosa y fibrosa), cáscara del fruto (lisa, rugosa y acanalada) y las semillas presentan diversos colores, como ser: blanco, crema, amarillo oscuro y doradas. (Ministerio del Ambiente del Perú, 2020)

Variedades del zapallo

Según Astorquizaga (2009) algunas variedades de zapallo son las siguientes:

- Cucúrbita máxima: Zapallo inglés o Hubbard; Criollo cresco, Criollo plomo
- Cucúrbita pepo: Zapallo de Angola
- Cucúrbita moschata: Anquito, Butternut
- Cucúrbita mixta: Calabaza

Cabe mencionar que no existe un consenso acerca de las variedades del zapallo, existiendo a veces variación entre ellos, debido a que existen más de 20 especies del género cucúrbita.

En la figura I-1, se observa la variabilidad de frutos de la especie de zapallo (Cucúrbita máxima).

Figura I- 1

Variabilidad de la especie de zapallo (Cucúrbita máxima)



Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú, 2020

Descripción de la taxonomía del zapallo

A continuación en la tabla I-1, se detalla la taxonomía del zapallo cultivado en el departamento de Tarija:

Tabla I- 1

Taxonomía del zapallo (Cucúrbita máxima L.)

| Clasificación taxonómica | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Reino | Vegetal |
| Phylum | Telemophytae |
| División | Tracheophytae |
| Sub división | Anthophyta |
| Clase | Angiospermae |
| Sub Clase | Dicotyledoneae |
| Grado Evolutivo | Archichlamydeae |
| Grupo de Ordenes | Tetraciclicos |
| Orden | Cucurbitales |
| Familia | Cucurbitáceae |
| Género | Cucúrbita |
| Nombre científico | <i>Cucúrbita máxima L.</i> |
| Nombre Común | Zapallo |

Fuente: Herbario Universitario T.B., 2021

Descripción botánica del zapallo

La planta del zapallo, es herbácea anual, que requiere un clima templado-cálido, con temperatura entre 10°C-32°C; de suelos francos a francos arenosos. La cosecha se lleva a cabo a los cuatro o cinco meses de la siembra, según la variedad; y la conservación es aproximadamente de cinco meses, en un lugar fresco y oscuro. (Astorquizaga, 2009)

De acuerdo a Astorquizaga (2009), la descripción de las partes de la planta de zapallo (Raíz, hojas, tallos, flores y fruto) es la siguiente:

- Raíz.- La raíz de la planta del zapallo, la mayor parte se encuentran a 50 centímetros del perfil del suelo.
- Hojas.- Las hojas de la planta del zapallo, son grandes de lámina simple suborbiculares y con frecuencia lobuladas.
- Tallos.- Los tallos de la planta del zapallo, son rugosos y angulosos; y nacen raíces adventicias en los nudos de las guías.

En la siguiente figura I-2, se observa las hojas y tallos, de la planta del zapallo.

Figura I- 2

Hojas y tallos de la planta del zapallo



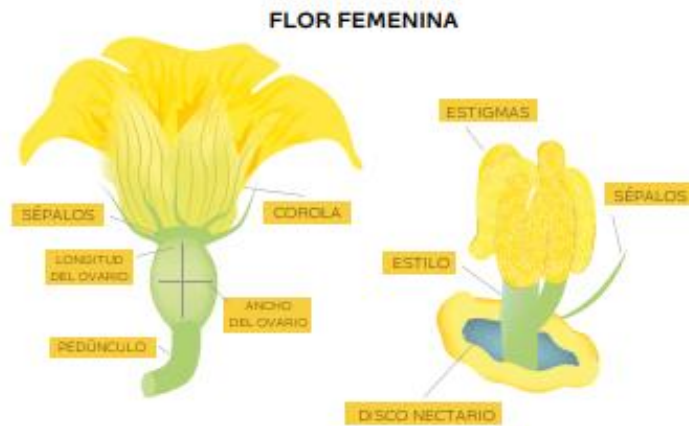
Fuente: Elaboración propia, 2022 (Planta de zapallo de la comunidad Santa Bárbara-Provincia Méndez)

- Flores.- Las flores son diclino monoicas, es decir que tiene flores en la misma planta tanto femeninas y masculinas; de color amarillo.

En la figura I-3 y I-4, se observa las flores de la planta del zapallo.

Figura I- 3

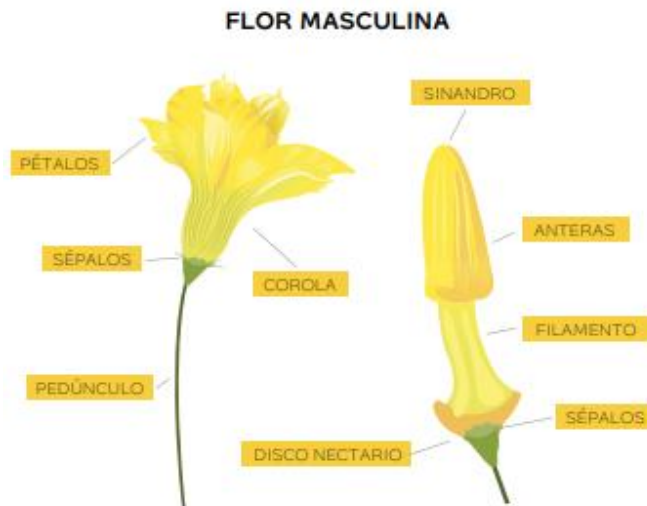
Flor femenina de la planta del zapallo



Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú, 2020

Figura I- 4

Flor masculina de la planta del zapallo



Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú, 2020

- Fruto.-Una vez polinizada la flor femenina, va creciendo el fruto (zapallo) que es pepónide, cuyo color y forma depende de la variedad.

En la figura I-5, se muestra las partes del zapallo

Figura I- 5



Fuente: (Muschler, 2008)

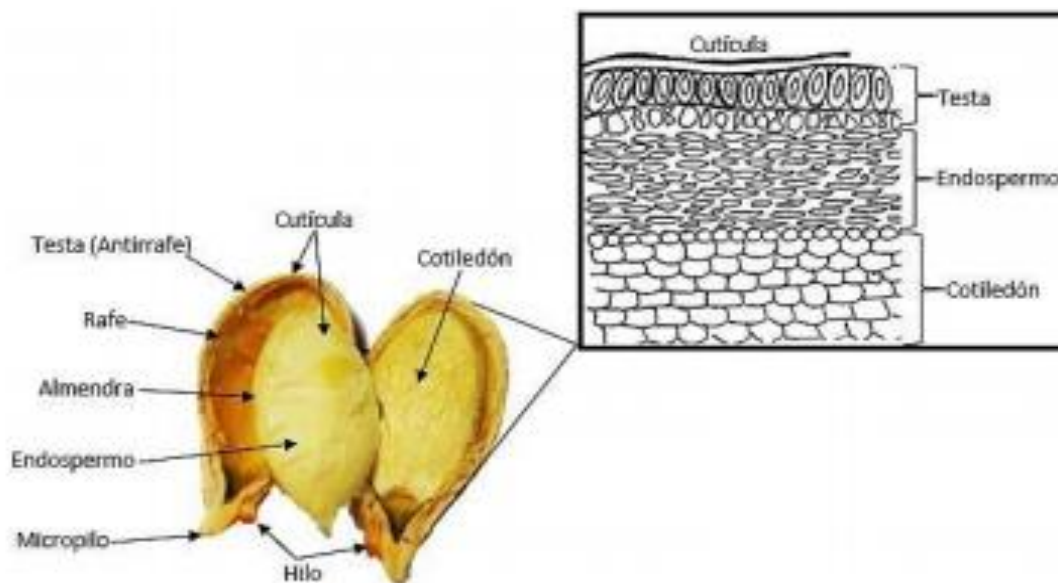
Semilla de zapallo

Las semillas de Cucurbita máxima se caracterizan por ser grandes, globosas y de color pardo; sin embargo, en esta especie también se encuentran semillas blancas y pequeñas. Las características de las semillas son muy importantes, pero no son determinantes para la identificación de una especie, principalmente por su similaridad, superposición de rasgos y amplia variabilidad. (Ministerio del Ambiente del Perú, 2020)

En la figura I-6, se puede observar la estructura de una semilla de zapallo.

Figura I- 6

Estructura de la semilla de zapallo



Fuente: Coanqui Zapana & Cabrera Pérez, 2020

Las semillas del género *Cucúrbita máxima*, son consideradas oleaginosas debido a que generalmente contiene altos niveles de aceite y por lo cual puede considerarse una buena fuente de aceites vegetales. (Achu, Fokou, Tchiégang, Fotso, & Tchouanguép, 2005.pág. 1332)

En la tabla I-2, se muestra la composición de las semillas de zapallo.

Tabla I- 2

Composición de semillas de Cucúrbita máxima

| Componentes | Composición media % |
|--------------|---------------------|
| Proteína | 38,35 |
| Fibra | 12,56 |
| Humedad | 7,20 |
| Ceniza | 4,95 |
| Carbohidrato | 12,47 |
| Grasa | 24,47 |

Fuente: Artica Mallqui, Baquerizo Canchumanya, Rosales Papa, & Rodríguez Paucar, 2021

1.2 Lípidos

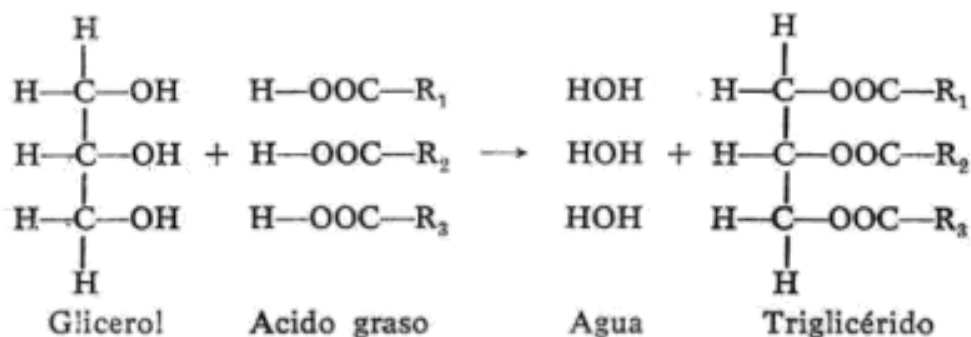
Las grasas y los aceites, cuyo nombre técnico es lípidos, están compuestos de triglicéridos; un triglicérido está compuesto de tres ácidos grasos adheridos a una molécula de glicerol. La forma de cada molécula triglicérida depende del tipo específico de ácido graso. Si la mayor parte de los ácidos grasos de la molécula triglicérida forman cadenas rectas (ácidos grasos saturados o trans ácidos grasos), los triglicéridos pueden unirse formando una grasa sólida; y si la mayor parte de los ácidos grasos de la molécula triglicérida forman cadenas curvas (ácidos grasos insaturados), donde los triglicéridos no pueden aglutinarse, por lo tanto producirán una grasa líquida (aceite). (Enig, 1991)

Por otro lado, los lípidos son insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos como el éter, hexano, metanol, etc.; otra característica es que a temperatura ambiente (25°C), los lípidos ricos en ácidos grasos saturados tienen consistencia sólida (grasa); y los lípidos ricos en ácidos grasos insaturados tienen una consistencia líquida (aceite). (Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética, 2015)

En la figura I-7, podemos observar la estructura del triglicérido compuesto por tres ácidos grasos y una molécula de glicerol.

Figura I- 7

Estructura de la composición de un triglicérido



Fuente: Bailey, 2020

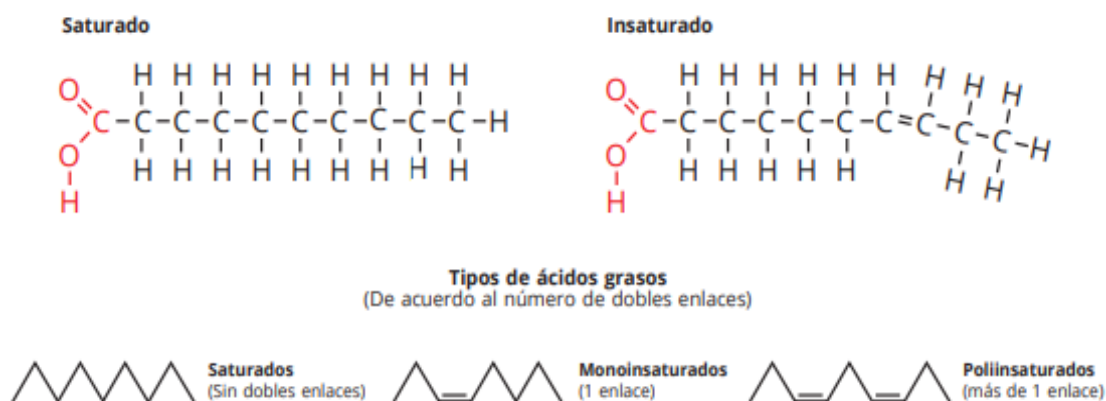
1.2.1 Ácidos grasos

Los ácidos grasos donde los átomos de carbono de una cadena están unidos a no menos de dos átomos de hidrógeno es decir no poseen dobles enlaces, recibe el nombre de “saturado”. Los que contienen dobles enlaces se los nombran “no saturados”; donde el grado de insaturación de un aceite, depende del número de dobles enlaces de sus ácidos grasos. (Bailey, 2020)

En la figura I-8, se observa la estructura de ácidos grasos

Figura I- 8

Estructura de ácidos grasos



Fuente: Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética, 2015

1.2.2 Aceite vegetal

El aceite vegetal se obtiene a partir de semillas o frutos. En sí, todas las semillas y frutos contienen aceite, pero sólo los llamados oleaginosos sirven para la producción industrial de aceite. En cuanto a la composición química de los aceites vegetales la mayoría de los casos corresponde a una mezcla de 95% de triglicéridos y 5% de ácidos grasos libres, de esteroides, ceras y otros componentes minoritarios. (Legaz Berbel, 2010)

Aceite virgen

Se entiende por aceite virgen a los aceites vegetales comestibles obtenidos, sin modificar la naturaleza del aceite, por procedimientos mecánicos, por ejemplo, extrusión y prensado, y por aplicación únicamente de calor. Podrán haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación únicamente. (CODEX, 1999)

1.2.2.1 Clasificación de los aceites vegetales

Los aceites vegetales de acuerdo a Legaz Berbel (2010) pueden dividirse en cuatro grandes grupos:

- Los aceites saturados: índices de yodo de 5-50
 - Lóricos: copra, palmito, babasú, etc
 - Palmíticos: palma
 - Esteáricos: karité
- Los aceites monoinsaturados: índices de yodo de 50-100
 - Oleicos: aceituna, colza, sésamo, cacahuete, etc.
- Los aceites biinsaturados: índices de yodo de 100-150
 - Linoleico: maíz, girasol, algodón, etc.
- Los aceites triinsaturados: índices de yodo > 150
 - Linolénico: linaza, cañamo, etc.

Análisis fisicoquímicos de un aceite vegetal

Los parámetros más importantes que nos permiten evaluar la calidad de los aceites vegetales son:

- Acidez

Se define como la masa en mg de KOH necesaria para neutralizar la acidez libre en 1 gramo de grasa. Mediante este índice se evalúan, esencialmente, los ácidos grasos libres.

Los ensayos de acidez (expresada como equivalentes de ácido oleico) permiten asegurar y mantener un estándar de calidad y frescura deseadas para el aceite. (Manrique, 2017)

— Densidad relativa

La densidad es la relación entre la masa y el volumen; la densidad de aceites vegetales es directamente proporcional al grado de insaturación, porque disminuye su viscosidad; e inversamente proporcional a la longitud de la cadena de ácidos grasos en su composición ya que la densidad disminuye al aumentar el peso molecular, aumentando así su viscosidad. (Chaves Yela, Ortiz Tobar, Bahos Ordoñez, Ordoñez Forero, & Villota Padilla, 2020)

— Humedad

Es el contenido de agua en el aceite o grasa y produce la hidrólisis de los triglicéridos el cual consiste en la reacción (rompimiento) de las uniones entre los ácidos grasos y el glicerol generando ácidos grasos libres, mono glicéridos, di glicéridos y/o glicerol. (Ramírez Nieves, 2018)

— Índice de Peróxido

Mide el estado de oxidación inicial de un aceite, este se asocia al enranciamiento de los aceites por lo general es un proceso natural, donde la composición de estos se altera con el tiempo, generando un cambio en las propiedades organolépticas, entre otras cosas. (Ramírez Nieves, 2018)

— Índice de refracción

Se define como la relación entre la velocidad de luz en el vacío, respecto a la velocidad de la luz en el aceite evaluado. El índice de refracción, es característico dentro de ciertos límites para cada aceite por lo que es un indicador de pureza. (Yaulema Yulan , 2014)

En aceites y grasas va aumentando conforme se incrementa el grado de insaturación. De igual manera, el IR aumenta conforme incrementa la longitud de la cadena de hidrocarburos y el número de enlaces dobles de las cadenas. (Chaves Yela, Ortiz Tobar, Bahos Ordoñez, Ordoñez Forero, & Villota Padilla, 2020)

1.3 Aceite de semilla de zapallo

El aceite de zapallo en cuanto al valor nutricional es comparable al del aceite de oliva, con diferencia que contiene la vitamina E, 4.5 veces mayor. (Gonzales Iquira, 2021)

En cuanto al aceite extraído de la variedad Cucúrbita pepo styriaca; es un aceite denso y dicromático, cuando se mira a través de él, es de color verde oscuro y cuando se le observa directamente es de un color desde pardo hasta rojo oscuro. Posee un marcado aroma a frutos secos y se puede emplear para cocinar incluso postres, pero lo más habitual es consumirlo añadido a ensaladas. Se obtiene mediante prensado en frío de las semillas. Este es el procedimiento más adecuado para mantener sus propiedades ya que si la extracción se realiza mediante procesos químicos, su pureza y contenido nutricional se ve afectada. (Diez, 2015)

Por otro lado el contenido de aceite en semillas de zapallo es una característica variable según el origen de la especie. (Ordóñez, Ortiz, Valdés, & Vallejo, 2014.pág.5)

En la tabla I-3, se muestra el contenido de los ácidos grasos principales, en el aceite de semillas de zapallo.

Tabla I- 3

Principales ácidos grasos del aceite de semillas de zapallo

| Componente | % |
|------------|------|
| Palmítico | 13,8 |
| Estearico | 11,2 |
| Oleico | 29,5 |
| Linoleico | 45,5 |

Fuente: Mitra, Ramaswamy, & Chang, 2009

Asimismo, las características fisicoquímicas de un aceite de semillas de zapallo se observan en la tabla I-4.

Tabla I- 4*Características fisicoquímicas del aceite de semillas de zapallo*

| Parámetro | Resultado |
|---|-----------|
| Índice de acidez (como ácido oleico) | 2,08 |
| Densidad (g/cm ³) a 20 °C | 0,92 |
| Índice de Peróxido (meq O ₂ /1 kg) | 2,83 |
| Índice de refracción (40°C) | 1,47 |

Fuente: Artica, Baquerizo, Rosales, & Rodríguez, 2016

Aplicaciones del aceite de semillas de zapallo

En la siguiente tabla I-5, se muestran algunas aplicaciones del aceite de semillas de zapallo:

Tabla I- 5*Aplicaciones del aceite de semillas zapallo*

| Aplicación | Descripción | Producto |
|-------------|---|---|
| Cosmética | ⁽¹⁾ Aceite natural de semillas de zapallo, comercializado como materia prima para cosmética natural. |  |
| Alimentaria | ⁽¹⁾ Aceite de zapallo Usos recomendados: Cocinar, saltear y hornear |  |

| Aplicación | Descripción | Producto |
|-------------------------|--|---|
| Alimentaria y cosmética | ⁽²⁾ Aceite líquido prensado en frío de semillas de calabaza, un aceite potente y versátil que se puede utilizar para cocinar y para uso tópico en la piel, el cabello y la cara |  |
| Cosmética | ⁽³⁾ Aceite de calabaza, prensado en frío, se utiliza en cosméticos para hidratar la piel y estrías, en terapia de masajes en combinación con aceites esenciales. |  |
| Farmacéutica | ⁽⁴⁾ El Jarabe de Pipas de Calabaza con otros ingredientes. Tiene un efecto preventivo en el agrandamiento de la próstata y ayuda a reducir inflamaciones del sistema urinario |  |

Fuente: Elaboración propia 2023, en base a información:⁽¹⁾ Mercado Libre, 2023; ⁽²⁾ Amazon, 2023; ⁽³⁾ Naissance, 2023; ⁽⁴⁾ Nahrin, 2023

El consumo de aceite de semillas de zapallo ayuda a la reducción de quistes, es antihelmíntico, antiinflamatorio, protege la próstata y contiene también antioxidantes que previenen el envejecimiento prematuro de las células. (Coanqui & Cabrera, 2020.pág. 6)

Producción de aceite de semillas de zapallo

En cuanto a la producción de aceite de semillas de zapallo (Cucúrbita pepo, cucúrbita máxima, entre otras variedades), es baja en comparación con los principales aceites

vegetales como el de palma, soja, colza, etc., debido a que es un producto poco conocido en el mercado.

Cabe mencionar, que se produce aceite de semilla de zapallo (Cucúrbita pepo, variedad styriaca), el cual es una especialidad culinaria de Europa, principalmente en Austria (regiones de Estiria, Baja Estiria), Eslovenia, Croacia, Hungría, entre otras regiones

Por otro lado, existe un solo lugar en Argentina, en la provincia de Buenos Aires; donde se produce aceite de semilla de zapallo var. Styriaca. Cuentan actualmente con una planta de extracción del aceite. Además cultivan su propia producción de zapallos. (Diez, 2015)

1.4 Normas

En Bolivia no se han elaborado aún normas específicas de calidad para el aceite de semillas de zapallo, tampoco se cuenta con alguna norma internacional específica para este aceite.

Pero en cuanto a Normas Internacionales de Alimentos se cuenta con:

- Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales CODEX STAN 19-1981 (rev. 2-1999), donde especifica la descripción del aceite virgen y sus características de calidad.

En la tabla I-6, se muestra los límites permisibles de la calidad de un aceite virgen.

Tabla I- 6

Límites permisibles para aceite virgen

| Parámetro | Límites permisibles |
|----------------------------|----------------------------|
| Materia volátil a 105 °C | < 0,2 % |
| Acidez (como ácido oleico) | < 2,010 % |
| Índice de peróxidos | < 15 meqO ₂ /kg |

Fuente: CODEX, 1999

1.5 Métodos tradicionales de extracción de aceite de semillas de zapallo

1.5.1 Proceso de extracción mediante prensado

Para la extracción de aceites vegetales de consumo humano, el método por prensado es el más utilizado desde tiempos antiguos.

Partiendo de la semilla limpia y lista para ser utilizada, el primer paso en la elaboración de aceites es la molienda de la semilla, la cual se realiza con molinos a martillos, cilindros o espolones. La finalidad de esta etapa es colapsar las estructuras vegetales para que el aceite sea liberado de la semilla. (Legaz Berbel, 2010)

Una vez acondicionada la semilla, pasa a la etapa del prensado en frío o en caliente, en una prensa expeller o hidráulica. Donde al ser sometida a presión, las gotas de aceite se separan de la masa.

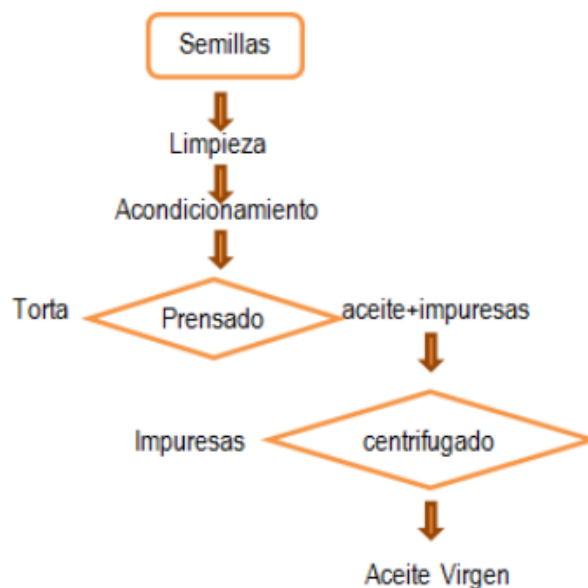
— **Aceite prensado en frío**

El CODEX (1991) denomina a los aceites vegetales comestibles obtenidos, sin modificar el aceite, mediante procedimientos mecánicos, por ejemplo, extrusión o prensado, sin la aplicación de calor. Podrán haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación únicamente.

En la figura I-9, se observa el esquema del proceso para la extracción de aceite por prensado.

Figura I- 9

Esquema del proceso de extracción de aceite por prensado



Fuente: Villanueva López, Castillo Benites, & Rodríguez Páucar, 2013

Cabe mencionar que la ventaja de un prensado en frío es que los sabores, ácidos grasos, lecitina, enzimas, vitaminas, minerales y antioxidantes que tienen un efecto positivo para la salud humana, se mantienen intactos al consumirlo. El aceite permanece sin una carga química adicional, porque no se agregan disolventes orgánicos, conservando así su sabor, olor y color característico. (Gonzales Iquira, 2021)

— **Aceite prensado en caliente**

El prensado en caliente, se refiere a la aplicación de calor sobre las semillas oleaginosas que eleva la temperatura a un punto específico con el fin de extraer más aceite de las semillas ya que disminuye su viscosidad. (Henan Kingman Mechanical & Electrical Complete Plant, 2022)

De acuerdo a Valderrama, Alejandro, & Aravena (1994) al aumentar la temperatura, aumenta el poder disolvente para los cuerpos que le dan color, sabor y olor; dando lugar a aceites que serán más impuros cuando más se caliente la materia prensada.

1.5.1.1 Prensa discontinua: Prensa hidráulica

Galarraga Rivera (2015) menciona que la extracción del aceite se lleva a cabo usando un embolo que genera una fuerza de compresión que rompe las paredes de las células y el aceite es liberado después de hacer compresiones sucesivas al material vegetal.

Durante el prensado se recomienda no bajar la presión para evitar que la torta reabsorba el aceite. El tiempo de prensado está en función de la presión ejercida; después de extraer el aceite, pasa a una etapa de filtración. La torta residual se acondiciona para un segundo prensado o para extracción por solvente. (Valderrama, Alejandro, & Aravena, 1994).

En la figura I-10, se observa la prensa hidráulica, para la extracción de aceite.

Figura I- 10

Prensa hidráulica



Fuente: Henan Vic. Machinery, 2022

1.5.1.2 Prensa continua: Prensa expeller

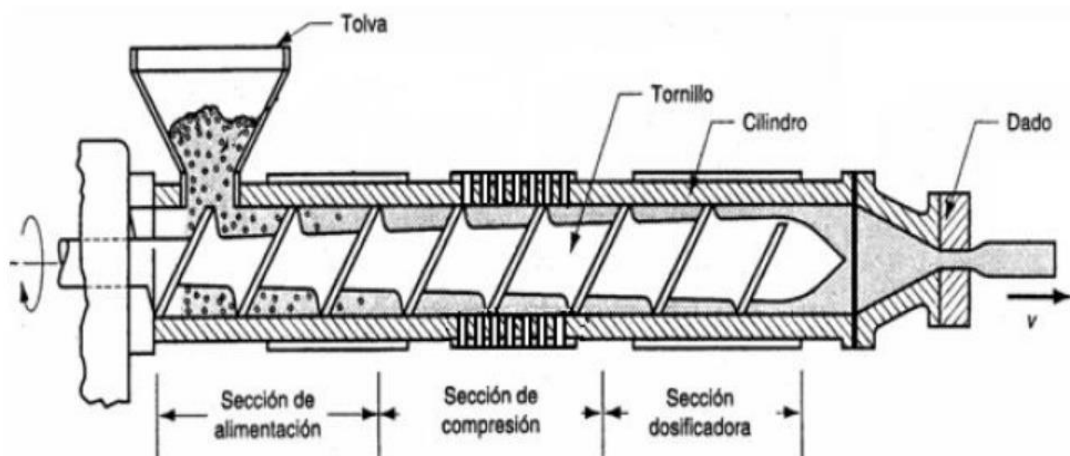
La extracción de aceite en una prensa de tipo expeller es continua, es decir, la obtención del aceite ocurre en un solo paso y se realiza por medio de un husillo que gira dentro de un barril o camisa; este husillo o tornillo sin fin se encarga de transportar el material

desde la alimentación en donde entra el material por medio de una tolva, hasta una sección dosificadora o de salida por la cual el material que sobra de la extracción es expulsado por un orificio llamado dado. Entre estas dos secciones de alimentación y dosificación, se encuentra la zona de compresión, debido a la forma del tornillo, se presenta la presión más elevada y por la cual el aceite es liberado por unos orificios o ranuras presentes en el barril de drenaje. La prensa es accionada por un motor eléctrico provisto de un reductor de velocidad que transmite movimiento hacia el husillo y hacia el tornillo de alimentación, dispuesto en la tolva. (Galarraga Rivera, 2015).

En la figura I-11, se observa la prensa tipo expeller.

Figura I- 11

Prensa expeller



Fuente: Galarraga Rivera, 2015

1.5.2 Proceso de extracción mediante solvente

El proceso de extracción mediante solvente, es un procedimiento eficaz para la extracción de aceites vegetales ya que puede reducir el contenido de aceite de las semillas oleaginosas hasta menos del 1 %. La extracción por solvente es ventajosa en el tratamiento de semillas de bajo contenido de aceite. Antes de la extracción se debe

de limpiar y triturar la semilla, la finalidad de triturar es abrir las células para facilitar la salida del aceite. (Valderrama, Alejandro, & Aravena, 1994)

La extracción por solvente es una operación de transferencia de masa, se basa en que el solvente penetra en el sólido y el aceite contenido en dicho sólido se hace miscible con el solvente, la cantidad extraída será mayor cuando la diferencia de concentraciones sea más grande. El aceite obtenido de esta manera debe ser refinado debido a que es de menor calidad que el obtenido por presión en frío. (Valderrama, Alejandro, & Aravena, 1994)

Extracción por el método Soxhlet

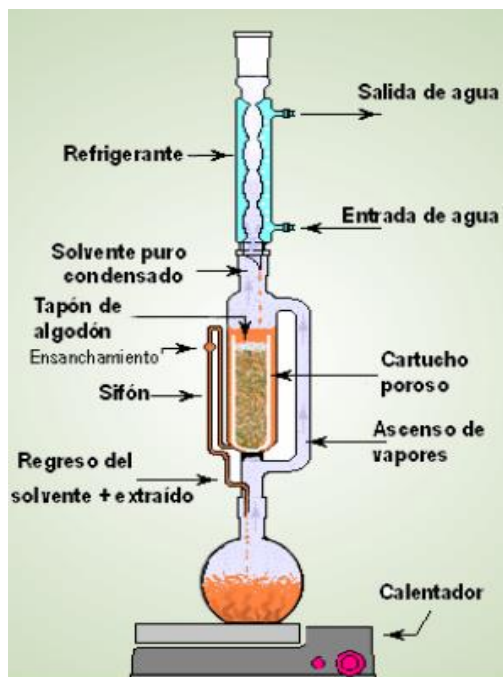
El extractor Soxhlet realiza un sinnúmero de extracciones de manera automática, con el mismo solvente que se evapora y condensa llegando al material de manera pura. (Núñez, 2008.pág. 1)

La extracción Soxhlet se fundamenta en las etapas siguientes: 1) Colocar el solvente en un balón; 2) Ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo; 3) Cae el condensado en un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior; 4) Ascenso del nivel del solvente que cubre el cartucho hasta un punto en el que se produce el reflujo que vuelve al balón el solvente con el material extraído. (Núñez, 2008)

En la figura I-12, se observa el extractor Soxhlet

Figura I- 12

Extractor Soxhlet



Fuente: Núñez, 2008

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación " Extracción de aceite virgen de semillas de zapallo criollo (*Cucúrbita máxima L.*), mediante prensado en frío", se llevara a cabo en el Laboratorio del Operaciones Unitarias (LOU); dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

2.1 Descripción y análisis de la materia prima

2.1.1 Ubicación geográfica de la materia prima

La semilla de zapallo criollo (*Cucúrbita máxima L.*) es la materia prima a emplear, para la extracción del aceite virgen, estas se obtienen del zapallo que se cultiva en la Comunidad de Santa Bárbara de la provincia Méndez del departamento de Tarija.

Figura II- 1

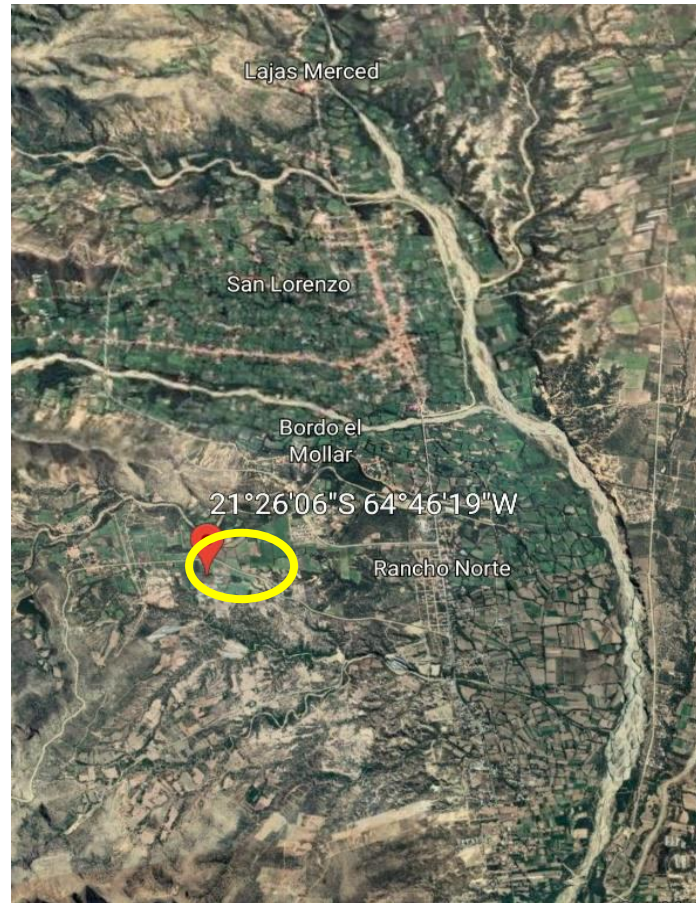
Ubicación del cultivo de zapallo, en la Provincia Méndez-Tarija



Fuente: Google maps, 2023

Figura II- 2

Ubicación más precisa del cultivo de zapallo, Comunidad Santa Bárbara-Provincia Méndez



Fuente: Google Maps, 2023

Con coordenadas UTM:

Este (UTMX): 316361,2 m. Norte (UTMY): 7628670,5 m.

2.1.2 Características de la materia prima

Las semillas de zapallo a emplear para la extracción de aceite virgen, se obtienen de zapallos de madurez comercial, es decir que estén listos para el consumo; estos tienen distintos tamaños con peso entre 5-20 Kg aproximadamente, presentan un color plomo verdoso.

En la figura II-3, se puede observar el zapallo cultivado en la Comunidad de Santa Bárbara.

Figura II- 3

Zapallo producido en la comunidad de Santa Bárbara



Fuente: Elaboración propia, 2023

A continuación en la tabla II-1, se puede observar el peso de los zapallos criollos (Cucúrbita máxima L.)

Tabla II- 1

Peso de zapallo (Cucúrbita máxima L.)

| Nº | Peso del zapallo (Kg) | Nº | Peso del zapallo (Kg) |
|----------|-----------------------|----|-----------------------|
| 1 | 15,5 | 11 | 24 |
| 2 | 10 | 12 | 18,5 |
| 3 | 8,5 | 13 | 7,5 |
| 4 | 12 | 14 | 24 |
| 5 | 17,5 | 15 | 20 |
| 6 | 14 | 16 | 16,5 |
| 7 | 13,5 | 17 | 12,5 |
| 8 | 16 | 18 | 7 |
| 9 | 22,5 | 19 | 9 |
| 10 | 7,5 | 20 | 21 |
| Promedio | | | 15 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se puede observar en la tabla II-1; el peso promedio de zapallo cultivado en la Comunidad Santa Bárbara-Provincia Méndez; es de 15 Kg.

Ahora bien, dependiendo del tamaño que presente puede contener entre 300-500 semillas aproximadamente, con un peso de 190 g a 350 g, representando el 3 % del zapallo.

En la figura II-4 se observa la semilla de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*), la cual es ovalada, plana, de color crema, con borde delgado y liso.

Figura II- 4

Semilla de zapallo (Cucúrbita máxima L.)



Fuente: Elaboración propia, 2023

Para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, se debe de retirar la testa (cáscara); obteniendo así la almendra, la cual se observa en la figura II-5

Figura II- 5

Almendra de zapallo (Cucúrbita máxima L.)



Fuente: Elaboración propia, 2023

Por otro lado, en la tabla II-2, se muestra los resultados del análisis fisicoquímico de la almendra del zapallo (*Cucúrbita máxima L.*) la cual fue previamente secada, donde se determinaron los siguientes parámetros: Humedad, materia grasa, proteína, fibra, cenizas y carbohidratos y valor energético, proporcionados por el laboratorio Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), con la finalidad de conocer la calidad de la materia prima y si es apta para el presente trabajo de extracción de aceite de semilla de zapallo criollo.

Tabla II- 2

Análisis fisicoquímico de la almendra de zapallo (Cucúrbita máxima L.)

| Componente | Resultado % |
|------------------|------------------|
| Proteína | 33,17 |
| Fibra | 1,23 |
| Humedad | 4,86 |
| Ceniza | 3,97 |
| Carbohidrato | 7,37 |
| Grasa | 49,40 |
| Valor energético | 606,76 Kcal/100g |

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla II-2; se observa que la cantidad de materia grasa para almendra de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*); es de 49,40 %, lo cual lo hace una buena fuente de contenido de aceite.

2.2 Selección del método de extracción

Se procede a seleccionar el método de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, con la finalidad de explicar por qué se definió el método por prensado en frío para este proyecto de investigación; para esto se evaluará los distintos parámetros considerados influyentes en el proceso, de los diferentes métodos de extracción de aceite de semillas de zapallo, con el propósito de establecer un método adecuado.

Como se ha mencionado anteriormente la extracción de aceite de semillas de zapallo, se realiza por distintos métodos, entre los más empleados se encuentra el método por prensado hidráulico, prensado expeller y el método por solvente (Soxhlet). Para la

selección del método experimental de extracción de aceite de semillas de zapallo, se asignara una calificación, donde el que obtenga un mayor puntaje será considerado el mejor método para este trabajo

En la tabla II-3, se observa los parámetros evaluados para la selección del método de extracción de aceite de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*).

Tabla II- 3

Selección del método en la extracción de aceite de semillas de zapallo

| Parámetro evaluado | Método de extracción | | |
|-------------------------|---|---|---|
| | Método Soxhlet Proceso Discontinuo | Método Prensado Continuo Prensa tipo expeller | Método Prensado Discontinuo Prensa hidráulica |
| Disponibilidad | Si | No | Si |
| Rendimiento | Presenta altos rendimientos, debido a que puede reducir el aceite de la semilla a menos del 1 % ⁽¹⁾ | Presenta un buen rendimiento, dejando una torta con 10% aproximadamente, de aceite residual ⁽¹⁾ | Rendimientos más bajos, en comparación de un prensado expeller ⁽¹⁾ ; quedando una torta con 20 % aproximadamente de aceite residual ⁽⁴⁾ |
| Costos del proceso | Está sujeto al solvente a emplear. Suele ser mayor en comparación del método prensado | El costo es mayor para un prensado continuo debido al gasto de energía ⁽²⁾ | Costo muy bajo en comparación de un prensado expeller ⁽²⁾ |
| Tiempo del proceso | Generalmente el tiempo de extracción es de 6 horas, sujeto al solvente a emplear y materia prima ⁽¹⁾ | Es función de la presión ejercida sobre la masa ⁽¹⁾ ; generalmente el tiempo de extracción es de 5 min a 30 min ⁽³⁾ | Se extrae la mayor parte de aceite en 30 min aprox. ⁽³⁾ |
| Contaminación ambiental | Generalmente se emplean solventes como hexano, éter, que son sustancias tóxicas para el medio ambiente | Es un método que no produce contaminación ambiental | No produce contaminación ambiental |
| Calidad del aceite | Baja calidad debido a que puede quedar trazas del solvente y puede arrastrar algunos pigmentos de la semilla. Requiere de una refinación ⁽¹⁾ | Calidad inferior a un aceite obtenido mediante prensado hidráulico ⁽¹⁾ | Aceite de primera calidad ⁽¹⁾ |

Fuente: Elaboración propia, 2023 con datos de ⁽¹⁾ Valderrama, Alejandro, & Aravena, 1994; ⁽²⁾ Gonzales Iquira, 2021; ⁽³⁾ Galarraga Rivera, 2015; ⁽⁴⁾ O'Brien, 2008

Tabla II- 4*Escala de calificación*

| Escala de calificación | Puntuación |
|------------------------|------------|
| Excelente | 1 |
| Muy Buena | 0,8 |
| Buena | 0,6 |
| Regular | 0,4 |
| Mala | 0,2 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla II- 5*Matriz de decisión del método de extracción de aceite de semillas de zapallo*

| Parámetro evaluado | Método de extracción | | | | | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------|-------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Valor porcentual % | Extracción con el método Soxhlet | | Prensa Hidráulica | | Prensa tipo expeller | |
| | | Calificación | Ponderación | Calificación | Ponderación | Calificación | Ponderación |
| Disponibilidad | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 0,2 | 2 |
| Rendimiento | 20 | 1 | 20 | 0,6 | 12 | 0,8 | 16 |
| Costos | 10 | 0,4 | 4 | 1 | 10 | 0,6 | 6 |
| Tiempo del proceso | 10 | 0,4 | 4 | 0,6 | 6 | 1 | 10 |
| Contaminación ambiental | 20 | 0,6 | 12 | 1 | 20 | 1 | 20 |
| Calidad del aceite | 30 | 0,6 | 18 | 1 | 30 | 0,8 | 24 |
| Total | 100 | | 74 | | 88 | | 78 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

De acuerdo a los resultados de la matriz de decisión (tabla II-5), el método de extracción más conveniente es por prensado hidráulico, por tanto se empleara este método para la extracción de aceite de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*) a escala laboratorio.

Cabe mencionar que las semillas con bajo contenido de aceite, como de algodón y soja (20 % aproximadamente), generalmente se someten a extracción por solvente; y por el contrario para semillas con mayor contenido de aceite como el de girasol y colza con 40% y lino con 35 %; se realiza por prensado mecánico. (Gonzales Iquira, 2021). Lo que confirma que la alternativa seleccionada es la adecuada, debido al contenido de aceite de almendra que es de 49% aproximadamente.

En la tabla II-6, se observa los criterios evaluados, para la selección de un prensado en frío o en caliente.

Tabla II- 6

Selección de un prensado en frío o caliente

| Parámetro evaluado | Prensado hidráulico en frío o caliente |
|----------------------|---|
| Calidad del aceite | La calidad de un prensado en frío, es superior a la calidad de un prensado en caliente, debido a que sus propiedades nutricionales se mantienen intactos al consumirlo ⁽¹⁾ |
| Tiempo de extracción | El tiempo de extracción para un prensado en caliente en comparación de un prensado en frío, es más rápido, debido a que disminuye la viscosidad del aceite ⁽²⁾ |
| Costos de producción | Los costos de producción es mayor en un prensado en caliente, ya que se requiere utilizar calor para el calentamiento de la masa de extracción |

Fuente: Elaboración propia, 2023; con datos de: ⁽¹⁾ Gonzales Iquira, 2021; ⁽²⁾ Henan Kingman Mechanical & Electrical Complete Plant, 2022

En la tabla II-7, se muestra la escala de calificación para la selección de un prensado en frío o caliente.

Tabla II- 7*Escala de calificación*

| Escala de calificación | Puntuación |
|------------------------|------------|
| Excelente | 1 |
| Muy Buena | 0,8 |
| Buena | 0,6 |
| Regular | 0,4 |
| Mala | 0,2 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla II-8, se señala la matriz de selección de un prensado en frío o caliente, de acuerdo a los criterios evaluados en la tabla II-6.

Tabla II- 8*Matriz de selección de un prensado en frío o caliente*

| Parámetro evaluado | Método de extracción- Prensado hidráulico | | | | |
|----------------------|---|------------------|-------------|----------------------|-------------|
| | Valor porcentual % | Prensado en frío | | Prensado en caliente | |
| | | Calificación | Ponderación | Calificación | Ponderación |
| Calidad del aceite | 40 | 1 | 40 | 0,6 | 24 |
| Tiempo de extracción | 25 | 0,6 | 15 | 1 | 25 |
| Costos de producción | 35 | 1 | 35 | 0,6 | 21 |
| Total | 100 | | 90 | | 70 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

De acuerdo a los resultados de la tabla II-8, el prensado hidráulico para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*), se llevara a cabo en frío.

2.3 Diseño experimental

Montgomery (1991) los diseños factoriales, es utilizado en los experimentos donde intervienen varios factores, con la finalidad de estudiar el efecto conjunto de estos sobre una variable respuesta. Estos factores pueden ser cuantitativos como ser temperatura, tiempo y presión. También puede ser cualitativo como seria dos operadores, dos máquinas, los niveles inferiores y superiores de un factor.

2.3.1 Selección de las variables del diseño factorial

Los factores que afectan al rendimiento de extracción de aceite de semillas oleaginosas mediante prensado, son la presión aplicada, tiempo de prensado, temperatura de prensado (aplicación de calor), diámetro de partícula y el contenido de humedad de las semillas. (Khan & Hanna, 1983)

Ahora bien, la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, se llevará a cabo mediante prensado hidráulico en frío (sin aplicación de calor).

Por otro lado, mediante pruebas preliminares se observó pérdida de aceite al momento de reducir el tamaño de la almendra de zapallo, debido a que posee un alto porcentaje de materia grasa 49%, teniendo así un bajo rendimiento de extracción, por lo tanto esta variable se mantiene constante, la cual es semilla entera.

Asimismo, Gonzales Iquira (2021), obtuvo para una granulometría de almendra de zapallo de 0,354 (mm) un rendimiento de 23.61%; 0,841 (mm) con un rendimiento de 25,3 %; 1,65 (mm) cuyo rendimiento es 28,95 % y para semilla entera el rendimiento es de 41,50%.

Es así, que las variables a controlar en la obtención de aceite virgen de semillas de zapallo, son: la presión, tiempo de prensado, y contenido de humedad de las semillas, para determinar el mejor rendimiento de extracción de aceite.

a) Humedad

De acuerdo a Valderrama, Alejandro, & Aravena (1994) es recomendable que las semillas que tienen un alto contenido de aceite, contengan un porcentaje mínimo de humedad (aproximadamente 5%), el cual favorece el proceso de extracción de aceite.

Para este caso, se controlara el contenido de humedad de las almendras de zapallo, para su posterior extracción de aceite.

b) Presión

Al aplicar presión a las semillas oleaginosas mediante la prensa hidráulica, el aceite que se encuentra se separa de la masa (en este caso las semillas de zapallo) y sale de su interior.

Cualquier semilla tratada, a mayor presión aplicada, mayor es el rendimiento de extracción de aceite. (Gonzales Iquira, 2021)

c) Tiempo

La extracción de aceite, va a variar en función al tiempo que la muestra (semillas de zapallo) esté sometida a una determinada presión.

El siguiente proyecto se realizará mediante un diseño que corresponderá a un modelo experimental 2^3 , donde:

- 2: Número de niveles
- 3: Número de factores

El número de experimentos es 8; se realizará una réplica para validar los resultados, teniendo entonces: N° de experimentos $8 \times 2 = 16$

A continuación en la tabla II-9, se observa los valores de las variables de estudio, para el proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*)

Tabla II- 9

Nivel y variables del diseño factorial del experimento

| Variables | Nivel | |
|---------------|-------|------|
| | Bajo | Alto |
| Tiempo (min) | -1 | +1 |
| Humedad (%) | -1 | +1 |
| Presión (psi) | -1 | +1 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

El secado de la semilla es de gran importancia para la conservación durante el almacenamiento y para operaciones posteriores al proceso de extracción de aceite, la

humedad máxima admitida para la mayor parte de granos es de 8%. (Valentin , y otros, 2009)

En cuanto al contenido de humedad de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*), con el que se trabajara para la extracción de aceite, es de 8% y 4% establecido mediante pruebas preliminares; ya que para la conservación de estas semillas, la humedad tiene que ser inferior al 10% y con humedad debajo de 4%, se observa que se dificulta la etapa del descascarillado, existiendo pérdidas de almendra debido al bajo contenido de humedad, la almendra tiende a romperse al momento de retirar la testa.

Por otro lado, para garantizar la viabilidad de semillas se recomienda que el secado no pase de 40 °C y para asegurar una buena calidad para procesos industriales las semillas no se debe de secar a temperaturas superiores de 50 °C. (FAO, 1993)

De acuerdo a Sajama, y otros (2023) el secado de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima*) que se realizó en estufa con aire forzado a 40 °C, para la extracción de aceite mediante prensado, obtuvo buenas características nutricionales, destacándose el aporte oleico y linoleico.

Es así que el secado de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*), se realizara a 40 °C. Ahora bien, mediante pruebas preliminares, se determinó que para las semillas de zapallo, con un porcentaje de humedad del 8%, la almendra (semillas sin testa) contiene aproximadamente 6 % de humedad; y para semillas de zapallo con un porcentaje de humedad del 4 %, la almendra contiene aproximadamente el 3 % de humedad.

En cuanto al tiempo de extracción de aceite de semillas de zapallo, se estableció como tiempo mínimo 50 minutos y como máximo 100 minutos; y se definió la presión mínima de 4000 psi, tomando en cuenta que a una menor presión, se obtiene un bajo rendimiento de extracción de aceite, y como presión máxima de 5000 psi.

En la tabla II-10, se muestra los valores asignados para los niveles del proceso experimental.

Tabla II- 10*Nivel y variables de estudio*

| Variables | Nivel | |
|---------------|-------|------|
| | Bajo | Alto |
| Tiempo (min) | 50 | 100 |
| Humedad (%) | 3 | 6 |
| Presión (psi) | 4000 | 5000 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla II-11, se muestra el diseño factorial, observándose la interacción entre las variables, para evaluar la variable respuesta que es el rendimiento (R).

Tabla II- 11*Diseño factorial del proceso de extracción*

| N° de ensayos | Factores | | | Respuesta 1 | Respuesta 2 |
|---------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| | Tiempo (min) | Humedad (%) | Presión (Psi) | Aceite % | Aceite % |
| 1 | -1 | -1 | -1 | R1 | R1 |
| 2 | -1 | +1 | -1 | R2 | R2 |
| 3 | +1 | -1 | -1 | R3 | R3 |
| 4 | +1 | +1 | -1 | R4 | R4 |
| 5 | -1 | -1 | +1 | R5 | R5 |
| 6 | -1 | +1 | +1 | R6 | R6 |
| 7 | +1 | -1 | +1 | R7 | R7 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | R8 | R8 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

2.4 Equipos y materiales requeridos para el desarrollo del proyecto

En la tabla II-12, se señala los equipos y materiales que se emplean para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*).

Tabla II- 12

Equipos y materiales requeridos para la extracción del aceite virgen de semillas de zapallo criollo

| Equipos y materiales | Especificaciones técnicas |
|---------------------------|---|
| Estufa | -Temperatura máxima 70 °C -Capacidad para 3 bandejas |
| Termómetro | -Termómetro digital de contacto |
| Termo-anemómetro | -Termo-anemómetro digital portátil -Rango temperatura -20 °C a 70 °C -Rango Velocidad aire 1.1 a 20 m/s |
| Balanza de precisión | -Capacidad máxima 510g -Capacidad mínima 1 g -Error 0,01 g |
| Termobalanza a infrarrojo | -Capacidad máxima 15 g -Capacidad mínima 3 g -Precisión 0,01 % |
| Prensa hidráulica | -Capacidad máxima 1 kg -Presión máxima 6000 psi -Gata hidráulica de 6 ton |
| Embudo Büchner | -Material de plástico |
| Kitasato | -Material de vidrio - Capacidad máxima 1000 ml |
| Bomba de vacío | -Voltaje 230 V -Ciclos 50/60 Hz -Capacidad de vacío 0,8 bar |
| Bolsas de polietileno | - Con cierre hermético |
| Papel filtro | -Tamaño pliegue |
| Frasco ámbar | -Material de vidrio -Capacidad de 60 ml, 150 ml y 250 ml |

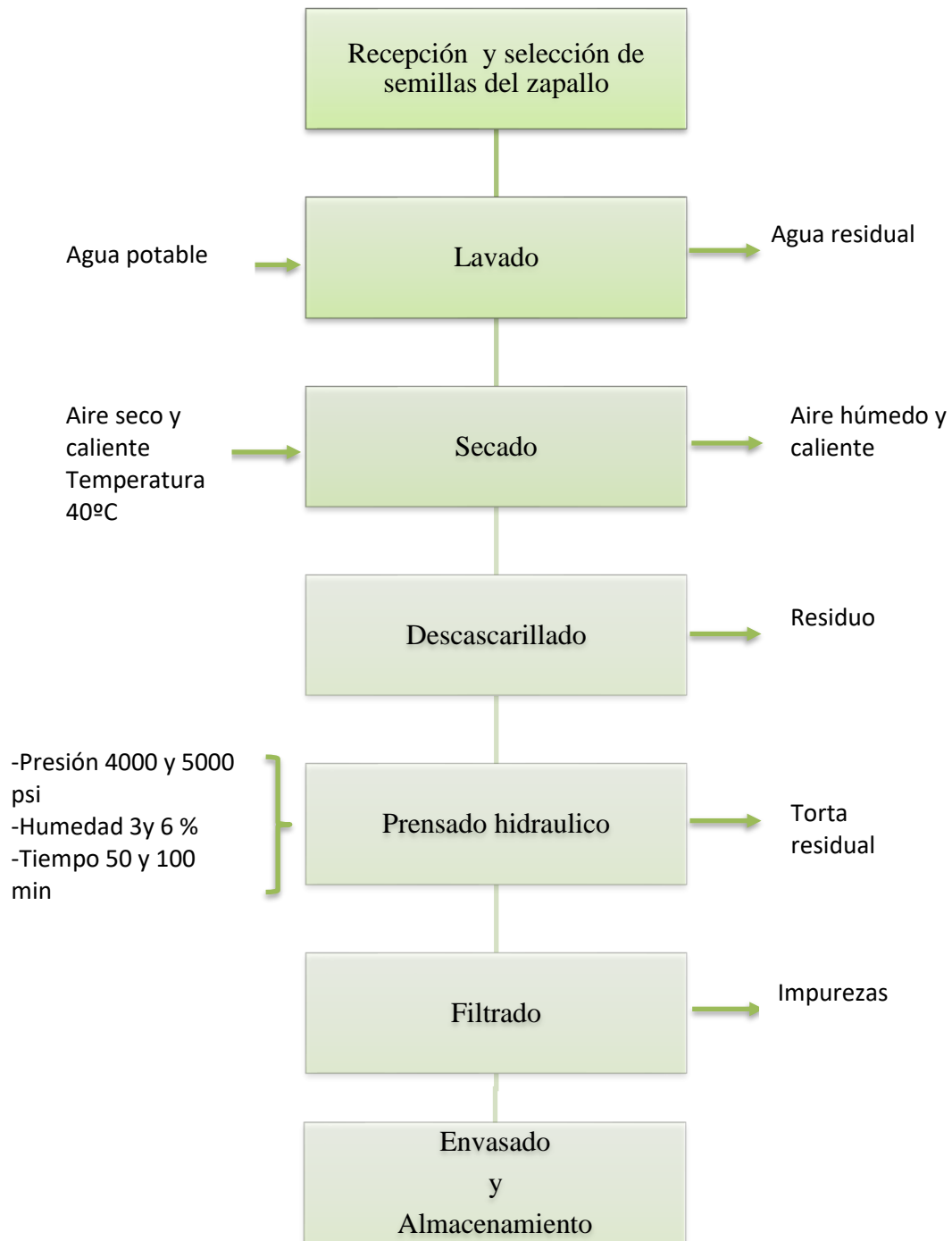
Fuente: Elaboración propia, 2023

2.5 Etapas del proceso de extracción experimental de aceite virgen de semillas de zapallo criollo (Cucúrbita máxima L.)

El diagrama de bloques (Figura II-6), muestra las diferentes etapas del proceso de extracción experimental de aceite virgen de semillas de zapallo, aplicando el método de extracción mediante una prensa hidráulica.

Figura II- 6

Diagrama para el proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6 Descripción del diagrama de proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo

La descripción de las diferentes etapas del diagrama de proceso para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo criollo, se detallan a continuación.

2.6.1 Recepción y selección de semillas del zapallo

En la figura II-7, se observa la extracción de la placenta donde están sujetas las semillas del zapallo criollo (*Cucúrbita máxima L.*) que fue adquirido de la Comunidad de Santa Bárbara, y manualmente se selecciona las semillas que contengan almendra; ya que son de estas que se obtiene aceite.

Figura II- 7

Extracción de semillas de zapallo criollo



Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.2 Lavado

Esta etapa consiste en lavar las semillas de zapallo con agua, con la finalidad de eliminar la placenta adherida a estas y la mucosidad pegajosa que presenta, para facilitar el secado y posterior extracción de aceite, a continuación se deja escurrir el agua por unos minutos antes de continuar con la etapa de secado. Este proceso se muestra en la figura II-8.

Figura II- 8

Remoción de la placenta adherida a la semilla de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.3 Secado

Se procede a secar las semillas de zapallo previamente lavadas, utilizando un secador de tiro forzado a una temperatura de 40 °C. Por un determinado periodo de 17-18 horas hasta alcanzar un contenido de humedad de 4 % (Para obtener una humedad del 3% en la almendra) y 14-15 horas para alcanzar un contenido de humedad del 8 % en la semilla (Para obtener una humedad del 6 % en la almendra). Este proceso se observa en la figura II-9.

Figura II- 9*Secado de semillas de zapallo*

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la siguiente figura II-10 se observa la semilla de zapallo después del proceso de secado.

Figura II- 10*Semilla seca de zapallo*

Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.4 Humedad de la semilla de zapallo

Se procedió a controlar la humedad de las semillas secas en la termobalanza a infrarrojo, tomando una muestra representativa del lote de aproximadamente 3 g.

En la figura II-11, se determina el control de humedad de semillas de zapallo con 4 % de humedad.

Figura II- 11

Control de humedad de semillas de zapallo, aprox. 4 %



Fuente: Elaboración propia, 2023

En la figura II-12, se muestra el control de humedad de semillas de zapallo, con humedad del 8 %.

Figura II- 12

Control de humedad de semillas de zapallo, aprox. 8 %



Fuente: Elaboración propia, 2023

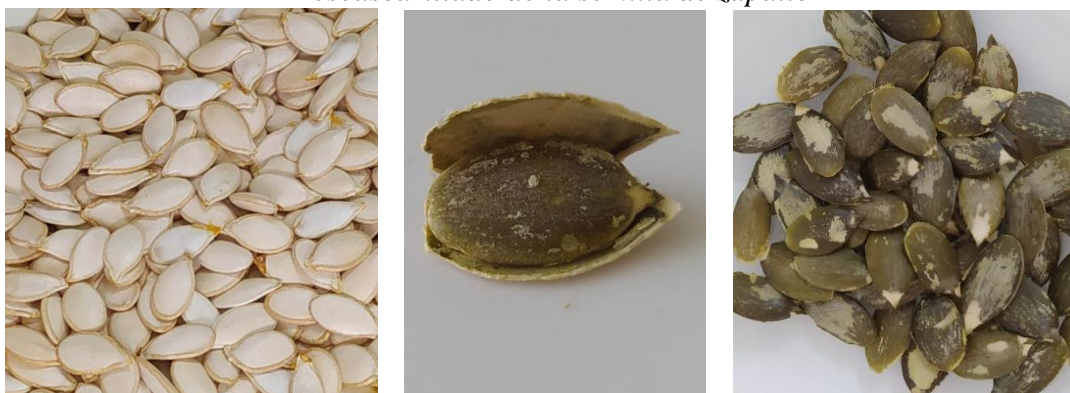
2.6.5 Descascarillado

Esta etapa se observa en la figura II-13, consta de retirar la testa de las semillas de zapallo (para aumentar el rendimiento de extracción ya que esta contiene $< 1\%$ de materia grasa) de forma manual, obteniendo así la almendra de zapallo.

De acuerdo a Rössel Kipping, Ortiz Laurel, Amante Orozco, Durán García, & López Martínez (2018) obtuvieron como resultado que el contenido de materia grasa de la testa de la semilla de zapallo, es de $0,146\%$.

Figura II- 13

Descascarillado de la semilla de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.6 Humedad de la semilla de zapallo descascarillada

Se determinó la humedad de la almendra de zapallo, después de su descascarillado, en la termobalanza a infrarrojo. En la figura II-14, se observa el control de humedad de la almendra de zapallo, que es del 6% aproximadamente, (semilla con humedad 8% aproximadamente)

Figura II- 14

Control de humedad de la almendra, humedad aprox. del 6%



Fuente: Elaboración propia, 2023

En la figura II-15, se muestra el control de humedad de la almendra de zapallo, el cual es del 3 % aproximadamente, (semillas con 4 % de humedad).

Figura II- 15

Control de humedad de la almendra, humedad aprox. del 3%



Fuente: Elaboración propia, 2023

Pesado de almendra de zapallo

A continuación se observa en la figura II-16, el pesado de la almendra de zapallo en la balanza de precisión, para la extracción de aceite virgen.

Figura II- 16

Pesaje de la almendra de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.7 Prensado hidráulico

Esta etapa es llevada a cabo en una prensa hidráulica para obtener aceite virgen de semillas de zapallo. En la Figura II-17, se observa este proceso.

De acuerdo al diseño experimental propuesto, para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, se trabajara con un tiempo de 50 min y 100 min, tanto para la almendra con 3% de humedad como de 6%, a una presión de 4000 lb/pulg² y 5000 lb/pulg², teniendo en cuenta que la temperatura no supere los 30 °C.

Para este proceso, se añade 100 g aproximadamente de almendra de zapallo al cilindro, luego se procede a ejercer presión mediante la gata hidráulica.

Figura II- 17

Prensado de la almendra de zapallo para la extracción de aceite



Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.8 Filtrado

En esta etapa se separó los residuos sólidos del aceite extraído mediante una filtración al vacío para obtener un aceite transparente; para la cual se requirió una bomba, un kitasato, papel filtro y un embudo Büchner. Proceso que se observa en la figura II-18.

Figura II- 18*Filtración al vacío del aceite extraído*

Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.9 Producto final y almacenamiento

En la figura II-19, se observa el aceite extraído de semilla de zapallo criollo, que se almacena en frascos ámbar de vidrio, que fueron previamente esterilizados, para una mejor conservación.

Figura II- 19*Envasado del aceite extraído*

Fuente: Elaboración propia, 2023

2.6.10 Control de Calidad

Después de la extracción del aceite virgen de semillas de zapallo criollo (*Cucúrbita máxima L.*) se somete a un análisis, mismos que fueron realizados por el CEANID (UAJMS) y por el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) Cochabamba, Bolivia. (Anexo D)

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*)

Propiedades físicas de las semillas de zapallo

En la tabla III-1, se observa las propiedades físicas: longitud, ancho, espesor y peso de semillas secas de zapallo, para la cual se utilizó un calibrador vernier.

Tabla III- 1

Propiedades físicas de semillas de zapallo (Cucúrbita máxima L.)

| N° | Semilla seca de zapallo (<i>Cucúrbita máxima L.</i>) | | | |
|----------|--|------------|--------------|----------|
| | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Peso (g) |
| 1 | 20,12 | 11,12 | 3,32 | 0,303 |
| 2 | 22,32 | 12,34 | 3,54 | 0,322 |
| 3 | 19,64 | 10,12 | 2,88 | 0,298 |
| 4 | 20,02 | 10,18 | 3,26 | 0,304 |
| 5 | 17,42 | 9,96 | 2,62 | 0,276 |
| 6 | 18,22 | 9,98 | 3,02 | 0,284 |
| 7 | 22,28 | 13,44 | 3,48 | 0,318 |
| 8 | 21,02 | 11,45 | 3,02 | 0,315 |
| 9 | 18,34 | 10,22 | 3,14 | 0,278 |
| 10 | 19,12 | 11,52 | 3,68 | 0,291 |
| Promedio | 19,85 | 11,03 | 3,20 | 0,299 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-1, se puede observar el promedio de los resultados obtenidos, de las propiedades físicas de semillas de zapallo: longitud 19,85 mm; ancho 11,03 mm; espesor 3,20 mm y peso 0,299 g.

En la tabla III-2, de igual manera, se observa las propiedades físicas: longitud, ancho, espesor y peso de almendra de zapallo (semilla de zapallo sin testa), para la cual se utilizó un calibrador vernier.

Tabla III- 2*Propiedades físicas de la almendra del zapallo (Cucúrbita máxima L.)*

| N° | Almendra de zapallo (<i>Cucúrbita máxima L.</i>) | | | |
|----------|--|------------|--------------|----------|
| | Longitud (mm) | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Peso (g) |
| 1 | 17,36 | 9,32 | 2,14 | 0,203 |
| 2 | 20,12 | 10,58 | 2,62 | 0,234 |
| 3 | 17,18 | 8,24 | 1,66 | 0,201 |
| 4 | 17,08 | 8,26 | 2,32 | 0,208 |
| 5 | 15,28 | 7,84 | 1,84 | 0,191 |
| 6 | 15,66 | 7,66 | 2,72 | 0,182 |
| 7 | 20,54 | 11,54 | 2,82 | 0,217 |
| 8 | 19,02 | 9,44 | 2,56 | 0,236 |
| 9 | 16,02 | 8,42 | 2,58 | 0,183 |
| 10 | 16,36 | 9,54 | 2,44 | 0,196 |
| Promedio | 17,46 | 9,08 | 2,37 | 0,205 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-2, se observa los resultados de las propiedades físicas de la almendra de zapallo, donde el promedio de longitud es 17,46 mm; ancho 9,08 mm; espesor 2,37 mm y peso 0,205 g de almendra; con dato de tabla III-1, se observa el peso promedio de semilla de zapallo es de 0,299 g; la diferencia de estos valores se obtiene el peso promedio de testa de la semilla de zapallo el cual es de 0,094 g.

Análisis fisicoquímico de semillas de zapallo

A continuación se observa en la tabla III-3, los resultados de las características fisicoquímicas de almendra de zapallo (semilla sin testa) cuyos datos fueron obtenidos en el CEANID. A continuación se realiza una comparación con datos bibliográficos.

Tabla III- 3

Comparación del análisis fisicoquímico de almendra de zapallo

| Almendra de zapallo (Cucúrbita máxima) | | |
|--|-----------|----------------------|
| Composición | Resultado | Datos bibliográficos |
| Proteína % | 33,17 | 41,94 |
| Fibra % | 1,23 | - |
| Humedad % | 4,86 | 5,00 |
| Ceniza % | 3,97 | - |
| Carbohidrato % | 7,37 | - |
| Grasa % | 49,40 | 48,94 |

Fuente: Resultado: CEANID, 2022 – Datos bibliográficos: Gonzales Iquira, 2021

Como se puede observar en la tabla III-3, los resultados en materia grasa son muy similares presentando un elevado porcentaje de materia grasa aproximadamente del 49 %, lo cual lo hace una materia prima adecuada para la extracción de aceite, por otro lado el contenido de proteína es menor en comparación con datos bibliográficos.

3.1 Secado de semillas de zapallo

Mediante pruebas preliminares se determinó el tiempo de secado de la semilla de zapallo, para la obtención de una humedad final del 4% el tiempo de secado es de 17-18 horas aprox. y para 8 % de humedad el tiempo es de 14-15 horas aprox.

Cabe mencionar, que mediante el uso del equipo termobalanza a infrarrojo, se determinó la humedad inicial y final para cada ensayo, con la finalidad de conocer la variación del porcentaje de humedad que contiene las semillas de zapallo; datos que se observan en la tabla III-4.

Para la determinación de la humedad extraída de semillas de zapallo, se empleó la siguiente formula.

$$\text{Humedad extraida} = \text{Humeda inicial} - \text{Humedad final} \quad \text{Ecuación III- 1}$$

Tabla III- 4*Determinación de humedad inicial y final de semillas de zapallo*

| N° ensayo | Peso de semilla fresca (g) | Humedad inicial de semilla fresca (%) | Peso de semilla lavada (g) | Humedad de semilla lavada (%) | Humedad final semilla (%) | Humedad extraída (%) | Peso semilla seca (g) |
|-----------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 266,868 | 48,530 | 273,000 | 51,820 | 4,520 | 47,300 | 143,061 |
| 2 | 263,924 | 50,352 | 270,043 | 53,240 | 8,300 | 44,940 | 147,756 |
| 3 | 269,912 | 44,320 | 274,903 | 47,830 | 4,210 | 43,620 | 153,980 |
| 4 | 257,402 | 46,350 | 266,843 | 50,020 | 7,960 | 42,060 | 153,679 |
| 5 | 269,394 | 49,520 | 275,256 | 51,930 | 4,480 | 47,450 | 143,757 |
| 6 | 260,258 | 45,520 | 267,353 | 48,630 | 8,460 | 40,170 | 158,787 |
| 7 | 265,993 | 45,870 | 274,737 | 49,520 | 3,910 | 45,610 | 148,389 |
| 8 | 259,392 | 48,840 | 267,834 | 51,160 | 8,280 | 42,880 | 152,057 |
| 9 | 266,904 | 50,020 | 273,996 | 53,140 | 4,390 | 48,750 | 139,333 |
| 10 | 258,042 | 47,730 | 266,256 | 50,240 | 8,310 | 41,930 | 153,885 |
| 11 | 268,043 | 48,120 | 275,356 | 51,940 | 4,170 | 47,770 | 142,788 |
| 12 | 259,634 | 46,430 | 265,336 | 49,280 | 8,250 | 41,030 | 155,529 |
| 13 | 268,245 | 49,930 | 275,357 | 52,620 | 4,550 | 48,070 | 141,763 |
| 14 | 261,921 | 45,520 | 269,736 | 48,920 | 7,900 | 41,020 | 158,070 |
| 15 | 267,823 | 49,370 | 275,147 | 52,590 | 4,180 | 48,410 | 140,868 |
| 16 | 262,921 | 47,720 | 270,545 | 50,240 | 7,880 | 42,360 | 154,962 |
| Promedio | 264,167 | 47,759 | 271,356 | 50,820 | 4,301 | 44,586 | 149,292 |
| | | | | | 8,168 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2023

De acuerdo a los valores de la tabla III-4, se puede observar que el contenido de humedad inicial de semillas de zapallo, está entre 44 %-50 %. Por otro lado, durante el lavado, la semilla de zapallo adquiere humedad, es por eso que el lavado debe ser rápido.

En cuanto a la humedad extraída es de 43% a 48% para alcanzar una humedad final de 4%; y para obtener una humedad final del 8% la humedad extraída va de 40 % al 44%.

Curvas de secado de semillas de zapallo

En la tabla III-5, se observa el registro del tiempo de secado de las semillas de zapallo previamente lavadas; y el registro de la variación de masa; considerando como masa inicial 100, 313 g, para evitar alteraciones de masa, ya que es más fácil de manipular durante el pesaje; cuya humedad inicial es de 53%; secada hasta obtener una humedad final aproximadamente de 4%; temperatura de secado 40°C.

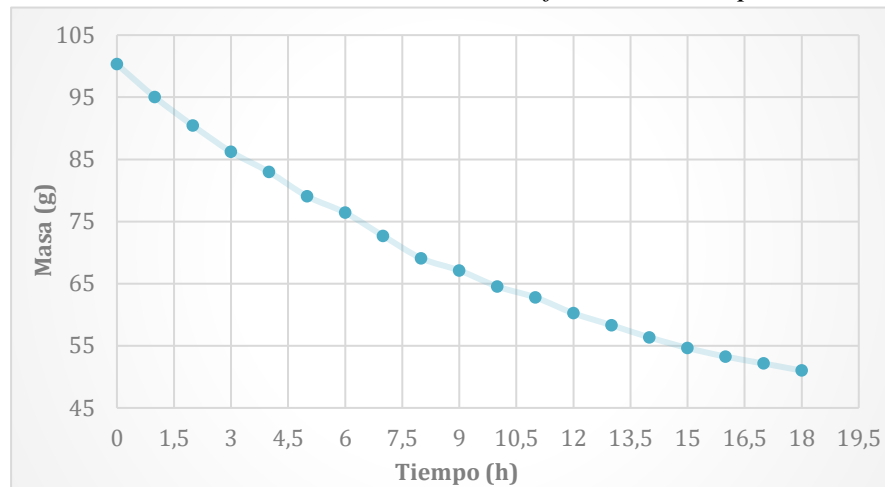
Tabla III- 5

Variación de masa en función del tiempo

| Tiempo (h) | Masa (g) | Tiempo (h) | Masa (g) |
|------------|----------|------------|----------|
| 0 | 100,313 | 10 | 64,537 |
| 1 | 95,004 | 11 | 62,784 |
| 2 | 90,425 | 12 | 60,236 |
| 3 | 86,215 | 13 | 58,317 |
| 4 | 82,956 | 14 | 56,344 |
| 5 | 79,056 | 15 | 54,642 |
| 6 | 76,415 | 16 | 53,254 |
| 7 | 72,681 | 17 | 52,145 |
| 8 | 69,078 | 18 | 51,004 |
| 9 | 67,123 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2023

A continuación se observa la curva de variación de masa durante el proceso de secado en función del tiempo, tiempo de secado de 18 horas para alcanzar una humedad del 4%.

Figura III- 1*Curva de variación de masa en función al tiempo*

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-6, se observa el registro del tiempo de secado de las semillas de zapallo previamente lavadas; y el registro de la variación de masa; considerando como masa inicial 100, 098 g, de igual manera, para evitar alteraciones de masa, ya que es más fácil de manipular durante el pesaje; cuya humedad inicial es de 52%; secada hasta obtener una humedad final aproximadamente de 8%; temperatura de secado 40°C.

Tabla III- 6*Variación de masa en función del tiempo*

| Tiempo (h) | Masa (g) | Tiempo (h) | Masa (g) |
|------------|----------|------------|----------|
| 0 | 100,098 | 8 | 71,328 |
| 1 | 95,486 | 9 | 68,002 |
| 2 | 91,894 | 10 | 66,018 |
| 3 | 87,005 | 11 | 63,039 |
| 4 | 83,956 | 12 | 61,311 |
| 5 | 80,123 | 13 | 59,456 |
| 6 | 77,024 | 14 | 57,879 |
| 7 | 73,543 | 15 | 55,997 |

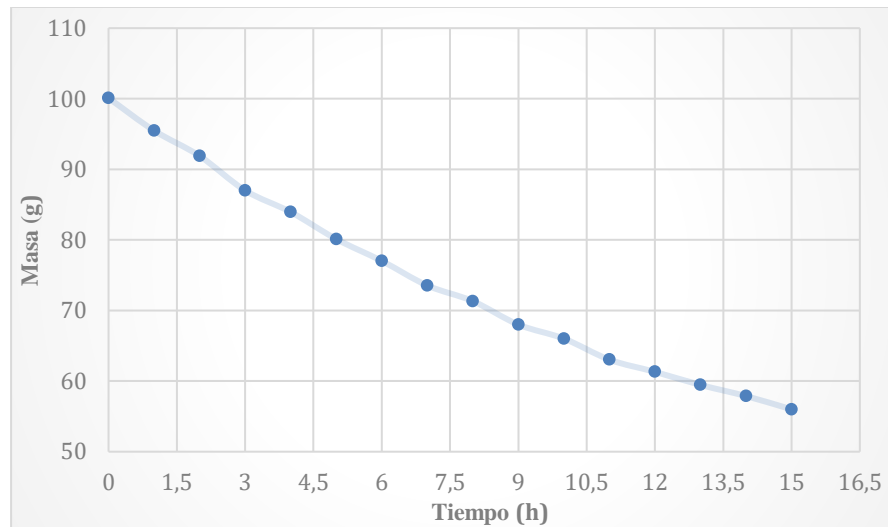
Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se puede observar en la tabla III-6, el tiempo de secado es de 15 horas, para semillas de zapallo para alcanzar una humedad final aproximadamente del 8% aproximadamente.

A continuación, en la figura III-2, se muestra la curva de variación de masa en función del tiempo.

Figura III- 2

Curva de variación de masa en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2023

Descascarillado de semillas de zapallo

A continuación en la tabla III-7, se observa el contenido de almendra de semillas de zapallo, para la cual se utilizó la siguiente formula:

$$\%Almendra = \frac{Masa\ de\ almendra(g)}{Masa\ semilla\ seca\ (g)} * 100 \quad \text{Ecuación III- 2}$$

Tabla III- 7*Determinación del % de almendra de semillas de zapallo*

| Nº ensayo | Peso semilla seca (g) | Masa de almendra (g) | % Almendra | % Humedad final de almendra |
|-----------|-----------------------|----------------------|------------|-----------------------------|
| 1 | 143,061 | 102,032 | 71,321 | 2,940 |
| 2 | 147,756 | 106,206 | 71,879 | 6,170 |
| 3 | 153,980 | 105,956 | 68,811 | 3,180 |
| 4 | 153,679 | 107,435 | 69,909 | 5,950 |
| 5 | 143,757 | 101,688 | 70,736 | 3,240 |
| 6 | 158,787 | 109,996 | 69,273 | 6,360 |
| 7 | 148,389 | 104,831 | 70,646 | 2,840 |
| 8 | 152,057 | 107,924 | 70,976 | 6,210 |
| 9 | 139,333 | 100,128 | 71,862 | 3,340 |
| 10 | 153,885 | 108,394 | 70,438 | 6,330 |
| 11 | 142,788 | 101,055 | 70,773 | 2,880 |
| 12 | 155,529 | 109,236 | 70,235 | 6,190 |
| 13 | 141,763 | 100,035 | 70,565 | 3,480 |
| 14 | 158,070 | 108,620 | 68,716 | 5,930 |
| 15 | 140,868 | 100,022 | 71,004 | 3,110 |
| 16 | 154,962 | 108,053 | 69,729 | 5,900 |
| Promedio | 149,292 | 105,101 | 70,430 | 3,126 |
| | | | | 6,130 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se puede apreciar en la tabla III-7, el contenido de almendra de semillas de zapallo, es de aproximadamente el 70 %, por lo tanto contiene un 30% de masa de testa (cáscara).

Determinación del rendimiento del aceite extraído

En la tabla III-8, se observa el rendimiento del aceite extraído de semillas de zapallo sin testa, para cada ensayo, el cual se determinó con la siguiente formula, mencionada por (Gonzales Iquira, 2021):

$$\% R = \frac{M_{aceite}}{M_{semilla}} * 100$$

Ecuación III- 3

Donde:

- R= Rendimiento de la extracción (%)
- M_{aceite} = Cantidad de aceite obtenido (g)
- M_{semilla} = Cantidad de semilla sin testa (almendra) ingresada (g)

Cabe mencionar que para el cálculo del rendimiento se toma como dato la cantidad de aceite obtenido sin impurezas.

Para la determinación del peso de impurezas se realizó utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación III- 4

$$\text{Peso impurezas (g)} = (\text{Peso papel filtro} + \text{impurezas}) - \text{peso papel filtro}$$

Tabla III- 8

Determinación del rendimiento de extracción de aceite

| N° de ensayo | | Peso de almendra (g) | Aceite extraído (g) | Peso impurezas (g) | % Rendimiento de la extracción |
|--------------|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Replica I | 1 | 102,032 | 19,309 | 0,719 | 17,595 |
| | 2 | 106,206 | 17,093 | 0,620 | 14,979 |
| | 3 | 105,956 | 21,299 | 1,009 | 18,465 |
| | 4 | 107,435 | 20,877 | 0,719 | 18,122 |
| | 5 | 101,688 | 23,880 | 1,011 | 21,715 |
| | 6 | 109,996 | 22,735 | 0,784 | 19,275 |
| | 7 | 104,831 | 29,265 | 0,939 | 26,100 |
| | 8 | 107,924 | 27,162 | 0,760 | 23,634 |
| Replica II | 9 | 100,128 | 18,082 | 0,732 | 16,732 |
| | 10 | 108,394 | 16,549 | 0,801 | 14,024 |
| | 11 | 101,055 | 20,638 | 0,948 | 18,811 |
| | 12 | 109,236 | 20,709 | 1,064 | 17,359 |
| | 13 | 100,035 | 22,572 | 0,999 | 20,821 |
| | 14 | 108,620 | 21,537 | 0,860 | 18,382 |
| | 15 | 100,022 | 26,878 | 0,840 | 25,146 |
| | 16 | 108,053 | 27,725 | 0,928 | 23,954 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Se puede observar en tabla III-8, que el mejor rendimiento es para el ensayo N°7 con su respectiva replica N° 15, obteniéndose 26,100 % y 25,146 % de aceite extraído; lo que quiere decir que de cada 100 g de masa de almendra de zapallo, se obtiene 26 g de aceite aproximadamente.

De acuerdo a los datos del rendimiento de extracción del aceite, se puede apreciar que a mayor presión, mayor tiempo y menor contenido de humedad, se obtiene un mejor rendimiento de aceite extraído.

Otra manera de expresar el rendimiento es en base al contenido total de aceite que contiene la semilla de zapallo, para esto se requiere conocer la relación que existe en cuanto a humedad con contenido de materia grasa de las semillas de zapallo; se determinó, para dos niveles de madurez de zapallo, el cual se observa en la tabla III-9.

Tabla III- 9

Humedad y materia grasa de semillas de zapallo, para dos niveles de madurez

| Nivel de madurez (semillas de zapallo) | Materia grasa (%) | Humedad (%) |
|--|-------------------|-------------|
| (3-4 meses aprox.) | 12,69 | 61,75 |
| (6-7 meses aprox.) | 21,61 | 38,84 |

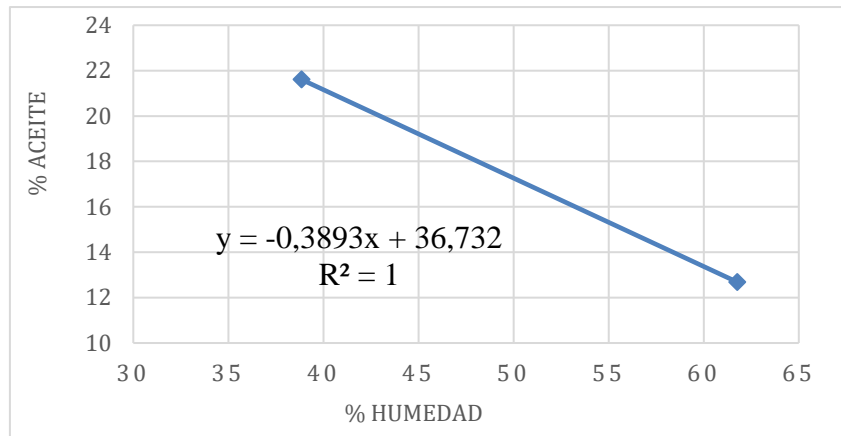
Fuente: CEANID, 2023

De acuerdo a los valores de la tabla III-9, se observa que a medida que madura más el zapallo, sus semillas contienen menor humedad y por tanto mayor materia grasa. Estos datos nos permiten obtener una relación de humedad con materia grasa, mediante la siguiente ecuación que se muestra en la figura III-3.

Cabe mencionar que el contenido de materia grasa determinado para semillas de zapallo; engloba todos los ácidos grasos tanto saturados como insaturados, por tanto este representa el contenido total de aceite de semillas de zapallo ya que el aceite se caracteriza por poseer mayor contenido de ácidos grasos insaturados y menor contenido de ácidos grasos saturados.

Figura III- 3

Contenido de humedad en relación al contenido de aceite, en semilla de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se observa en la figura III-3, el contenido total de aceite en función al contenido de humedad, está dado por la siguiente ecuación:

$$\%Aceite\ total\ de\ sz = -0,3893 * HI + 36,732 \quad \text{Ecuación III- 5}$$

Dónde: — % Aceite total de sz= Porcentaje de aceite total de semillas de zapallo

— HI= Humedad inicial de semillas de zapallo

Obteniendo así el porcentaje de aceite total en base original, de semillas de zapallo.

Para llevar este valor a base seca, se determina con la siguiente ecuación:

$$\%Aceite\ total\ (base\ seca) = \frac{\%Aceite\ total\ (Base\ original)}{Factor\ de\ humedad} \quad \text{Ecuación III- 6}$$

El factor de humedad se calcula, empleando la siguiente fórmula:

$$Factor\ de\ humedad = \left(\frac{100 - \%humedad\ inicial\ (Base\ original)}{100} \right) \quad \text{Ecuación III- 7}$$

En la tabla III-10, se observa el contenido de aceite total de semillas de zapallo en base seca.

Tabla III- 10*Determinación del contenido de aceite total de semillas de zapallo*

| N° de ensayo | %Aceite total de semillas (Base original) | %Humedad total de semilla fresca | Factor de humedad | %Aceite total de semillas (Base seca) |
|--------------|---|----------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1 | 17,839 | 48,530 | 0,515 | 34,660 |
| 2 | 17,130 | 50,352 | 0,496 | 34,503 |
| 3 | 19,478 | 44,320 | 0,557 | 34,982 |
| 4 | 18,688 | 46,350 | 0,537 | 34,833 |
| 5 | 17,454 | 49,520 | 0,505 | 34,576 |
| 6 | 19,011 | 45,520 | 0,545 | 34,895 |
| 7 | 18,875 | 45,870 | 0,541 | 34,869 |
| 8 | 17,719 | 48,840 | 0,512 | 34,634 |
| 9 | 17,259 | 50,020 | 0,500 | 34,532 |
| 10 | 18,151 | 47,730 | 0,523 | 34,725 |
| 11 | 17,999 | 48,120 | 0,519 | 34,693 |
| 12 | 18,657 | 46,430 | 0,536 | 34,827 |
| 13 | 17,294 | 49,930 | 0,501 | 34,540 |
| 14 | 19,011 | 45,520 | 0,545 | 34,895 |
| 15 | 17,512 | 49,370 | 0,506 | 34,589 |
| 16 | 18,155 | 47,720 | 0,523 | 34,726 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se puede observar en la tabla III-10; el contenido de aceite total de semillas de zapallo es de 35 % aproximadamente; a pesar de la variación de humedad que contiene las semillas de zapallo, llevando a base seca, el porcentaje de aceite no varía en gran medida; es por tal motivo que se determinara un análisis para obtener el contenido de aceite de semilla de zapallo sin testa (almendra).

Ahora bien, la variación del contenido de aceite de las semillas de zapallo, entre los resultados proporcionado por el laboratorio CEANID (tabla III-9) cuyos análisis se realizaron a distinta madurez del zapallo con la finalidad de conocer la relación aceite y humedad, con los valores determinados en la tabla III-10, se debe al contenido de humedad que contiene las semillas; donde a mayor madurez del zapallo, menor será el contenido de humedad, cabe mencionar que cuando se realizó la parte experimental del presente trabajo de investigación, la madurez comercial del zapallo era aproximadamente de 5 meses.

En la tabla III-11, se observa el porcentaje de aceite total de almendra de zapallo.

Tabla III- 11

Aceite total de almendra en base seca

| Aceite de almendra % | Humedad % | Factor humedad | Aceite de almendra en base seca % |
|----------------------|-----------|----------------|-----------------------------------|
| 49,400 | 4,860 | 0,951 | 51,923 |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de CEANID, 2022

En la tabla III-12, se observa el rendimiento en base al total de aceite que contiene la almendra de zapallo, para la cual se determina con la siguiente formula, mencionada por (Montaño , 2021)

$$\% R \text{ del total de AA} = \frac{\% \text{ Aceite extraído de muestra (base seca)}}{\% \text{ Aceite total de muestra(base seca)}} * 100 \quad \text{Ecuación III- 8}$$

Donde:

- %R del total de AA= Porcentaje de rendimiento del total del aceite que contiene la almendra de zapallo
- % Aceite extraído de muestra (base seca)= Contenido de aceite extraído de almendra de zapallo (Tabla III-8)
- % Aceite total de muestra (base seca)= Es el contenido de aceite total de almendra de zapallo, en base seca (Tabla III-11)

En cuanto al aceite residual presente en la torta, se determina con la siguiente ecuación:

Ecuación III- 9

$$AR = \% \text{ Aceite total de muestra (base seca)} - \% \text{ Aceite extraído de muestra (base seca)}$$

Donde:

- AR=Aceite Residual

Tabla III- 12*Rendimiento del total de aceite de almendra de zapallo*

| Nº de ensayo | % Aceite extraído de almendra (Base seca) (Aplicando la Ec. 3) | % Aceite Residual (Aplicando la Ec. 9) | Rendimiento en base al total de aceite de almendra% (Aplicando la Ec. 8) |
|--------------|--|--|--|
| 1 | 17,595 | 34,328 | 33,887 |
| 2 | 14,979 | 36,944 | 28,849 |
| 3 | 18,465 | 33,459 | 35,562 |
| 4 | 18,122 | 33,802 | 34,901 |
| 5 | 21,715 | 30,208 | 41,822 |
| 6 | 19,275 | 32,649 | 37,121 |
| 7 | 26,100 | 25,824 | 50,265 |
| 8 | 23,634 | 28,290 | 45,516 |
| 9 | 16,732 | 35,191 | 32,225 |
| 10 | 14,024 | 37,899 | 27,010 |
| 11 | 18,811 | 33,112 | 36,229 |
| 12 | 17,359 | 34,565 | 33,431 |
| 13 | 20,821 | 31,102 | 40,100 |
| 14 | 18,382 | 33,541 | 35,403 |
| 15 | 25,146 | 26,778 | 48,429 |
| 16 | 23,954 | 27,970 | 46,133 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se puede observar en la tabla III-12, el mejor rendimiento se obtuvo en el ensayo Nº 7, el cual es del 50 %, lo que significa que se llegó a obtener la mitad del aceite total que contiene la almendra de zapallo.

3.2 Balance de materia

El balance de materia realizado con la finalidad de conocer los flujos másicos del proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo criollo, desde la etapa de lavado de materia prima hasta obtener el producto final. Cabe mencionar que no se realiza el balance de materia en la etapa de extracción de semillas de la placenta del zapallo, debido a que simplemente se separa la semilla de la placenta, no existiendo alteración de la materia prima.

A continuación en la tabla III-13, se muestra la nomenclatura de los componentes que intervienen en el balance de materia.

Tabla III- 13

Nomenclatura de los flujos másicos del balance de materia

| Nomenclatura | Unidad | Descripción |
|--|--------|---|
| MSF | g | Masa de semillas frescas |
| MSL | g | Masa de semillas lavada |
| MSL _s | g | Masa de semillas lavada (componente solido) |
| MAP | g | Masa de agua potable |
| MAR | g | Masa de agua residual |
| MAE | g | Masa de agua evaporada |
| MSS | g | Masa de semillas secas |
| MSS _s | g | Masa de semillas secas (componente solido) |
| MSS _{H2O} | g | Masa de semillas secas (componente liquido) |
| MA | g | Masa de almendras |
| MC | g | Masa de cáscaras |
| MP | g | Masa de pérdidas |
| MT | g | Masa de torta |
| MAC | g | Masa de aceite extraído |
| MI | g | Masa de impurezas |
| MAF | g | Masa de aceite filtrado |
| W _{H2O} X _{H2O} Y _{H2O} Z _{H2O} | - | Fracción de agua |
| W _s X _s Y _s Z _s | - | Fracción de solidos |

Fuente: Elaboración propia, 2023

3.2.1 Lavado

Se considera los datos encontrados experimentalmente, el contenido de humedad inicial de 47,759 %, el contenido de humedad después del lavado 50,820 %; el volumen de agua empleado para el lavado de 270 g de semillas es de 2,5 L. Valores obtenidos en la sección 3.2

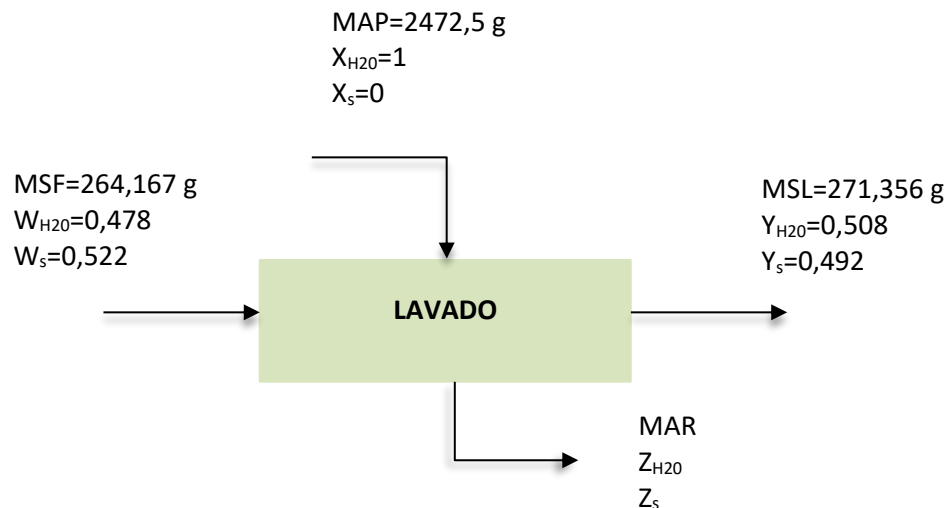
Por otro lado, se determinó la densidad del agua, para esto se obtuvo la masa del agua de un volumen de 50 ml, teniendo así $\rho = \frac{m}{V} = \frac{49,471 \text{ g}}{50 \text{ ml}} = 0,989 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 989 \frac{\text{g}}{\text{l}}$; valor determinado a una temperatura de 25 °C.

Teniendo así un peso de agua de lavado de $2,5 \text{ l} * 989 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 2472,5 \text{ g}$

En la figura III-4, se muestra el balance de materia en la etapa de lavado de las semillas de zapallo

Figura III- 4

Balance de materia en la etapa de lavado



Fuente: Elaboración propia, 2023

Partiendo del balance de materia global, se calcula el agua residual del lavado:

$$MSF + MAP = MSL + MAR$$

$$MAR = 264,167 \text{ g} + 2472,5 \text{ g} - 271,356 \text{ g} = 2465,311 \text{ g}$$

Balance parcial para componentes sólidos:

$$MSF * W_s + MAP * X_s = MSL * Y_s + MAR * Z_s$$

$$MAR * Z_s = 264,167 \text{ g} * 0,522 + 2472,5 * 0 - 271,356 \text{ g} * 0,492$$

$$MAR * Z_S = 4,388 \text{ g de restos de placenta}$$

Balance parcial para componentes líquidos:

$$MSF * W_{H_2O} + MAP * X_{H_2O} = MSL * Y_{H_2O} + MAR * Z_{H_2O}$$

$$MAR * Z_{H_2O} = 264,167 \text{ g} * 0,478 + 2472,5 \text{ g} * 1 - 271,356 \text{ g} * 0,508$$

$$MAR * Z_{H_2O} = 2460,923 \text{ g de agua de lavado}$$

3.2.2 Secado

De acuerdo a la etapa anterior; se obtiene el peso de semilla lavada y el contenido de humedad.

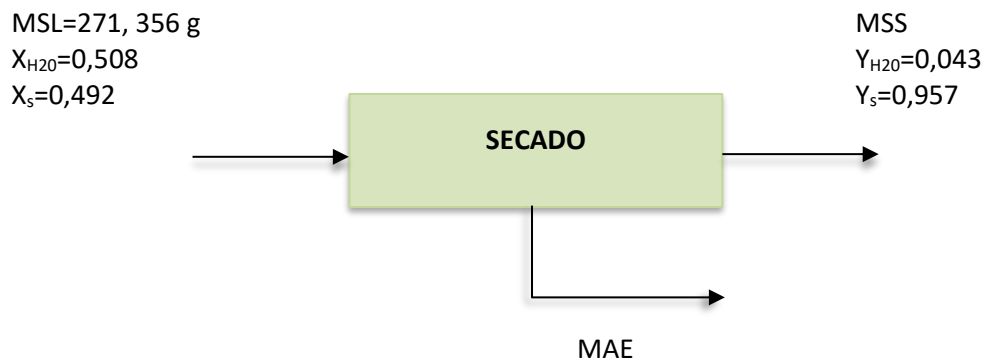
Después del secado se obtiene una humedad final del 4,301 %. Dato determinado en la sección 3.2. Cabe mencionar que es un valor promedio de humedad final determinado de manera experimental para la obtención de una humedad final de 4 %

Asimismo se menciona, que la humedad final del 4% es un valor seleccionado en el balance de materia, debido a que tiene un mejor rendimiento en la extracción de aceite en comparación con una humedad final del 8 %.

En la figura III-5, se muestra el balance de materia para la etapa de secado de semillas de zapallo.

Figura III- 5

Balance de materia en la etapa de secado



Fuente: Elaboración propia, 2023

El balance global, está dado por la siguiente formula:

$$MSL = MSS + MAE$$

Cabe mencionar que la cantidad de masa del componente solido de semillas lavada es igual a la cantidad de masa del componente sólido para semillas secas, debido a que esta etapa solo consta de evaporar la humedad; por lo tanto la siguiente ecuación es:

$$MSL_S = X_S * MSL$$

$$MSL_S = 0,508 * 271,356 \text{ g}$$

$$MSL_S = 137,849 \text{ g}$$

Entonces, la masa de semillas secas, será:

$$MSS_S = MSS * Y_S$$

$$MSS = \frac{MSS_S}{Y_S}$$

$$MSS = \frac{137,849 \text{ g}}{0,957} = 144,043 \text{ g}$$

En cuanto a la cantidad de humedad que contiene las semillas secas, se determina con la siguiente ecuación:

$$MSS_{H_2O} = MSS - MSS_S$$

$$MSS_{H_2O} = 144,043 \text{ g} - 137,849 \text{ g}$$

$$MSS_{H_2O} = 6,194 \text{ g}$$

Ahora bien, mediante un balance parcial del componente H₂O, se encuentra la cantidad de agua evaporada.

$$MSL * X_{H_2O} = MSS * Y_{H_2O} + MAE$$

$$MAE = MSL * X_{H_2O} - MSS * Y_{H_2O}$$

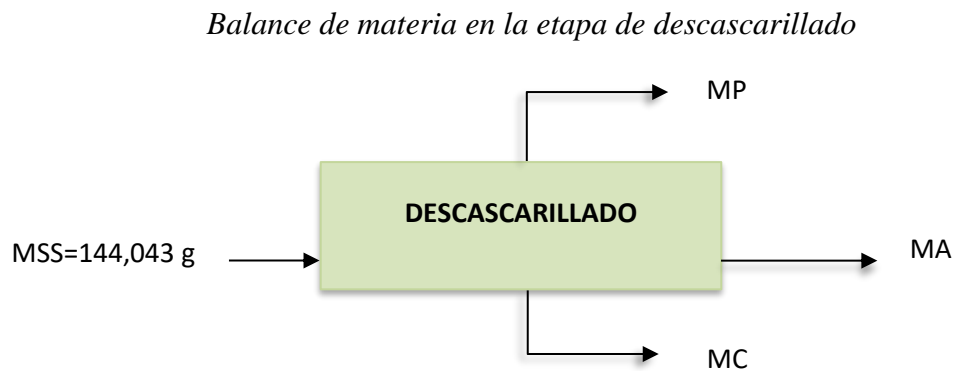
$$MAE = 271,356 \text{ g} * 0,508 - 144,043 \text{ g} * 0,043$$

$$MAE = 131,655 \text{ g}$$

Descascarillado

En la figura III-6, se muestra el balance de materia de la etapa del descascarillado de semillas de zapallo. Teniendo como dato de la anterior etapa el peso de semillas secas. Asimismo el contenido de masa de almendra es de 70,430 % y masa de cáscara de 28,079 %. Dato obtenidos experimentalmente.

Figura III- 6



Fuente: Elaboración propia, 2023

Partiendo de datos del contenido porcentual de masa de almendra, se determina la masa total de almendra después del secado:

$$MA = MSS * \frac{70,430 \%}{100\%}$$

$$MA = 144,043 * 0,704 = 101,406 \text{ g}$$

De igual manera se calcula la masa de cáscara:

$$MC = MSS * \frac{28,079 \%}{100\%}$$

$$MC = 144,043 \text{ g} * 0,281 = 40,476 \text{ g}$$

Ahora se procede a calcular, las pérdidas que existen en el descascarillado, partiendo del balance global, que está dado de la siguiente manera:

$$MSS = MA + MC + MP$$

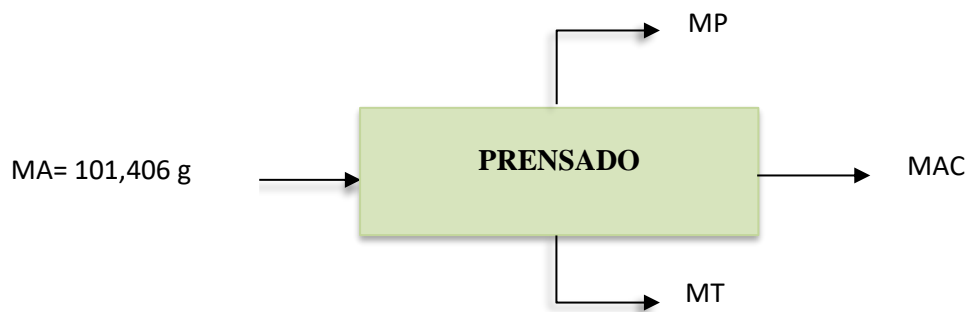
$$MP = 144,043 - 101,406 - 40,476 = 2,161 \text{ g}$$

3.2.3 Prensado

En la figura III-7, se observa el balance de materia para la etapa de prensado de semillas de zapallo sin testa, dato de masa de almendra determinado en la anterior etapa, asimismo se considera el mayor rendimiento de extracción el cual es de 27,916 % cuyo contenido porcentual de masa de torta es de 66,480 %.

Figura III- 7

Balance de materia en la etapa de prensado



Fuente: Elaboración propia, 2023

Balance global en la etapa de prensado, está dado de la siguiente manera:

$$MA = MAC + MP + MT$$

La masa de aceite extraído es:

$$MAC = MA * \frac{27,916\%}{100\%}$$

$$MAC = 101,406 \text{ g} * 0,279 = 28,292 \text{ g}$$

De igual manera se calcula, la masa de torta:

$$MT = MA * \frac{66,480\%}{100\%}$$

$$MT = 101,406 \text{ g} * 0,665 = 67,435 \text{ g}$$

Ahora, se procede a calcular las pérdidas:

$$MP = MA - MAC - MT$$

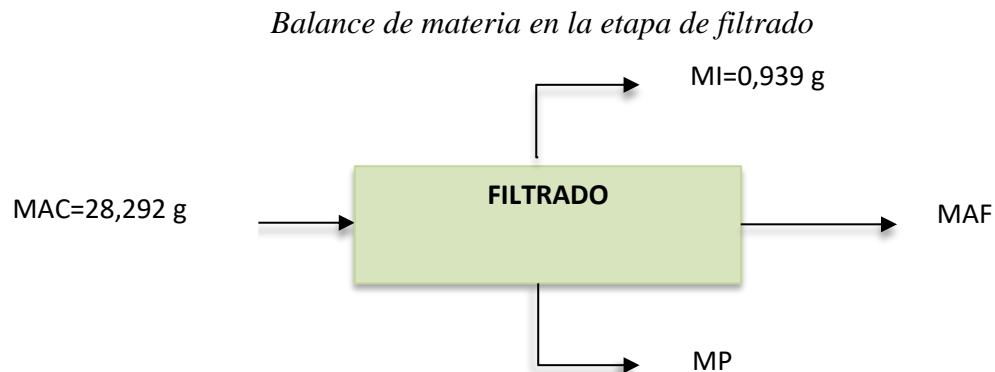
$$MP = 101,406 \text{ g} - 28,292 \text{ g} - 67,435 \text{ g}$$

$$MP = 5,679 \text{ g}$$

3.2.4 Filtrado

En la figura III-8, se observa la etapa de filtrado, dato de masa de aceite determinado en la etapa anterior, masa de impurezas del 0,939 g y el contenido porcentual de perdidas es aproximadamente 3,298 %, datos determinados experimentalmente.

Figura III- 8



Fuente: Elaboración propia, 2023

El balance global, de la etapa de filtrado es:

$$MAC = MAF + MI + MP$$

Se procede a calcular las pérdidas:

$$MP = 28,292 \text{ g} * \frac{3,298 \%}{100\%}$$

$$MP = 28,292 \text{ g} * 0,033 = 0,934 \text{ g}$$

A continuación se procede a calcular la masa de aceite filtrado, mediante el balance global:

$$MAF = MAC - MI - MP$$

$$MAF = 28,292 \text{ g} - 0,939 \text{ g} - 0,934 \text{ g} = 26,419 \text{ g}$$

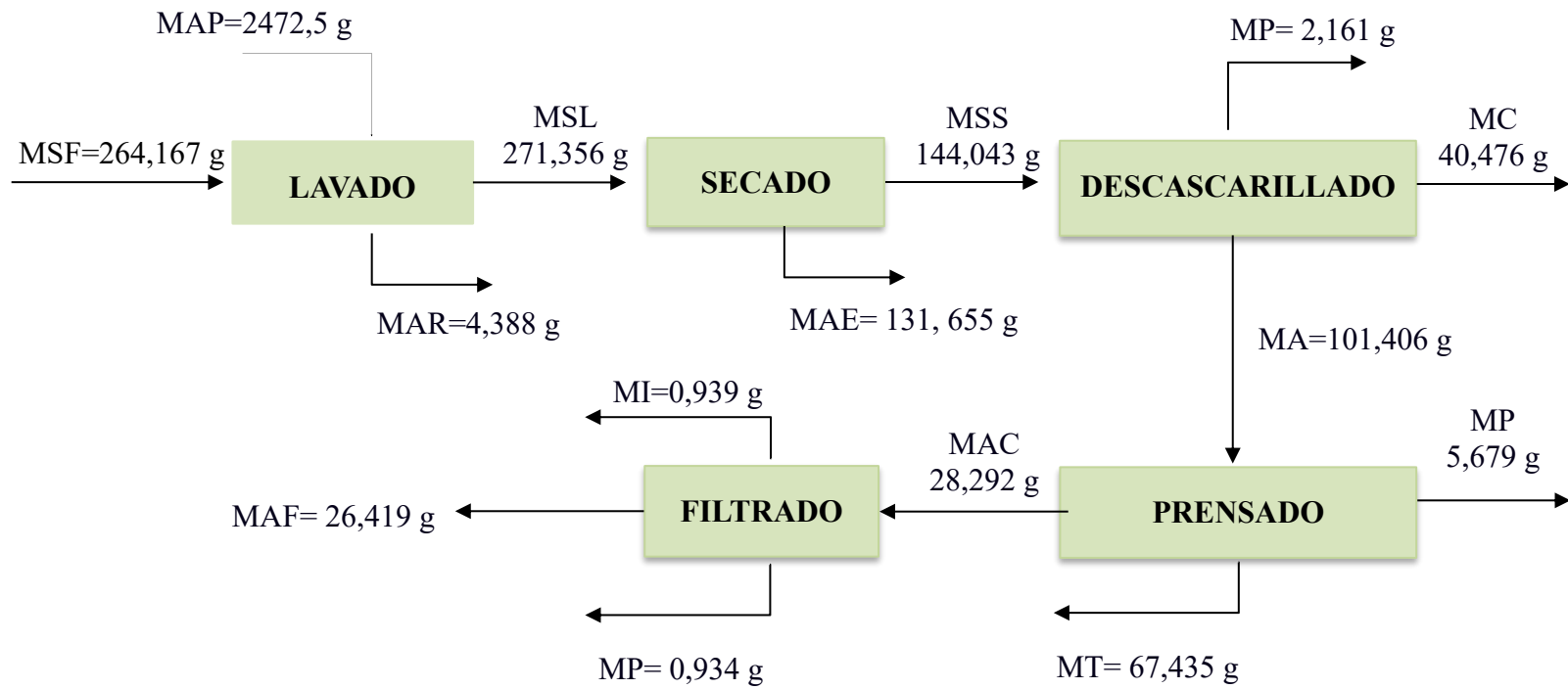
Ahora bien, se determina el rendimiento de extracción, remplazando valores en la ecuación III-3.

$$\% R = \frac{26,419\text{g}}{101,406 \text{ g}} * 100 = 26,053 \%$$

En la figura III-9, se observa el diagrama del balance de materia de la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo.

Figura III- 9

Diagrama de balance de materia del proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2023

Balance de energía

Para el balance de energía, se debe de tener en cuenta los procesos que impliquen intercambio de energía, para la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, es la etapa de secado de semillas.

Para lo cual, se señala la ecuación de la primera ley de la termodinámica “Ley de la conservación de la energía”, mencionada por (Çengel & Boles, 2015):

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad \text{Ecuación III- 10}$$

Donde:

- $E_{entrada}$ = Energía total que entra al sistema
- E_{salida} = Energía total que sale del sistema
- $\Delta E_{sistema}$ = Cambio en la energía total del sistema

De acuerdo a Çengel & Boles (2015) el cambio en la energía total es la suma de los cambios en sus energías internas, cinética y potencial, expresada como:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP$$

Para este proceso, los cambios de energía cinética y potencial son cero, debido a que es un proceso que se encuentra estacionario, por consiguiente $\Delta E = \Delta U$. Cabe mencionar que la energía puede escribirse en formas de calor y trabajo, para este sistema cerrado se tendría:

$$Q - W = \Delta U$$

Teniendo en cuenta que en los equipos de transferencia de calor no se realiza trabajo. Por tanto, la ecuación de balance de energía puede escribirse así:

$$Q = \Delta U$$

$$Q_{cedido} = Q_{ganado}$$

$$Q_{Total} = Q_{Sensible} + Q_{Latente} \quad \text{Ecuación III- 11}$$

Donde Q incluye el calor sensible (implica cambio de temperatura) y el calor latente (cambio de fase) presentes en el sistema.

Ahora bien, el Q_{sensible} , se determina con la siguiente ecuación, mencionada por (Cedeño Sares, 2017)

$$Q_{\text{Sensible}} = mCp\Delta T \quad \text{Ecuación III- 12}$$

Donde:

- m: masa (Kg)
- Cp: capacidad calorífica (Kcal/ Kg°C)
- ΔT = diferencial de temperatura (°C)

Cuyos datos para el proceso de secado son:

- MSL= 271,356 g = 0,271 Kg
- MAE= 131,655 g = 0,132 Kg
- $T_{\text{inicial}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{final}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $C_{p\text{H}_2\text{O}} = 4,18 \text{ (KJ/Kg}^{\circ}\text{C)}$ (Çengel & Boles, 2015)
- $C_{p\text{semillas de zapallo}} =$ Dato a determinar

Para la predicción del calor específico para semillas de zapallo, se utiliza la ecuación propuesta por Lewis (1993) citado por (Velezque & Martínez, 2015)

Ecuación III- 13

$$Cp_p = X_a * Cp_a + X_c * Cp_c + X_p * Cp_p + X_g * Cp_g + X_z * Cp_z + X_f * Cp_f$$

Donde:

- $Cp_a = 4,18 \text{ (KJ/kg }^{\circ}\text{C)}$ = calor específico del agua
- $Cp_c = 1,22 \text{ (KJ/kg }^{\circ}\text{C)}$ = calor específico de los carbohidratos
- $Cp_p = 1,90 \text{ (KJ/kg }^{\circ}\text{C)}$ = calor específico de las proteínas
- $Cp_g = 1,90 \text{ (KJ/kg }^{\circ}\text{C)}$ = calor específico de grasas
- $Cp_z = 0,84 \text{ (KJ/kg }^{\circ}\text{C)}$ = calor específico de ceniza
- $Cp_f = 1,80 \text{ (KJ/kg }^{\circ}\text{C)}$ = calor específico de fibras
- X_a = Fracción másica del agua
- X_c = Fracción másica de carbohidratos

- Xp= Fracción másica de proteínas
- Xg= Fracción másica de grasas
- Xz= Fracción másica cenizas
- Xf= Fracción másica de fibras

En la tabla III-14, se muestra los valores de composición fisicoquímica de semillas de zapallo

Tabla III- 14

Composición fisicoquímica de semillas de zapallo

| Componente | Símbolo | Fracción másica |
|---------------|---------|-----------------|
| Carbohidratos | Xc | 0,073 |
| Proteína | Xp | 0,332 |
| Grasa | Xg | 0,494 |
| Ceniza | Xc | 0,397 |
| Humedad | Xa | 0,486 |
| Fibra | Xf | 0,012 |

Fuente: Elaboración propia, 2023- con datos de CEANID, 2022

Remplazando valores en la ecuación III-13:

$$\begin{aligned}
 C_{p_{sz}} &= 0,486 * 4,18 \left(\frac{Kj}{Kg^{\circ}C} \right) + 0,073 * 1,22 \left(\frac{Kj}{Kg^{\circ}C} \right) + 0,332 * 1,90 \left(\frac{Kj}{Kg^{\circ}C} \right) + 1,494 \\
 &\quad * 1,90 \left(\frac{Kj}{Kg^{\circ}C} \right) + 0,397 * 0,84 \left(\frac{Kj}{Kg^{\circ}C} \right) + 0,012 * 1,80 \left(\frac{Kj}{Kg^{\circ}C} \right) \\
 C_{p_{sz}} &= 5,945 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} = 1,420 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C}
 \end{aligned}$$

Ahora se determinará el Q sensible, remplazando valores en la ecuación III-12:

$$\begin{aligned}
 Q_{Sensible} &= MSL * C_{p_{sz}} * (T_{final} - T_{inicial}) + MAE * C_{p_{H2O}} * (T_{final} - T_{inicial}) \\
 Q_{Sensible} &= 0,271Kg * 1,420 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C} * (40^{\circ}C - 20^{\circ}C) + 0,132 Kg * 1 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C} * (40^{\circ}C \\
 &\quad - 20^{\circ}C) \\
 Q_{sensible} &= 10,336 Kcal = 43,275 KJ
 \end{aligned}$$

Ahora se procede a calcular el calor latente:

$$Q_{latente} = MAE * \lambda_{H2O} \quad \text{Ecuación III- 14}$$

Con valores de tablas de propiedades de vapor de agua proporcionadas por McCabe, Smith, & Harriott (1998) se halla para una temperatura de 40 °C el valor de $\lambda_{H2O} = 574,840 \text{ Kcal/Kg}$; ya que a esta temperatura se mantuvo constante en el equipo, generando así el calor latente que es la energía necesaria para que una unidad de agua contenida en la semilla pasa del estado líquido al estado gaseoso.

Remplazando ahora valores en la ecuación III-14:

$$Q_{latente} = 0,132 \text{ Kg} * 574,840 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{latente} = 75,879 \text{ Kcal}$$

Por lo tanto:

$$Q_{Total} = 10,336 \text{ Kcal} + 75,879 \text{ Kcal}$$

$$Q_{Total} = 86,215 \text{ Kcal}$$

Por otro lado, para el cálculo del flujo volumétrico del aire, se determina con la siguiente ecuación; mencionada por (Ávila, 1974)

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación III- 15}$$

Donde:

- Q= Flujo volumétrico (m³/h)
- V= Volumen de aire (m³)
- t= tiempo= 18 h (tiempo de secado de semillas de zapallo)

Para esto se requiere la cantidad de aire necesario para el proceso de secado, el cual se determina con la siguiente formula:

$$Q_{necesario} = m_{aire} * Cp_{aire} * (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación III- 16}$$

$$m_{aire} = \frac{Q_{necesario}}{Cp_{aire} * (T_2 - T_1)} \quad \text{Ecuación III- 17}$$

Donde:

- m_{aire} = masa de aire (Kg)
- $Q_{necesario}$ = Calor necesario = 498, 540 KJ
- Cp_{aire} = calor específico = 1,0054 KJ/Kg °C (Çengel & Boles, 2015)
- T_2 = Temperatura final de aire = 40 °C
- T_1 = temperatura inicial de aire = 25 °C

Remplazando valores en la ecuación III-17:

$$m_{aire} = \frac{498,540 \text{ KJ}}{1,0054 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} * (40 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

$$m_{aire} = 33,057 \text{ Kg}$$

A continuación, se procede a determinar el volumen de aire requerido en el proceso de secado, con la siguiente ecuación:

$$V_{aire} = \frac{\frac{m_{aire}}{PM_{aire}} * R * T}{P} \quad \text{Ecuación III- 18}$$

Donde:

- m_{aire} = masa de aire = 33,057 Kg
- R = constante ideal de los gases = 8,3144 J/K* mol (Castellan , 1998)
- PM = peso molecular del aire seco = 28,97 Kg/K mol = 0,0290 Kg/ mol mencionado por (Çengel & Boles, 2015)
- T = temperatura del aire 40 °C = 322,15 K
- P = Presión barométrica de Tarija = 610, 05 mmHg = 81333,3224 J/ m^3

Remplazando valores en la ecuación III-18:

$$V_{aire} = \frac{\frac{33,057 \text{ kg}}{0,0290 \frac{\text{Kg}}{\text{mol}}} * 8,3144 \frac{\text{J}}{\text{K} * \text{mol}} * 322,15 \text{ K}}{81333,3224 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{aire} = 37,539 m^3$$

Remplazando valores en la ecuación III-15:

$$Q = \frac{37,539 m^3}{18 h}$$

$$Q = 2,086 \frac{m^3}{h}$$

El flujo volumétrico del aire que circula en el secador es de 2,086 m³/h, dado a una velocidad de 0,4 m/s; con una intermitencia del equipo de 125 minutos a la temperatura de 40 °C.

Ahora bien, se procede a calcular la energía consumida, empleando la ecuación mencionada por (Çengel & Boles, 2015)

$$E = P * t \quad \text{Ecuación III- 19}$$

Donde:

- E= Energía eléctrica (KWh)
- P= Potencia del equipo (KW)
- t= Tiempo de operación (h)

Cabe mencionar que se considera el monto de 0,980 Bs/KWh (monto establecido por Setar) para el cálculo de costos.

1) En la etapa de secado

Datos:

- P=Potencia del ventilador del calentador=1100 W= 1,1 KW
- t=Tiempo de secado 99 horas

Cabe mencionar que el tiempo de secado de 99 horas, es el tiempo total requerido en el proceso de secado de las semillas de zapallo.

Remplazando valores en la ecuación III-19:

$$Energía = 1,1 Kw * 99 h = 108,9 KWh$$

A continuación, se calcula el costo de consumo de energía:

$$\text{Costo} = 108,9 \text{ KWh} * 0,98 \frac{\text{Bs}}{\text{KWh}} = 106,722 \text{ bs}$$

2) En la etapa de control de humedad utilizando la termobalanza a infrarrojo

Datos:

— $P= 250 \text{ W}=0,250 \text{ KW}$

— $t= 30 \text{ h}$

$$\text{Energía} = 0,250 \text{ KW} * 30 \text{ h} = 7,5 \text{ KWh}$$

$$\text{Costo} = 7,5 \text{ KWh} * 0,98 \frac{\text{Bs}}{\text{KWh}} = 7,35 \text{ bs}$$

3) En la etapa del proceso de filtrado

Datos:

— $P=0,23 \text{ KW}$

— $t= 1 \text{ h}$

$$\text{Energía} = 0,230 \text{ KW} * 1 \text{ h} = 0,230 \text{ KWh}$$

$$\text{Costo} = 0,230 \text{ KWh} * 0,98 \frac{\text{Bs}}{\text{KWh}} = 0,225 \text{ bs}$$

3.3 Análisis estadístico del diseño experimental

El análisis estadístico se realiza con la finalidad de establecer si los factores de tiempo, humedad y presión, influyen en la variable respuesta “Rendimiento” del proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, para ello se utilizó el programa estadístico IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 29.

El análisis estadístico, comienza con introducir los datos de los 16 ensayos de extracción de aceite, considerando el rendimiento como variable dependiente, como se señala en la tabla III-15.

Tabla III- 15

Datos para el cálculo del análisis estadístico

| N° de ensayo | Factor A | Factor B | Factor C | % |
|--------------|--------------|-------------|---------------|--------------------------|
| | Tiempo (min) | Humedad (%) | Presión (Psi) | Rendimiento Experimental |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 17,595 |
| 2 | -1 | 1 | -1 | 14,979 |
| 3 | 1 | -1 | -1 | 18,465 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 18,122 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 21,715 |
| 6 | -1 | 1 | 1 | 19,275 |
| 7 | 1 | -1 | 1 | 26,100 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 23,634 |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 16,732 |
| 10 | -1 | 1 | -1 | 14,024 |
| 11 | 1 | -1 | -1 | 18,811 |
| 12 | 1 | 1 | -1 | 17,359 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 20,821 |
| 14 | -1 | 1 | 1 | 18,382 |
| 15 | 1 | -1 | 1 | 25,146 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 23,954 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-16, se detalla el análisis de varianza aplicado al diseño experimental, para conocer la significancia estadística de cada factor sobre el rendimiento de la extracción de aceite.

Tabla III- 16

Análisis de varianza (ANOVA)

| Pruebas de efectos Inter-sujetos | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|----|------------------|-----------|--------|-------------|
| Variable dependiente- Rendimiento | | | | | | |
| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig | F de tablas |
| Modelo corregido | 186,973 ^a | 7 | 26,710 | 86,026 | <0,001 | 3,500 |
| Intersección | 6206,052 | 1 | 6206,052 | 19987,768 | <0,001 | 5,318 |
| Tiempo | 49,238 | 1 | 49,238 | 158,581 | <0,001 | 5,318 |
| Humedad | 15,319 | 1 | 15,319 | 49,339 | <0,001 | 5,318 |
| Presión | 115,240 | 1 | 115,240 | 371,153 | <0,001 | 5,318 |
| Tiempo*Humedad | 1,410 | 1 | 1,410 | 4,542 | 0,066 | 5,318 |
| Tiempo*Presión | 5,306 | 1 | 5,306 | 17,089 | 0,003 | 5,318 |
| Humedad*Presión | 0,126 | 1 | 0,126 | 0,405 | 0,542 | 5,318 |
| Tiempo*Humedad*Presión | 0,333 | 1 | 0,333 | 1,072 | 0,331 | 5,318 |
| Error | 2,484 | 8 | 0,310 | | | |
| Total | 6395,509 | 16 | | | | |
| Total corregido | 189,457 | 15 | | | | |

a R al cuadrado= ,987 (R al cuadrado ajustada = ,975)

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-16, el análisis de varianza para el proceso de extracción del aceite virgen de semillas de zapallo, indica que las variables Tiempo, Humedad, Presión e interacción Tiempo* Presión, con valores menores al 0,05; son significativas con un nivel de confianza del 95%. Por tanto se considera que influyen en la variable respuesta, “Rendimiento”.

Ahora bien, mediante la comparación de F de cada factor, con F de tablas, se corrobora lo anterior, donde $F_{tablas} < F$, indicando que los efectos principales de Tiempo, Humedad, Presión e interacción Tiempo*Presión, son significativos.

A continuación, se procede a realizar la regresión lineal, con la finalidad de establecer el modelo matemático. En la tabla III-17, se observa las variables significativas, introducidas al programa SPSS.

Tabla III- 17

Variables entradas/eliminadas

| Variables entradas/eliminadas ^a | | |
|---|---|----------------------|
| Modelo | Variables entradas | Variables eliminadas |
| 1 | TP, Presión, humedad, Tiempo ^b | - |
| Variable dependiente: Rendimiento | | |
| b. Todas las variables solicitadas introducidas | | |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-18, se muestra el resumen del modelo de regresión lineal.

Tabla III- 18

Resumen del modelo

| Resumen del modelo ^b | | | | |
|---|--------------------|------------|----------------------|---------------------------------|
| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregido | Error estándar de la estimación |
| 1 | 0,988 ^a | 0,977 | 0,969 | 0,62905 |
| a. Predictores: (Constante), TP, Presión, Humedad, Tiempo | | | | |
| b. Variable dependiente: Rendimiento | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-19, se observa el análisis de varianza de la regresión lineal.

Tabla III- 19

Análisis de Varianza

| ANOVA ^a | | | | | | |
|---|-----------|-------------------|----|------------------|---------|---------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 185,104 | 4 | 46,276 | 116,947 | <0,001 ^b |
| | Residuo | 4,353 | 11 | 0,396 | | |
| | Total | 189,457 | 15 | | | |
| a. Variable dependiente: Rendimiento | | | | | | |
| b. Predictores: (Constante), TP, Presión, Humedad, Tiempo | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla III-20, se observa los coeficientes para predecir el modelo matemático

Tabla III- 20

Coefficientes de la ecuación del modelo matemático

| Coeficientes ^a | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------------|---------|--------|-------------------------------------|-----------------|
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficiente estandarizado | t | Sig | 95,0% intervalo de confianza para B | |
| | B | Desv . Error | Beta | | | Límite inferior | Límite superior |
| Constante | 19,695 | 0,157 | | 125,235 | <0,001 | 19,348 | 20,041 |
| Tiempo | 1,754 | 0,157 | 0,510 | 11,155 | <0,001 | 1,408 | 2,100 |
| Humedad | -0,979 | 0,157 | -0,284 | -6,222 | <0,001 | -1,325 | -0,632 |
| Presión | 2,684 | 0,157 | 0,780 | 17,066 | <0,001 | 2,338 | 3,030 |
| TP | 0,576 | 0,157 | 0,167 | 3,662 | 0,004 | 0,230 | 0,922 |
| a. Variable dependiente: Rendimiento | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Los resultados de la tabla III-20, establece los coeficientes de los efectos en el modelo, donde tiempo, presión, humedad e interacción tiempo*presión, cuyos valores de significancia son menores de 0,025, por tanto son significativos.

Cabe mencionar, que la regresión lineal permite generar un modelo matemático, donde el valor de la variable dependiente se determina a partir de un conjunto de variables independientes (predictores), en el cual se observa la influencia que tienen los predictores sobre ella.

Por consiguiente, el modelo matemático ajustado para el proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, es el siguiente:

Ecuación III- 20

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & 19,695 + (1,754 * \text{Tiempo}) - (0,979 * \text{Humedad}) \\ & + (2,684 * \text{Presión}) + (0,576 * \text{Tiempo} * \text{Presión}) \end{aligned}$$

De acuerdo al modelo matemático (ecuación III-20), relaciona los niveles de tiempo, humedad y presión, del diseño experimental planteado para este trabajo de

investigación, donde se observa que a mayor tiempo, mayor presión, debido a que ambas variables presentan un coeficiente positivo y a un menor contenido de humedad en las semillas de zapallo ya que la ecuación presenta un signo negativo, se obtiene un mejor rendimiento, asimismo se observa que la presión es la variable independiente más influyente en el proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo.

A continuación, se observa en la tabla III-21, el rendimiento que se obtuvo en la extracción de aceite y el rendimiento generado por el modelo matemático.

Tabla III- 21

Errores entre valores observados y ajustados del modelo

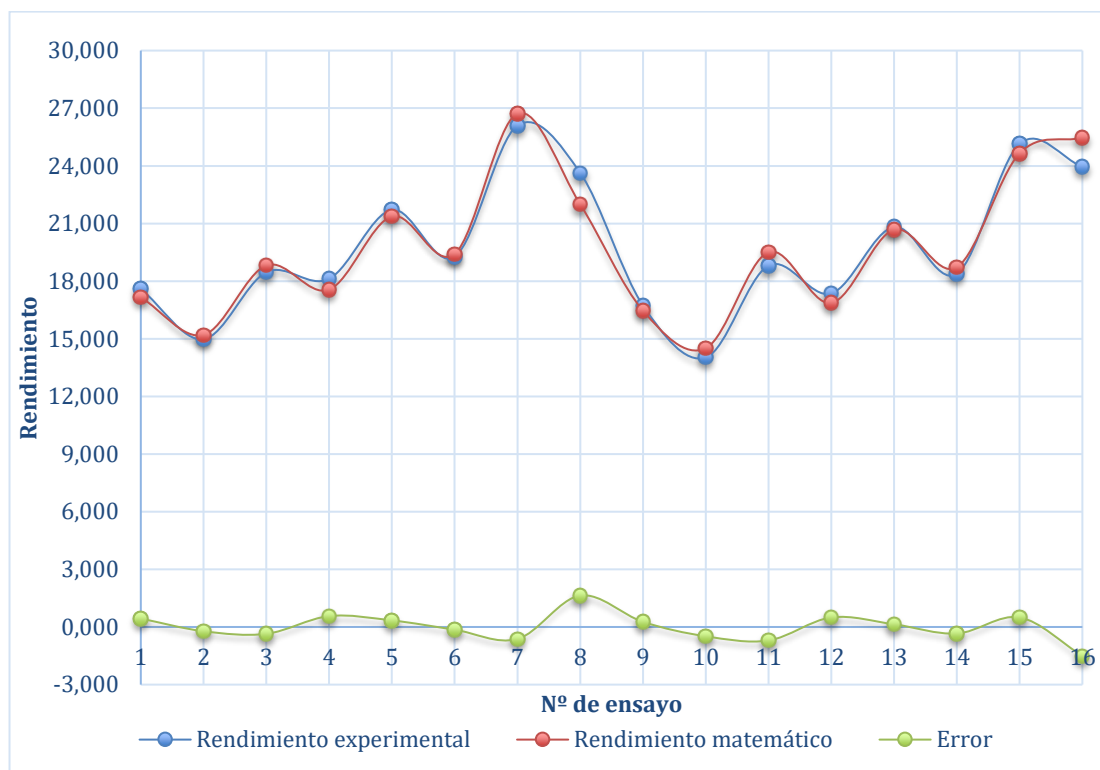
| N° de ensayo | Factor A | Factor B | Factor C | % Rendimiento experimental | % Rendimiento modelo matemático | Error diferencia |
|--------------|--------------|-------------|---------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|
| | Tiempo (min) | Humedad (%) | Presión (Psi) | | | |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 17,595 | 17,157 | 0,438 |
| 2 | -1 | 1 | -1 | 14,979 | 15,201 | -0,222 |
| 3 | 1 | -1 | -1 | 18,465 | 18,821 | -0,356 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 18,122 | 17,557 | 0,565 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 21,715 | 21,373 | 0,342 |
| 6 | -1 | 1 | 1 | 19,275 | 19,417 | -0,142 |
| 7 | 1 | -1 | 1 | 26,100 | 26,725 | -0,625 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 23,634 | 21,999 | 1,635 |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 16,732 | 16,465 | 0,267 |
| 10 | -1 | 1 | -1 | 14,024 | 14,507 | -0,483 |
| 11 | 1 | -1 | -1 | 18,811 | 19,513 | -0,702 |
| 12 | 1 | 1 | -1 | 17,359 | 16,863 | 0,496 |
| 13 | -1 | -1 | 1 | 20,821 | 20,681 | 0,140 |
| 14 | -1 | 1 | 1 | 18,382 | 18,723 | -0,341 |
| 15 | 1 | -1 | 1 | 25,146 | 24,649 | 0,497 |
| 16 | 1 | 1 | 1 | 23,954 | 25,461 | -1,507 |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Finalmente, en la figura III-10, se representa de forma gráfica la comparación del rendimiento obtenido y el rendimiento generado por el modelo matemático; donde también se visualiza el error que es la diferencia de ambos rendimientos.

Figura III- 10

Comparación de rendimiento experimental vs modelo matemático



Fuente: Elaboración propia, 2023

3.3.1 Caracterización fisicoquímica del aceite de semillas de zapallo

Se puede apreciar en la tabla III-22, la comparación de los resultados del análisis fisicoquímico realizado en el CEANID, para el aceite virgen de semillas de zapallo obtenido de almendra de zapallo con 3% y 6% de humedad.

Tabla III- 22

Comparación del análisis fisicoquímico del aceite virgen de semillas de zapallo

| Parámetros | Unidad | Aceite (semilla sin testa al 3 % de humedad) | Aceite (semilla sin testa al 6 % de humedad) |
|-----------------------------|-----------------------|--|--|
| Acidez (como ácido oleico) | % | 0,02 | 0,17 |
| Densidad relativa (20°C) | - | 0,9183 | 0,9129 |
| Humedad | % | 0,01 | 0,02 |
| Índice de peróxido | mEqO ₂ /kg | 2,00 | 4,94 |
| Índice de refracción (20°C) | - | 1,4730 | 1,4723 |

Fuente: CEANID, 2023

Como se puede observar en la tabla III-22, el contenido de humedad para el aceite de almendra de zapallo con 6% de humedad es de 0,02 % siendo el doble del porcentaje de humedad del aceite de almendra con 3% de humedad, cuyos valores son muy próximos, resaltando así el bajo contenido de humedad que contiene el aceite de semillas de zapallo, lo cual es favorable evitando la hidrólisis del aceite, por ende el deterioro del aceite.

Por otro lado, el contenido de acidez es menor para el aceite obtenido de almendra de zapallo con humedad al 3%, cuya acidez es de 0,02 % expresado como ácido oleico, lo cual muestra que se realizó un adecuado acondicionamiento de la materia prima, elaboración y conservación del aceite extraído, que no permitió la hidrólisis que provoca la degradación del aceite. Cabe mencionar que a menor contenido de acidez mayor es la calidad de aceite.

En cuanto al índice de peróxido, es menor para el aceite obtenido de almendras de zapallo con humedad al 3% con 2,00 mEqO₂/Kg, indicando una buena calidad del aceite, con una alta resistencia a la oxidación y bajo grado de rancidez.

Ahora bien, la densidad para el aceite de almendra al 3% y 6% obtuvo valores muy próximos de 1,9183 y 1,9129; en cuanto al índice de refracción para ambos aceites obtenidos tanto con almendra con humedad al 3 % y 6%, son muy similares con valores

de 1,4730 y 1,4723. Cabe señalar, que la densidad y el índice de refracción son parámetros dentro de ciertos límites, para cada tipo de aceite.

A continuación en la tabla III-23, se observa la comparación del análisis fisicoquímico del aceite obtenido, con datos bibliográficos.

Tabla III- 23

Comparación del análisis fisicoquímico del aceite obtenido con datos bibliográficos

| Parámetros | Unidad | Aceite obtenido ⁽¹⁾ | Dato bibliográficos | |
|-----------------------------|----------|--------------------------------|--|--|
| | | | Aceite de semillas de zapallo ⁽²⁾ | Aceite de semillas de zapallo ⁽³⁾ |
| Acidez (como ácido oleico) | % | 0,02 | 2,08 | 3,846 |
| Densidad relativa (20°C) | - | 0,9183 | 0,92 | 0,9175 |
| Humedad | % | 0,01 | - | 0,3597 |
| Índice de peróxido | mEqO2/kg | 2,00 | 2,83 | 4,1008 |
| Índice de refracción (20°C) | - | 1,4730 | 1,47 | 1,4732 |

Fuente: ⁽¹⁾ CEANID, 2023; ⁽²⁾ Artica, Baquerizo, Rosales, & Rodríguez, 2016 ⁽³⁾ León Velandia, 2020

Como se puede apreciar en la tabla III-23, el valor de acidez para el aceite obtenido es de 0,02 % siendo menor al contenido de acidez del aceite de semillas de zapallo de datos bibliográficos, de igual manera, el contenido de humedad y el índice de peróxido, esto indica que se obtuvo un aceite de buena calidad.

Posteriormente en la tabla III-24, se observa la comparación del aceite virgen obtenido de semillas de zapallo con los límites permisibles del aceite virgen, establecido por la Norma del Codex, señalado en el apartado 2.6.

Tabla III- 24

Comparación de análisis fisicoquímico del aceite obtenido con datos de aceite virgen

| Parámetros | Unidad | Aceite obtenido de semillas de zapallo ⁽¹⁾ | Límites permisibles ⁽²⁾ |
|-----------------------------|-----------------------|---|------------------------------------|
| Acidez (como ácido oleico) | % | 0,02 | < 2,010 % |
| Humedad | % | 0,01 | < 0,2 % |
| Índice de peróxido | mEqO ₂ /kg | 2,00 | < 15 meqO ₂ /Kg |

Fuente: ⁽¹⁾ CEANID, 2023; ⁽²⁾ CODEX

Como se observa en la tabla III-24, los valores del análisis fisicoquímico del aceite virgen obtenido de semillas de zapallo, están dentro del límite permisible de un aceite virgen, señalados por la Norma del Codex.

Cabe mencionar que el índice de refracción y la densidad, como se señaló anteriormente son valores para cada tipo de aceite.

Finalmente en la tabla III-25, se muestra el análisis cromatográfico del perfil de ácidos grasos del aceite virgen de semillas de zapallo.

Tabla III- 25

Análisis cromatográfico del perfil de ácidos grasos del aceite virgen de semillas de zapallo

| Aceite virgen de semillas de zapallo | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Parámetros | | Unidad | Resultado Obtenido ⁽¹⁾ | Resultado según dato bibliográfico | |
| | | | | Datos ⁽²⁾ | Datos ⁽³⁾ |
| Ácidos Grasos saturados | Ácido Araquídico C20:0 | % relativo | 0,82 | - | - |
| | Ácido Esteárico C18:0 | % relativo | 9,02 | 11,2 | 7,60 |
| | Ácido Palmítico C16:0 | % relativo | 16,10 | 13,8 | 12,53 |
| | Ácido Mirístico C14:0 | % relativo | 0,27 | - | 0,13 |
| Ácidos Grasos Monoinsaturados | Ácido oleico C18:1n9c | % relativo | 21,67 | 29,5 | 31,23 |
| Ácidos Grasos poliinsaturados | Ácido Linoleico C18:2n6c | % relativo | 51,80 | 45,5 | 44,32 |
| | Ácido Linolénico C18:3n3c | % relativo | 1,00 | - | 0,46 |

Fuente: ⁽¹⁾ CIQ, 2023; ⁽²⁾ Mitra, Ramaswamy, & Chang, 2009; ⁽³⁾ Artica Mallqui, Baquerizo Canchumanya, Rosales Papa, & Rodríguez Paucar, 2021

Como se puede observar en la tabla III-25, el contenido de ácidos grasos en el aceite obtenido es rico en ácido linoleico en comparación con datos bibliográficos, cuyo valor es de 51,80 %, y menor en ácido oleico con 21,67 %. En cuanto al contenido total de ácidos grasos insaturados para el aceite obtenido es de 74,47 %, para datos bibliográficos ⁽²⁾ 75% y datos ⁽³⁾ 76,01 %; cuyo valor de ácidos grasos insaturados son muy similares, por lo cual se considera una buena fuente de aceite vegetal.

Determinación de costos de producción

Se detalla a continuación, los costos de materia prima, análisis fisicoquímico de materia prima, análisis fisicoquímico y perfil de ácidos grasos del aceite virgen de semillas de zapallo y otros, a fin de conocer los costos del presente proyecto de investigación.

Tabla III- 26

Costos de materia prima

| Detalle | Unidad | Cantidad | Costo unitario Bs | Costo total Bs |
|--------------------|--------|----------|-------------------|----------------|
| Semilla de zapallo | Kg | 10 | 10 | 100 Bs. |
| Total | | | | 100 Bs. |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla III- 27

Costos del análisis fisicoquímico de la materia prima, semillas de zapallo

| Parámetro | Unidad | Cantidad | Costo unitario Bs. | Costo total Bs. |
|---------------------|----------|----------|-------------------------|-----------------|
| Ceniza | análisis | 1 | 70 | 70 |
| Fibra | análisis | 1 | 100 | 100 |
| Materia grasa | análisis | 3 | 90 | 270 |
| Hidratos de carbono | análisis | 1 | 10 | 10 |
| Humedad | análisis | 3 | 40 | 120 |
| Proteína total | análisis | 1 | 100 | 100 |
| Valor energético | análisis | 1 | 10 | 10 |
| Total | | | 680 Bs x 0,4* = 272 Bs. | |

Fuente: Elaboración propia, 2023

*Descuento del 60%, para los análisis realizados en el CEANID, para estudiantes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla III- 28

Costos del análisis fisicoquímico y perfil de ácidos grasos del producto, aceite virgen de semillas de zapallo

| Parámetro | Unidad | Cantidad | Costo unitario Bs. | Costo total Bs. |
|----------------------------|----------|----------|--------------------|-----------------|
| Acidez (como ácido oleico) | análisis | 2 | 50x 0,4 | 40 |
| Densidad relativa | análisis | 2 | 40x0,4 | 32 |
| Humedad y materia volátil | análisis | 2 | 40x0,4 | 32 |
| Índice de peróxido | análisis | 2 | 100x0,4 | 80 |
| Índice de refracción | análisis | 2 | 20x0,4 | 16 |
| Perfil de ácidos grasos | análisis | 1 | 1200 | 1200 |
| Total | | | | 1400 Bs. |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla III- 29

Costos de energía eléctrica

| Detalle | Potencia KW | Energía consumida KWh | Costo unitario Bs/KWh | Costo total Bs. |
|---------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| Estufa de tiro forzado | 1,100 | 108,90 | 0,98 | 106,722 |
| Termobalanza a infrarrojo | 0,250 | 7, 50 | 0,98 | 7,35 |
| Bomba para filtración | 0,230 | 0,230 | 0,98 | 0,225 |
| Total | | | | 114,297 Bs. |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla III- 30*Costos de material de trabajo*

| Detalle | Unidad | Cantidad | Costo unitario Bs. | Costo total Bs. |
|-----------------------------------|---------|----------|-----------------------|--------------------|
| Botellas ámbar de 60ml | Unidad | 8 | 12 | 96 |
| Botellas ámbar de 150 ml | Unidad | 2 | 20 | 40 |
| Botella ámbar de 250 ml | Unidad | 1 | 25 | 25 |
| Papel filtro | Pliegue | 2 | 5 | 10 |
| Bolsas con cierre hermético | Paquete | 1 | | 20 |
| Total | | | | 191 Bs. |

Fuente: Elaboración propia, 2023

Tabla III- 31*Detalle de costos totales*

| Detalle | total Bs. |
|--|---------------------|
| Costo de materia prima | 100 |
| Costo de análisis fisicoquímico de semillas de zapallo | 272 |
| Costos de análisis fisicoquímicos y perfil de ácidos grasos del aceite virgen de semillas de zapallo | 1400 |
| Costos de energía eléctrica | 114,297 |
| Costos de material de trabajo | 191 |
| Costo total | 2077,297 Bs. |

Fuente: Elaboración propia, 2023

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación, extracción de aceite virgen de semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*), mediante prensado en frío, se tiene las siguientes conclusiones:

- Se caracterizó las semillas de zapallo (*Cucúrbita máxima L.*), los resultados obtenidos por el laboratorio CEANID, cuyos resultados demuestran un alto porcentaje de materia grasa de 49,40 % con contenido de humedad de 4,86 %; lo cual lo hace una buena fuente de obtención de aceite.
- En la extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, a escala laboratorio, se aplicó un diseño factorial 2^3 a los resultados obtenidos, y se determinó las variables independientes (humedad, tiempo y presión) más óptimas con las cuales se obtiene un mayor rendimiento de extracción de aceite; estas son: humedad al 3%; tiempo 100 min y presión de 5000 psi.
- De acuerdo al análisis estadístico de experimentos, se demuestra que el tiempo, humedad y presión, tienen influencia en el rendimiento de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo.
- Se caracterizó el aceite virgen obtenido de las semillas de zapallo, por el laboratorio CEANID, los resultados son los siguientes:

Para un aceite obtenido de semillas de zapallo sin testa con 3% de humedad, los resultados son: acidez (como ácido oleico) 0,02 %; densidad relativa 0,9183; humedad 0,01 %; índice de peróxido 2,00 mEqO₂/Kg; e índice de refracción 1,4730.

En cuanto al aceite virgen obtenido de las semillas de zapallo sin testa con 6% de humedad, los resultados son: acidez (como ácido oleico) 0,17 %; densidad relativa 0,9129; humedad 0,02 %; índice de peróxido 4,94 mEqO₂/Kg; e índice de refracción 1,4723.

En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite virgen de semillas de zapallo, obtenido mediante prensado hidráulico en frío, se observó que el aceite extraído de semillas de zapallo sin testa con 3% de humedad

presento una mejor estabilidad y calidad en comparación con el aceite extraído con 6% de humedad, aunque cabe mencionar que ambos aceites presentan resultados que están dentro de los límites permisibles mencionado por la Norma del Codex para un aceite virgen.

- Por otro lado, el perfil de ácidos grasos del aceite virgen de semillas de zapallo, realizados por el laboratorio CIQ, se tiene un contenido de ácidos grasos saturados de ácido araquídico C20:0 con 0,82 %; ácido estearico C18:0 con 9,02 %; ácido palmitico C16:0 con 16,10 %; ácido mirístico C14:0 con 0,27 %; en cuanto al contenido de ácidos grasos insaturados se tiene: ácido oleico C18:1n9c con 21,67 %; Ácido Linoleico C18:2n6c 51,80 % y Ácido Linolenico C18:3n3c 1,00 %. Por consiguiente, se caracteriza al aceite obtenido rico en ácidos grasos insaturados, lo cual lo hace un producto de calidad nutricional.
- Se realizó el balance de materia, donde se observó los distintos flujos máxicos del proceso de extracción de aceite virgen de semillas de zapallo, donde se determinó el rendimiento conseguido el cual es de 26%.
- En el balance de energía, se realizó para la etapa de secado, el cual presenta un flujo de calor por convección de 86,215 *Kcal*.

Recomendaciones

- El contenido de humedad de las semillas de zapallo criollo, es una de las variables importantes, donde la humedad tiene que ser menor al 10 % para su conservación.
- De acuerdo a la buena calidad nutricional del aceite obtenido, se recomienda realizar un estudio de producción de este aceite a escala comercial, aprovechando la información de la presente investigación, para introducir un nuevo producto al mercado nacional, el cual tiene diversas aplicaciones.
- Se recomienda realizar una segunda extracción de aceite de la torta de prensada, la cual contienen entre 20 % y 30 % de aceite residual, mediante el uso de algún solvente.

- Se recomienda estudiar, la testa (cáscara) de semillas de zapallo, para conocer sus propiedades y potenciales usos.