

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Generalidades

El aceite que se va a estudiar para el presente proyecto es extraído a partir de la palta o conocido como aguacate siendo este nativo de América, originario de México y Centroamérica, desde allí fue trasladado hacia el sur, a través de los países de la costa del pacífico. Según (Mayorga, 2011) menciona que: “El aguacate o palta es un fruto que ha incrementado su consumo a nivel mundial especialmente en países como Estados Unidos, Francia, Alemania, España y otros, lo que ha traído como consecuencia un gran aumento en las superficies plantadas, en otros países que la producen: México, España, Perú, Estados Unidos y otros”.

En el mercado mundial dominan dos grandes variedades de paltas: Hass y Fuerte. A pesar de que tradicionalmente la variedad ‘Fuerte’ es una de las más consumida en Latinoamérica, la palta ‘Hass’ domina el 80% del mercado mundial, debido a la errática producción de los árboles de la variedad Fuerte, así como la extremada delicadeza de su piel, que obliga a manipular los frutos de forma más cuidadosa, mientras que la dureza de la cáscara de la variedad Hass permite su mayor manipulación y transporte a largas distancias. (Saavedra, 2020)

Dicho esto, podemos ver que algunos países que producen palta decidieron darle un valor agregado como la extracción de aceite, por ejemplo:

Según (Mayorga, 2011) menciona que: Para el inicio de la nueva década 1999 – 2000 Nueva Zelanda uno de los países con más producción de aguacate tipo Hass en el mundo, tuvo la idea de crear una nueva tecnología para extraer “en frío” el aceite del aguacate extra virgen. También menciona que la producción de aceite extra virgen de aguacate en países como México y Chile se inicia a invertir y producir este nuevo aceite, siendo México y Chile los dos países latinoamericanos con mayor producción de aguacate que se dedicaron a elaborar sus propios aceites.

Cabe mencionar, que la industria del aceite de aguacate o palta ubicada en el país de Chile en 2008 se caracterizó por ir principalmente al mercado internacional y según

nos cuenta Dirk Van der Werff, entre el 90 y 95% aproximadamente de la producción va al extranjero, principalmente a Europa, siendo que en el país de Chile en la gestión 2010 son aproximadamente trece las empresas chilenas dedicadas a este negocio, las que en poco tiempo han logrado conquistar los paladares nacionales y extranjeros.

En cierta manera en nuestro país no existe inicios de industrias dedicadas a la extracción de aceite de palta ni mucho menos investigaciones aplicadas, por lo que no hay información de este producto, por esta razón este proyecto pretende brindar información del aceite de palta, aplicando el método de presión hidráulica.

Conceptualización de la idea del proyecto

En Bolivia la palta (*género Persea*) pertenece a la familia de árboles perennifolios (*Lauraceae*), está distribuido principalmente en la zona tropicales, parece que ecosistemas característicos del chaco boliviano, valles Mesotérmicos y los Yungas favorecen el crecimiento, y la producción de palta. Por lo que, se encuentra poblaciones de palta en los valles de Tarija, hasta 2100 msnm de altura, las especies de los valles aparentemente cargan menos frutos por planta y de menor tamaño. (Acosta, 2016)

Además, que en el departamento de Tarija contamos con abundancia de cultivos de paltas, lo cual mediante esta investigación se dará una alternativa a las paltas para que en algún futuro estas puedan ser aprovechadas por industrias aceiteras.

Ahora como información adicional, según (Acosta, 2016) menciona que: “El aceite de aguacate o palta presenta unas propiedades muy parecidas al aceite de oliva, pero con una clara diferencia, es más efectivo y preventivo contra las enfermedades cardiovasculares y las colesterolemias”, siendo que el 35,6% de los escolares de 5 a 18 años de Bolivia tienen prevalencia de malnutrición por exceso (sobrepeso y obesidad), lo cual este índice es parte de los resultados del estudio: “Prevalencia de sobrepeso y obesidad de los escolares y adolescentes en Bolivia” realizada por el Postgrado en Ciencias del Desarrollo (CIDES) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), la Unidad de Alimentación y Nutrición de la Dirección General de Promoción de la Salud

del Ministerio de Salud, y UNICEF. Por lo que la introducción del aceite virgen de pulpa de palta en el mercado boliviano, sería de gran beneficio.

Aspectos del mercado del aceite de pulpa de palta

Según el *Estudio multidimensional del aceite de aguacate* (2015), las ofertas del mercado del aceite de palta a verse, son de los principales productores a nivel mundial:

- Oferta proyectada de México: De acuerdo a las tendencias, se pasaría de casi 25 toneladas registradas en el 2010 a una oferta de apenas de 39 toneladas de este producto para la exportación en el 2023.
- Oferta proyectada de Chile: Se tienen expectativas muy optimistas de crecimiento, se espera que de poco más de 53 toneladas exportadas en el 2010, se pase a una oferta de 182 toneladas de este producto para la exportación en el 2023.
- Oferta proyectada de Nueva Zelanda: En el caso de Nueva Zelanda, las proyecciones de incremento en la producción de aceite de palta son igual de ambiciosas a las chilenas, se tiene proyectado que las exportaciones pasen de 156,6 toneladas registradas en 2010 a 588 toneladas en el 2023.

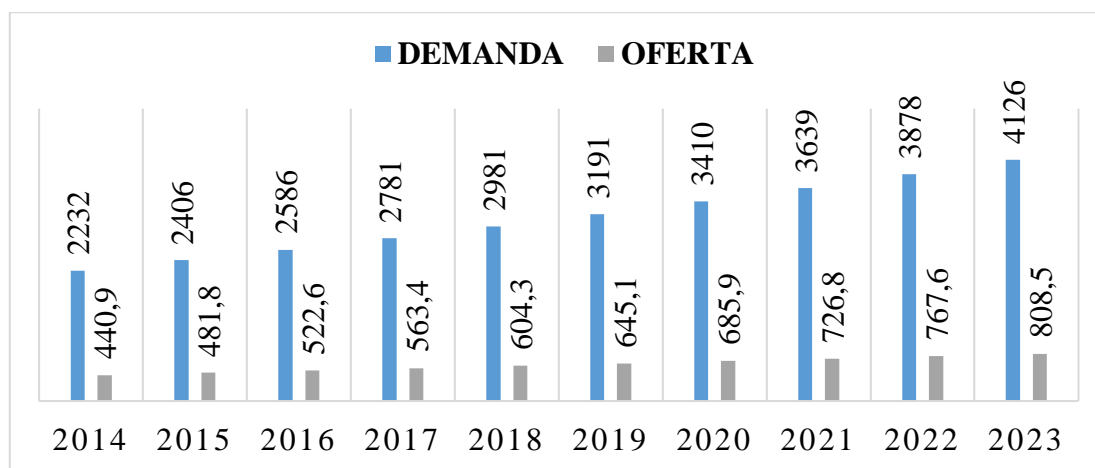
En la tabla 1 observamos la demanda, oferta y demanda insatisfecha del aceite de palta a nivel mundial en toneladas por año (t/año) proyectada hasta el año 2023.

Tabla 1 Demanda insatisfecha del aceite de palta a nivel mundial (expresada en t/año)

AÑO	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA INSATISFECHA	PORCENTAJE (%)
2014	2 232	440,9	1 791,1	80,3
2015	2 406	481,8	1 924,3	79,9
2016	2 586	522,6	2 063,4	79,8
2017	2 781	563,4	2 217,6	79,7
2018	2 981	604,3	2 376,7	79,7
2019	3 191	645,1	2 545,9	79,8
2020	3 410	685,9	2 724,1	79,9
2022	3 878	767,6	3 110,4	80,2
2023	4 126	808,5	3 317,5	80,4

Fuente: *Estudio multidimensional del aceite de aguacate* (2015)

En la figura 1 observamos gráficamente la demanda y oferta del aceite de palta a nivel mundial proyectada hasta el año 2023.



Fuente: Datos: *Estudio multidimensional del aceite de aguacate* (2015), elaboración propia, 2021

Figura 1 Gráfica de la demanda y oferta del aceite de palta a nivel mundial (expresada en t/año)

En la tabla 2 se aprecian la lista de marcas de aceites de paltas, así como su procedencia de origen internacional y el precio que se maneja es en dólares, pero para una mejor interpretación del lector se muestra en bolivianos.

Tabla 2 Precios de mercado de aceite de palta a nivel mundial 2010

MARCA	ORIGEN	PRESENTACIÓN (ml)	PRECIO (Bs)	PRECIO /LITRO (Bs)
Paltita	Chile	250,0	56,0	223,0
Pacífica Culinaria	EUA	250,0	63,0	251,0
Avoandes	Chile	250,0	70,0	278,0
Del Palto	Chile	250,0	77,0	306,0
Lamay	Chile	250,0	70,0	278,0
Lilly	Chile	250,0	70,0	278,0
San Pedro	Chile	250,0	77,0	306,0
Olivado	Nueva Zelanda	250,0	90,0	359,0
Avoro	México	250,0	84,0	334,0
Grove Avocado Oil	Nueva Zelanda	250,0	132,0	529,0

Fuente: *Estudio multidimensional del aceite de aguacate* (2015)

El aceite de palta es uno de los productos que no tiene una información estable a los países que se importa, es decir la información de este producto se encuentra en varias bibliografías, por lo que en resumen podemos mencionar que los países posibles que se distribuye aceite de palta son: Europa, Francia, Japón, México, Chile, Nueva Zelanda, China, Estados Unidos, entre otros.

Procesos tecnológicos empleados para el aceite de palta

Existe múltiples métodos de extracción de este aceite que se han reportado con anterioridad como presión por expeller, termobatidos, centrifugación, por soxhlet entre otros; sin embargo, la mayoría de ellos son bastante costosos, requieren instalaciones y servicios industriales especiales al igual que han sido diseñados para el procesamiento de grandes cantidades de fruta. De esta manera, se hace necesaria la implementación de métodos más accesibles para pequeños productores o asociaciones de los mismos, que contemple la extracción del aceite y se presente como una alternativa de industrialización del cultivo de palta, permitiendo minimizar las pérdidas ocasionadas por factores económicos y sociales, así como por las oportunidades del mercado.

Según (Buelvas, 2022) menciona que: “Uno de los métodos de extracción con disolventes produce ácidos grasos trans (AGT); por ejemplo, cuando se extraen con hexano (70 °C) y acetona (55 °C) se forman 0,3 y 0,45 g/100 g de Ácidos Grasos Trans (AGT), respectivamente. Estos AGT consumidos en grandes cantidades originan problemas circulatorios y de obesidad al incrementar el colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) en la sangre”. Sin embargo, las extracciones con solventes y fluidos supercríticos son técnicas usadas en la industria cosmética, mientras que los aceites extraídos por métodos mecánicos y enzimáticos, son usados para la industria alimentaria.

Materia prima (Palta)

En este proyecto de investigación aplicada es importante conocer las plantaciones de palta en el departamento de Tarija, cuya información se desconoce en plataformas de sitio web u otro tipo de información, pero los posibles lugares que disponen de

plantaciones de palta son Bermejo, Yacuiba, Gran Chaco, Caraparí, San Telmo, Merced, Nogalitos, Tariquia, Pampa Grande, entre otros. Dicha información es sustentada con la colaboración de algunos pobladores que mencionaron y aseguraron que en esos lugares hay plantaciones de palta.

En la figura 2 podemos observar el mapa del departamento de Tarija, y los posibles lugares con plantaciones de paltas, para una mejor visualización de la ubicación de aquellos lugares.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 2 Ubicación de plantaciones de palta en el departamento de Tarija

En la figura 3 se observa imágenes de plantaciones de paltas en San Telmo.



Fuente: Invernadero de plantas de palta y árboles de palta en San Telmo - Cercado y Elaboración propia, 2021

Figura 3 Plantaciones de palta en San Telmo - Cercado

A continuación, en la tabla 3 se aprecia el número de árboles de paltas dispersas en el departamento de Tarija.

Tabla 3 Censo 2013, Bolivia: número de árboles de palta dispersos en el departamento de Tarija

	N ^{RO} DE ARBOLES
Fruta	
Palta	10 392

Fuente: Censo Agropecuario, 2013 BOLIVIA

En la siguiente tabla 4 se observa la superficie y producción de la palta.

Tabla 4 Tarija - Bolivia: superficie y producción de palta de las campañas de invierno 2012 y verano 2012 - 2013

CULTIVO	SUPERFICIE (HECTÁREAS)	PRODUCCIÓN (TONELADA MÉTRICA)
Fruta		
Palta	2 283,5	4 604,7

Fuente: Censo Agropecuario, 2013 BOLIVIA

Identificación del problema

El problema que aborda este proyecto de investigación aplicada es la poca información que existe sobre el aceite de palta en Bolivia, siendo la existencia de un mercado potencial de aceite de palta a nivel mundial.

Causa y efecto directo

- Causa: En Bolivia en cierta manera el emprendimiento es deficiente por falta de estimulación e información, lo cual genera el desaprovechamiento de productos agrícolas potenciales.
- Efecto: En Bolivia no se produce aceite de palta, por lo tanto, no se importa ni se exporta aceite, siendo un producto nuevo para nuestro país.

Planteamiento técnico propuesto

Este proyecto de investigación aplicada pretende brindar información del aceite virgen de palta a obtener por el método de presión hidráulica, aprovechando su potencialidad

de la palta (*Persea americana mill Hass*) producidas en la localidad de San Telmo - Cercado.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Extraer aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) producidas en la localidad de San Telmo - Cercado, mediante presión hidráulica, con el fin de poder brindar información de un nuevo producto en el departamento de Tarija.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) para la extracción de aceite cultivadas en la localidad San Telmo - Cercado.
2. Analizar y seleccionar el tipo de proceso industrial de extracción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*).
3. Formular la fase experimental del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*).
4. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la calidad del aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*).
5. Determinar del rendimiento del proceso experimental de extracción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*).
6. Realizar el balance de materia y energía del proceso de producción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*).
7. Presentar y discutir los resultados de extracción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) producidas en la localidad de San Telmo - Cercado.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Justificación económica

En Bolivia no se importa, ni se exporta el aceite de palta, ya que el producto en Chile para un litro de aceite mínimo tiene un costo de 223 Bs y en Nueva Zelanda máximo un costo de 529 Bs a nivel mundial. Entonces para un futuro estudio de prefactibilidad para la producción de aceite de palta permitirá este nuevo producto introducirse en el mercado boliviano, también puede beneficiar a industrias aceiteras, además que incentiva la producción agrícola de palta beneficiando económicamente a nuestra población tarijeña.

La demanda insatisfecha a nivel mundial proyectada para la gestión 2023 es de 3 317,5 toneladas por año, lo cual nuestra investigación aplicada es el primer paso de información del aceite de palta para que Bolivia pueda introducirse al mercado mundial, mejorando la economía de la población boliviana.

Justificación científico - tecnológico

Basándose en los conocimientos científicos de la asignatura ingeniería de los procesos orgánicos, cuya asignatura forma parte de la formación académica de la carrera de ingeniería química, podemos determinar la extracción de aceites por presión hidráulica, lo cual este proyecto pretende brindar información sobre el método tecnológico de presión hidráulica a emplearse para la extracción de aceite de palta, posteriormente los resultados ser usados como herramienta para futuros estudios de prefactibilidad de producción de aceite virgen de pulpa de palta.

Justificación social

Se espera que este proyecto de investigación pueda enriquecer de conocimiento e información a la sociedad tarijeña acerca de este nuevo producto, como darle un fin a la palta para la producción de aceite, ayudando a la sociedad como un posible emprendimiento a nivel artesanal. Como ya se mencionó, la información de este proyecto es tan solo el primer paso, pues se espera que se pueda llevar a cabo un estudio de prefactibilidad para la producción industrial de aceite de palta conllevando a un

futuro cercano la generación de puestos de trabajo para la población tarijeña, ya sea en el área industrial o en el área agrícola.

Justificación ambiental

La extracción de aceite, en el despulpado se generará cáscara y pepa, para evitar su desecho, la cáscara es utilizada como fertilizante, en cambio la pepa tiene un fin de sostenibilidad garantizando a las futuras generaciones. En la etapa de presión hidráulica las borras o residuos sólidos, lo cual tiene un valor agregado para la obtención de abono orgánico, o también puede ser usado directamente como fertilizante.

Además, el método que se empleó no necesita ningún reactivo para extraer el aceite, por lo que no habrá desprendimiento de gases o reacciones exotérmicas que alteren al medio ambiente.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

Para mayor comprensión del presente proyecto analizaremos los conceptos claves, como definiciones y otros aspectos que sean importantes como referencia de información para realizar la parte experimental y los análisis correspondientes.

1.1.ACEITE

1.1.1. DEFINICIÓN

El término aceite ha recorrido una larga historia hasta alcanzar su forma y significado actual: del vocablo arameo zayta pasó al término árabe azzayt y luego pasó a interpretarse como azzáyt. El concepto, según la definición oficial, permite nombrar a la sustancia líquida y grasa que se consigue a partir del tratamiento de diferentes semillas y frutos, como ocurre con la soja, las almendras, el coco, el maíz, cacahuetes, algodón, soja, nueces, linaza, y de algunos animales, como la ballena, la foca o el bacalao. (Pérez, 2012)

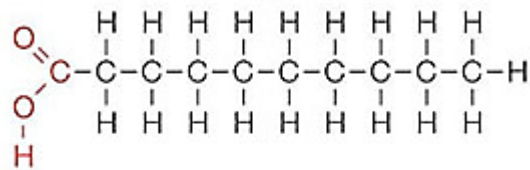
1.2.LÍPIDOS

1.2.1. DEFINICIÓN

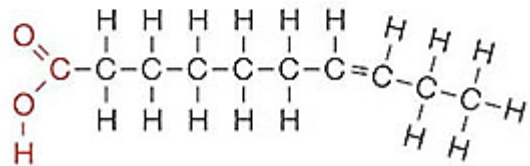
Según el autor (Doradea, 2013): “Los lípidos son un conjunto de moléculas orgánicas, la mayoría biomoléculas, compuestas principalmente por carbono e hidrógeno y en menor medida oxígeno, aunque también pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno, que tienen como característica principal el ser hidrofóbicas o insolubles en agua y sí en disolventes orgánicos como la bencina, el alcohol, el benceno y el cloroformo”. En el uso coloquial, a los lípidos se les llama incorrectamente grasas, ya que las grasas son sólo un tipo de lípidos procedentes de animales. Los lípidos cumplen funciones diversas en los organismos vivientes, entre ellas la de reserva energética (triglicéridos o triacilglicéridos), la estructural (fosfolípidos de las bicapas) y la reguladora (esteroides).

En la figura 1-1 se muestran los ácidos grasos saturados e insaturados.

Saturado



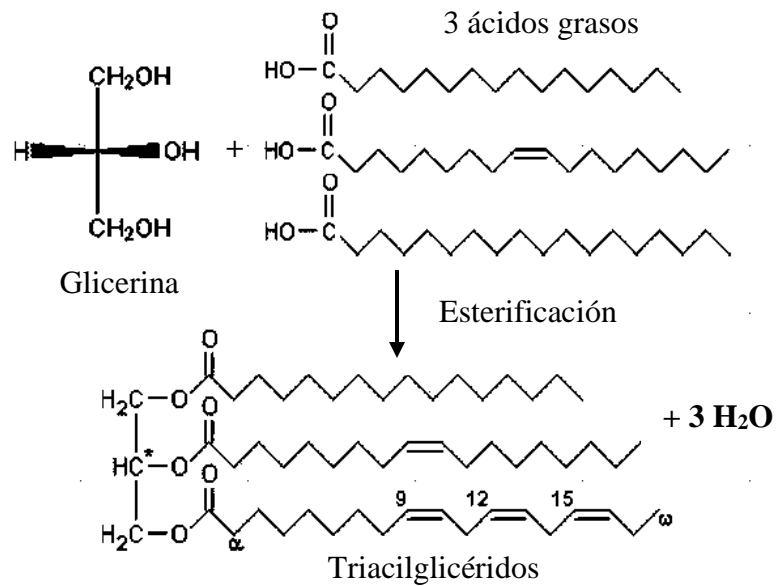
Insaturado



Fuente: Biología - Geología, 2021

Figura 1-1 Ácidos Grasos

En la figura 1-2 se muestra un triacilglicérido que está conformado por una molécula de glicerina y tres ácidos grasos.



Fuente: Biología - Geología, 2021

Figura 1-2 Triacilglicéridos: Con tres moléculas de ácidos grasos

1.2.2. CLASIFICACIÓN BIOLÓGICA DE LOS LÍPIDOS

Los lípidos son un grupo muy heterogéneo, lo cual se hace la mención: atendiendo a que posean en su composición ácidos grasos (lípidos saponificables).

1.2.2.1. Lípidos saponificables

Simple: lípidos que sólo contienen carbono, hidrógeno y oxígeno.

Acilglicéridos: cuando son sólidos se les llama grasas y cuando son líquidos a temperatura ambiente se llaman aceites.

Según (Doradea, 2013) sostiene que: Los ácidos grasos se dividen en saturados e insaturados:

- Saturados: Sin dobles enlaces entre átomos de carbono; por ejemplo, ácido láurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido margárico, ácido esteárico, ácido araquídico y ácido lignogérico.
- Insaturados: Los ácidos grasos insaturados se caracterizan por poseer dobles enlaces en su configuración molecular; por ejemplo, ácido oleico, ácido palmitoleico, ácido vaccénico, ácido linoleico y ácido linolénico. Estas son fácilmente identificables, ya que estos dobles enlaces hacen que su punto de fusión sea menor que en el resto. Se presentan como líquidos, como aquellos que se llaman aceites. Este tipo de alimentos disminuyen el colesterol en sangre y también son llamados ácidos grasos esenciales. Los animales no son capaces de sintetizarlos, pero los necesitan para desarrollar ciertas funciones fisiológicas, por lo que deben aportarlos en la dieta. La mejor forma y la más sencilla para enriquecer la dieta con estos alimentos, es aumentar su ingestión, es decir, aumentar su proporción respecto a los alimentos que se consumen de forma habitual.

1.3.ACEITE VEGETAL

1.3.1. DEFINICIÓN

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas, está compuesto por lípidos, es decir, ácidos grasos de diferentes tipos unidos que se encuentran unidos a un glicerol, es decir, glicéridos o a otro tipo de alcohol de cadena más larga, en cuyo caso hablamos de céridos. Los glicéridos pueden ser monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos. La proporción de estos ácidos grasos y sus diferentes características, son las que dan las propiedades a los distintos aceites vegetales existentes. (Gonzales, 2021)

Los aceites y las grasas vegetales se extraen de las semillas oleaginosas, de frutas y pepitas. No solamente se utilizan para la alimentación, sino que también, son utilizadas con fines industriales. Dependiendo del tipo de materia prima se utiliza un método y otro para su extracción y elaboración. Esto es así porque es necesario separar el líquido (aceite) de la parte sólida.

CODEX (1999) sostiene que “Los aceites vegetales comestibles son productos alimenticios que contienen principalmente glicéridos de ácidos grasos obtenidos únicamente de fuentes vegetales. Asimismo los aceites vírgenes se extraen, sin modificar la naturaleza del aceite, a través de procedimientos mecánicos y por aplicación solo de calor, por ejemplo, extrusión y prensado, y por aplicación únicamente de calor, estos solo podrán haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación únicamente y finalmente los aceites prensados en frío se pueden obtener sin modificar el aceite por procedimientos mecánicos únicamente, sin la aplicación de calor, mediante procedimientos mecánicos, por ejemplo, extrusión o prensado, sin la aplicación de calor, solo podrán haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación únicamente”.

1.3.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Para evaluar la calidad de los aceites, existen diversas técnicas a saber, entre ellas tenemos las que serán ejecutadas para determinar la calidad de nuestro aceite a extraer:

1.3.2.1. Propiedades físicas

- Densidad o gravedad específica: Esta es una constante que no varía mucho para un aceite determinado cuando está puro y fresco, pero es afectada por la edad, rancidez y cualquier tratamiento especial que se le haga al aceite. (Arango, 2015)
- Índice de Refracción: Esta es una característica muy importante debido a su utilidad en métodos analíticos, basada en la relación entre la velocidad de la sustancia y la velocidad de una onda luminosa en el aire. (Gutarra, 2018).
- Humedad: Las grasas también se degradan debido a procesos hidrolíticos, que en presencia de humedad hidrolizan los triglicéridos, a sus componentes. Los ácidos grasos libres, triglicéridos especialmente los de cadena corta, producen en las grasas y aceites olores extraños y rancios. Este tipo de deterioro llamado enranciamiento hidrolítico, debe distinguirse del enranciamiento oxidativo; no necesita la presencia de oxígeno, es favorecido por las temperaturas altas y por las enzimas lipolíticas naturales. (Gutarra, 2018)

1.3.2.2. Propiedades químicas

- Índice de acidez: Este índice es indicativo de la calidad de un aceite o grasa, nos informa sobre la cantidad de ácidos grasos libres que contiene ese aceite. (Arango, 2015)
- Índice de peróxidos: Los aceites no deben sobrepasar un índice de peróxidos de 20 (20 miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de aceite). Cuantos menos peróxidos más antioxidantes naturales tendrá el aceite. Por tanto, es un parámetro que tiene que ser tenido muy en cuenta a la hora de valorar la estabilidad del aceite ya que es un parámetro relacionado con la oxidación primaria del mismo. (Ortega, 2018)

1.3.3. TIPOS DE ACEITES VEGETALES

Los aceites vegetales dependiendo del tipo del proceso que son sometidos, podemos diferenciar 3 diferentes tipos de aceites, lo cual tenemos los siguientes según el *Ministerio de la protección social* (2010), p. 4:

- **Aceite virgen:** Aceite obtenido del fruto únicamente mediante procedimientos mecánicos u otros medios físicos en condiciones particularmente térmicas que no produzcan alteración del aceite y que no hayan tenido más tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado, con acidez libre expresada en ácido oleico de no más de (2%).
- **Aceite refinado:** Se obtiene por el refinado de aceites vírgenes, mediante técnicas de refinado que no provocan alteración en la estructura glicérica inicial. Tiene una acidez libre, expresada en porcentaje de ácido oleico, ($\leq 0.3\%$).
- **Aceite crudo:** Aceite obtenido mediante tratamiento con disolventes u otros procedimientos físicos, con exclusión de los aceites obtenidos por procedimientos de reesterificación y de cualquier mezcla con aceites de otra naturaleza. Está constituido por la mezcla de aceite refinado y de aceites vírgenes. Tiene una acidez libre, expresada en porcentaje de ácido oleico, ($\leq 1.0\%$).

El aceite que se va a obtener para este presente proyecto es el **aceite virgen**, ya que no se empleara ningún componente químico para extraer el aceite, además también por el método que se está empleando.

1.4.PALTA O AGUACATE

1.4.1. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y ECOGEOGRÁFICA DE LA PALTA

En la figura I-3 se aprecia plantaciones de palta (*Persea americana mill Hass*) en la localidad de San Telmo - Cercado, que fue tomada por mi persona.



Fuente: Arboles de palta de San Telmo-Cercado y Elaboración propia, 2021

Figura I-3 Plantaciones de palta (*Persea americana mill Hass*)

1.4.1.1. Taxonomía de la palta

En la tabla I-1 se observa la clasificación taxonómica de la palta, específicamente palta Hass. (Ver ANEXO A)

Tabla I-1 Clasificación taxonómica de la palta Hass

CLASIFICACION TAXONÓMICA	
Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Ordenes	Corolinos
Orden	Ranales o Policarpales
Familia	Lauraceae
Nombre Científico	<i>Persea americana</i> Mill

Fuente: Acosta, 2022

1.4.1.2. La Raíz

Según (Tito, 2018) menciona que: “El sistema radicular de la raíz es fuerte y amplio, por lo que recompensa el buen desarrollo del follaje”, se lo puede apreciar en la figura I-4.



Fuente: Rizo, 2014
Figura I-4 La raíz

1.4.1.3. El tallo

El aguacatero es un árbol corpulento, que puede alcanzar y a veces sobrepasar los 25 m de altura con un tronco de hasta de más de 1,50 m de diámetro. El follaje es tan amplio que puede llegar a alcanzar 20 m de diámetro. Los aguateros son arboles susceptibles al ahuecamiento de sus troncos y ramas viejas, por lo que es usual ver troncos con cavidades que a veces abarcan más del 70% de su diámetro total. Esto no es alarmante, pues a pesar de que la mayoría de los árboles viejos están ahuecados y se mantienen resistentes a los vientos, y la longevidad de estos no se ven afectadas. (Tito, 2018)

El tallo de la palta, se puede apreciar el tallo en la figura I-5.



Fuente: Masats, 2021

Figura I-5 El tallo

1.4.1.4. Las hojas

Las hojas son alternas. que varían generalmente de elíptica a ligeramente lanceoladas, que termina en punta, de color verde oscuro, el cual se acentúa en los clones del grupo Guatemala. Las ramas jóvenes de algunas plantas son de color morado, aspecto que sirve para identificar algunos clones. Aunque esta planta se considera de hojas perennes, en muchos casos tiende a soltarlas, pues sus reservas pasan a fortalecer la floración. Esto es negativo en la formación del fruto, puesto que al árbol posteriormente, queda sin hojas capaces de elaborar las sustancias que aseguren una buena fructificación. (Tito, 2018)

En la figura I-6 se puede observar la forma de las hojas del árbol de palta Hass.



Fuente: Hojas del árbol de palta de San Telmo - Cercado y Elaboración propia, 2021

Figura I-6 Las hojas

1.4.1.5. Las flores

Las flores se presentan en las ramas y llamas terminales, en grupo nutridos. De cada yema axiliar sale un pequeño esbozo floral que puede emitir tres o más flores. Los más importantes de la flor de aguacatero es su comportamiento biológico, lo que se hace que la flor es hermafrodita es estructuralmente; funcionalmente resulta mono sexual. Este fenómeno biológico se conoce con el nombre de dicogamia protoginea y consiste en que cada flor funciona dos veces en su vida. La primera vez, se comporta como femenina, oportunidad que la naturaleza le brinda para ser polinizada, después de la cual se cierra para abrirse de nuevo después de las 26 o 28 horas, pero esta vez se comporta como masculina. (Tito, 2018)

La época de la floración del aguacatero está comprendida de los meses de febrero y marzo. Salvo algunas excepciones de clones que lo hacen en enero. En la figura I-7 se puede observar la forma de las flores del árbol de palta Hass.



Fuente: Biotic, 2018

Figura I-7 Las flores

1.4.1.6. El fruto

El fruto del aguacate es una drupa constituida por un solo carpelo y una sola semilla. Con respecto a su forma esta puede ser variada: redonda, ovalada, piriforme, alargada, etc. En cuanto el color este varia es una amplia gama, ya que puede encontrar frutos de variadísimas tonalidades de verde (desde los verdes amarillentos, hasta los verdes intensos) el rojizo morado entre otros. La estructura del fruto está bien definida, por lo que se puede considerar propia para desarrollar una clase, el pericarpio o corteza puede separarse fácilmente del mesocarpio cuando el fruto está maduro, el mesocarpio es grueso y carnoso, y constituye la parte comestible del fruto, su composición y calidad dependiendo del clon, varía mucho, el endocarpio está constituido por una capa fina que cubre la semilla y que por lo general se encuentra adherido a ella, aunque algunas veces se encuentra pegado el mesocarpio. (Tito, 2018).

En la figura I-8 se observa las partes de la palta Hass.



Fuente: plantaraguacate, 2021
Figura I-8 El fruto (Palta Hass)

1.4.1.7. La semilla de la palta

El aguacate está constituido por una sola semilla (por ser una planta monovular). Las semillas están formadas por dos cotiledones (dicotiledónea) y un solo embrión (monoembrionica); no obstante, algunas veces da la impresión de que se desarrollan varios embriones, aunque no son más que brotes que germinan de las yemas axiliares que se encuentran en un principio rudimentario en las axilias de las escamas y hojas del embrión. (Tito, 2018)

En la figura I-9 se aprecia las semillas del árbol de palta Hass.



Fuente: Semillas de palta de San Telmo-Cercado y Elaboración propia, 2021

Figura I-9 La semilla

1.4.1.8. Época de maduración

La época de maduración de la palta se divide en tres estaciones: temprana de mayo a agosto, media de septiembre a diciembre y tardía desde enero a abril, los clones que más se han propagado en la actualidad son los tempranos y medios por ser de más calidad y rendimiento. Además, en esos meses escasean muchas las verduras que se utilizan para ensaladas. (Tito, 2018)

1.4.2. VARIEDADES DE PALTAS O AGUACATES

A continuación, mencionaremos algunas de las variedades de paltas, cuyo fin es dar a conocer a futuras investigaciones, ya que según lo buscado en distintas bibliografías existe muchas variedades de palta, lo cual no las puedo estimar, ya que las fuentes que obtengo dicha información son poco confiables, sin embargo, mencionaremos a algunas variedades de paltas:

- **Palta Hass:** Según *Ecosistema regionales y frutícolas* (2021) menciona que: Tiene una piel negra y rugosa con colores que varían de verde a púrpura al estar maduro con forma ovalada tiene una pepa pequeña en su interior, esta

es una palta de tamaño mediano que pesa entre los 150 y 350 gramos, es fácil de pelar y tiene un sabor exquisito, gracias a esto es una de las paltas más requeridas por el sector gastronómico. En la figura 1-10 se presenta la palta Hass:



Fuente: Guillen, 2015
Figura 1-10 Palta Hass

- Palta Fuerte: Según *Ecosistema regionales y frutícolas* (2021) menciona que: Es de textura suave y cremosa, su interior es de color amarillo pálido, este fruto es fácil de reconocer tiene forma de pera alargada, tiene un color verde su piel es fina, con un aspecto curtida con pequeños puntos blancos. Además, mantiene su color luego de madurar. En la figura 1-11 se presenta la palta Fuerte:



Fuente: Guillen, 2015
Figura 1-11 Palta Fuerte

- **Palta Edranol:** Según *Ecosistema regionales y frutícolas* (2021) menciona que: Tiene forma de ampolleta es de muy buena calidad, es de semilla mediana, la pulpa de buena calidad se oxida muy poco al contacto con el aire, es fácil de pelar, de textura gruesa, es cremosa cuando madura. Su cáscara es de color verde y mantiene su color durante la maduración, esta palta se encuentra desde septiembre a diciembre y es la más parecida en cuanto a sabor a la Hass. En la figura 1-12 se presenta la palta Edranol:



Fuente: Guillen, 2015

Figura 1-12 Palta Edranol

- **Palta Bacon:** Según *Ecosistema regionales y frutícolas* (2021) menciona que: Es un fruto de color verde, esta variedad de palta se conoce como “piel verde”, es ovalada de tamaño mediano, tiene un sabor suave, es fácil de pelar, la pulpa es de color amarilla verdosa, tiene una piel delgada, esta variedad de palta se cosecha en lugares más fríos o con mayores vientos. Su maduración es en invierno, tiene un tamaño mediano a grande se encuentra entre los 150 y 350 gramos. En la figura 1-13 se presenta la palta Hass Bacon:



Fuente: Guillen, 2015
Figura 1-13 Palta Bacon

- Palta negra de la cruz: Según *Ecosistema regionales y frutícolas* (2021) menciona que: Este fruto es de buena calidad, es de piel negra y lisa, tiene una forma larga y puntiaguda. Se encuentra desde julio a septiembre. Su árbol palto negro de la cruz, es sensible a las bajas temperaturas. Tiene poco contenido de agua, pero es alto en proteínas y alta en grasas y buena fuente de vitaminas. En la figura 1-14 se presenta la palta Negra de la Cruz:



Fuente: Guillen, 2015
Figura 1-14 Palta Negra de la Cruz

- Palta santana: El fruto es de buena calidad se desprende con facilidad, de forma piriforme, simétrico; su contenido de grasa es de 4.8% con un peso comprendido entre 670 a 700 gr; de cáscara gruesa lisa de color oliva, brillante y que se mantiene hasta a la madurez de consumo; la pulpa es de color amarillo a verde, la semilla es mediana y está adherida a la cavidad que la contiene. (Santana, 2013)

En la figura 1-15 se presenta la palta Santana:



Fuente: Santana, 2013

Figura 1-15 Palta Santana

- Palta torres: Según *Sistema Nacional Argentino* (2021) menciona que: Esta variedad se originó en Yerba Buena, Tucumán. El árbol es de porte mediano, de copa extendida y producción precoz, escasamente alternante. La fruta es piriforme de "cuello" largo. Su peso varía entre 500 y 770 g. En la figura 1-16 se presenta la palta Torre:



Fuente: *Sistema Nacional Argentino*, 2021.

Figura 1-16 Palta Torres

1.4.3. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DE LA PALTA HASS

En la tabla I-2 se puede apreciar la composición Bioquímica de la palta Hass.

Tabla I-2 Composición Bioquímica de la Palta HASS

COMPONENTES	PALTA
Agua (%)	74,6
Grasa (%)	20,6
Proteínas (%)	1,8
Fibra (%)	1,4
Cenizas (%)	1,2

Fuente: Datos: Conafrut, 1997 y Nagalingam J.C. 1993, (Guillen, 2015)

Según Venezuela (1986) y Human (1987); los Hidratos de Carbono de palta varían entre 2,9% - 12,2%.

1.4.4. PULPA DE LA PALTA HASS

La pulpa es aceitosa de color crema a verde amarillento, con un sabor similar a la nuez, se puede apreciar en la figura 1-17.



Fuente: plantaraguacate, 2021
Figura 1-17 Pulpa de palta Hass

Según (Namesny, 2020) sostiene que las características generales de la pulpa de aguacate Hass son las siguientes:

- Mejor presentación de la fruta en el mercado.
- Mayor duración y resistencia a su descomposición.
- La pulpa no posee fibrillas a la hora de comerlo.
- Contiene potasio, Vitamina B y E más otros antioxidantes.
- Su contenido de aceite fluctua entre 18% y 22%.
- Es una fruta más pequeña que las otras variedades de Aguacate que hay en el mercado.
- Posee una fuente excelente de las buenas grasas naturales.

1.4.4.1. Factores que afectan la conservación de la pulpa de palta

A continuación, veremos los factores que afecta la conservación de la pulpa de palta, siendo esto importante para el presente proyecto especialmente en la parte experimental, según el autor (Vargas, 2020) menciona que:

Enranciamiento:

Efectos negativos: Los peróxidos originan:

- Olores y sabores desagradables
- Trastornos gastrointestinales
- Destruyen vitaminas liposolubles (A, D, E) y ácidos grasos esenciales.
- Paralizan la biosíntesis de la vitamina K.

Formas de control:

- Almacenamiento a bajas temperaturas.
- Envases impermeables a la luz.
- Regulación del contenido de humedad.
- Evitar contaminación con metales pesados.
- Disminución del nivel de oxígeno.
- Adición de antioxidantes: tocoferoles, etc.

1.5. ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

El aceite de palta virgen es caracterizado por su riqueza en nutrientes, por su bajo contenido de ácidos grasos saturados y por sus propiedades en la prevención de enfermedades como la arterioesclerosis. Su calidad garantiza que las propiedades naturales del fruto no hayan sido modificadas, por lo que el aceite conserva las proteínas, vitaminas, minerales y ácidos grasos originales del fruto. Teniendo en cuenta la evolución que se ha venido llevando a cabo en el mercado del alimento, el aceite de aguacate promete ser un producto promisorio siempre y cuando se dé a conocer de la manera adecuada. (Vargas, 2004)

El aceite virgen de palta se obtiene a partir del fruto sin piel y sin semilla, con un tratamiento de prensado en frío y luego filtrado y embotellado. El aceite de palta se deteriora durante el almacenaje, por lo que la temperatura de almacenaje no debe ser superior a 25 °C, y el tipo de envase oscuro, para preservar por más tiempo la calidad del producto. En la figura 1-18 se puede apreciar alguna de las presentaciones de los aceites de paltas. (Mayorga, 2011)



Fuente: Freisersa, 2021

Figura 1-18 Presentación de los aceites de palta

En la tabla I-3 se observa las características fisicoquímicas del aceite de palta.

Tabla I-3 Características fisicoquímicas del aceite de palta, por Schwartz, 2001

PROPIEDAD	VALOR
Densidad Específica	0,915 g/ml
Indicé de Peróxido	19,58 meqO ₂ /Kg
Indicé de Refracción	1,468
Acidez (como ácido oleico)	1,56 %

Fuente: Gutarra, 2018

Según Kirschenbauer, 1964; la humedad del aceite de palta varía entre 0,2% - 0,35%.

1.5.1. BENEFICIOS DEL ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

Según (Mayorga, 2011) sostiene que los siguientes beneficios del Aceite virgen de pulpa de palta son los siguientes:

- Contiene ácidos grasos beneficiosos ricos en antioxidantes que protegen nuestro corazón y en general el buen funcionamiento del sistema cardiovascular.
- Es conveniente para personas con varices e incluso con flebitis.
- Nos ayuda a mantener la tensión arterial equilibrada.
- Estimula la regeneración de la piel y los tejidos.
- Fortalece el cabello reduciendo su caída y debilidad.
- El aceite de aguacate combate los daños que causan los radicales libres.
- Retrasa el envejecimiento.
- Combate la oxidación de las células.

1.5.2. APLICACIONES DEL ACEITE DE PALTA

El aceite extra virgen de palta prensado en frío se aplica a la industria alimenticia o de la gastronomía, pero también el aceite de palta normal se lo usa en otras dos industrias como la farmacéutica y la industria cosmética. (Mayorga, 2011)

En la tabla I-4 podemos apreciar las aplicaciones del aceite de palta en la industria.

Tabla I-4 Aplicaciones del aceite de palta en las industrias

APLICACIÓN	DEFINICIÓN	IMAGEN
Industrial alimentaria	Como aceite para condimentar pastas, legumbres, verduras y pescados, proporcionándole un delicado y exquisito sabor. Excelente para acompañar ensaladas, aderezos y alimentos fritos, además de ayudar al control de los niveles de colesterol.	
Industria cosmética	En esta industria el aceite de aguacate sirve para la elaboración de un gran número de productos entre los cuales tenemos jabones, cremas humectantes, acondicionadores, champo, cosméticos, anti arrugas, tratamientos capilares, etc.	
Industria farmacéutica	En lo referente a la medicina el gran uso se registra en la medicina alternativa u homeopática, la cual ofrece solución integral y natural a los problemas de salud.	

Fuente: Mayorga, 2011

1.6. NORMAS TÉCNICAS PARA UN ACEITE VIRGEN

Son un conjunto de requisitos o normas tanto nacionales como internacionales que rigen ciertos productos para que estos sean de calidad, en este caso del aceite virgen.

1.6.1. NORMAS INTERNACIONALES

Para la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en su CODEX alimentario los aceites tienen que cumplir ciertas normas, tales como se muestra en la tabla I-5:

Tabla I-5 Límites permisibles de la calidad de aceite virgen, según CODEX alimentario

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITES PERMISIBLES	REFERENCIA
Acidez (como ácido oleico)	%	< 1,5	NTC 258: 2011
Densidad relativa (20 °C)	-	0,910 -0,916	CODEX STAN 33-1981
Humedad	%	< 0,2	CODEX STAN 33-1981
Índice de peróxido	meqO ₂ /Kg	< 15	CODEX-STAN-210-1999. (ISO 3961: 1998.)
Índice de refracción (20 °C)	-	1,472 -1,475	CODEX STAN-2016

Fuente: Datos y Referencias: CODEX, 2019 (CODEX STAN – NTC) y Elaboración propia, 2022

1.7. EL ACEITE DE PALTA COMO SUSTITUTO DEL ACEITE DE OLIVA

El aceite presente en el mesocarpio es similar al aceite de oliva principalmente en composición y características fisicoquímicas, las cuales lo muestran bastante atractivo para las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. En la tabla I-6 se puede apreciar las comparaciones de ácidos grasos entre el aceite de oliva y aceite de palta y en la tabla I-7 se puede apreciar las comparaciones de las características físico-químicas entre las mismas. Cuya información es adicional para el presente proyecto, debido a que se hace mención de esto.

Tabla I-6 Comparaciones de ácidos grasos entre el aceite de oliva y aceite de palta

ÁCIDOS GRASOS %	ACEITES VEGETALES		
	Aceite de Oliva ^b	Aceite de palta ^c	Aceite de palta ^d
Ácido palmitoleico/omega 7	-	5,7	1,5
Ácido oleico/omega 9	72,5	69,1	75,1
Ácido linoléico/omega 6	7,9	9,6	8,8
Ácido alfa - linolénico/omega 3	0,6	0,3	0,9
Ácido palmítico	11,0	14,1	8,6
Ácido eicosanoico - araquidico	-	0,2	0,2
Ácido esteárico	2,2	0,4	0,7

Fuente: Datos: ^b Charley, 2012; ^c Zhong, 2007; ^d Schwartz, 2001. (Gutarra, 2018)

Tabla I-7 Comparaciones de las características físico-químicas entre el aceite de oliva y aceite de palta

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS	UNIDADES	ACEITES VEGETALES		
		Aceite de Oliva ^b	Aceite de palta ^b	Aceite de palta ^c
Índice de acidez	mg KOH/1g grasa	3,3 - 3,4	3,15 - 3,28	-
Ácido oleico	%	-	-	1,6
Índice de peróxido	meqO ₂ / Kg	19,5 - 20,5	-	19,6
Densidad específica	g/ml	0,92	0,91	0,92
Índice de refracción	-	1,47	1,46 - 1,47	1,47
Índice de saponificación	mg KOH/1g grasa	180,0 - 190,0	185,0 - 198,0	195,01
Índice de yodo	cg I/1g grasa	75,0 - 94,0	82,0 - 84,0	69,6
Humedad	%	0,2	0,2 - 0,35	

Fuente: Datos: ^b Kirschenbauer, 1964; ^c Schwartz, 2001. (Gutarra, 2018)

1.8. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA PULPA DE LA PALTA

En el presente apartado se describen las 3 principales tecnologías de extracción de aceite a partir de la palta.

1.8.1. CENTRIFUGACIÓN

La centrifugación, al igual que la sedimentación, permite separar sólidos de líquidos o líquidos inmiscibles. La diferencia consiste que la separación se lleva a cabo por la acción de fuerza centrífugas que se generan durante la rotación del material. La intensidad de la fuerza centrífuga generada depende del radio y de la velocidad de rotación, así como la masa de la partícula a separar. La distinta densidad del aceite nos permite también aplicar el principio de la fuerza centrífuga para realizar la separación. Las impurezas sólidas que pueda haber en los líquidos son empujadas con mayor fuerza depositándose en la pared de la centrifuga. Máximo a temperatura de 35 °C, lo que ayuda a una mejor clarificación del aceite. La centrifuga puede ser causa de ciertos perjuicios en la calidad de aceite debido a que produce fuerte aireación en el aceite que puede dar lugar a la oxidación y pérdida de volátiles aromáticos. (Saavedra A., 2020)

Tecnología Flottweg para la extracción de Aceite de Palta

El Tricanter separa la masa de la palta en la fase de pulpa, aceite y agua. Seguidamente, la centrífuga de discos clarifica la fase de aceite y elimina las impurezas más finas. Este proceso protege el producto y es adecuado para la extracción de aceite de palta de primera calidad. El procesamiento utilizando la Tecnología Flottweg da como resultado un alto rendimiento de aceite y un aceite de palta puro, en otras palabras: la máxima calidad del producto. (Guillen, 2015)

En la figura 1-19 se puede apreciar dicha descripción.



Fuente: Guillen, 2015

Figura 1-19 Flujo de los líquidos y sólidos en una Tecnología Flottweg

1.8.1.1. Termobatido

Según el autor (Gutarra, 2018) afirma que: El termobatido es también conocido como proceso de centrifugación, proceso termomecánico, etc. La pulpa de palta se coloca a una termobatidora a 50 rpm, temperatura de 60 °C por un tiempo de 2 horas, con la finalidad de triturar el mesocarpio y formar una pasta fina, permitiendo de esa manera romper las células que contienen aceite y promover su liberación durante el termobatido.

1.8.2. EXTRACCIÓN CON SOLVENTES

Una de las formas tradicionales de separar la grasa de una materia oleaginosa es el tratamiento con disolvente, cuando una semilla se pone en contacto con un disolvente y es posible su separación. Existen varios disolventes autorizados para extraer grasa, aunque el hexano comercial es el más utilizado. La extracción con solvente es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceite vegetales y puede reducir el contenido de aceite de las semillas hasta menos de un 1%. La fracción oleosa de la semilla se solubiliza en el hexano durante la extracción y a continuación el hexano se destila y reutiliza. Debido a su elevado carácter volátil en el aceite después de su obtención queda un residuo de hexano mínimo o nulo. Sin embargo, de estos resultados se recomienda la extracción con solvente para la industria de jabones y cosméticos. (Herrera, 2015)

Existen varios diseños disponibles, pero básicamente hay dos tipos.

1.8.2.1. El tipo Bolton o Bailey-Walker

Según (Gutarra, 2018, p.54) cuenta que: El tipo Bolton o Bailey-Walker proporciona una extracción continua en la que las gotas condensadas del disolvente caen sobre la muestra contenida en un recipiente poroso o dedal, alrededor del cual pasan los vapores calientes del disolvente; la eficiencia del método depende del tratamiento previo de la muestra y de la elección del disolvente

1.8.2.2. El tipo Soxhlet

Proporciona una extracción intermitente con un exceso de disolvente recién condensado; la eficiencia del método depende del tratamiento previo de la muestra y de la elección del disolvente. Este es el método que arroja un mayor rendimiento de valores de hasta un 90% de rendimiento. Por ejemplo, en una experimentación de extracción de aceite por el método de Soxhlet utilizando hexano se obtuvo un rendimiento del 85,5%. La producción de aceites mediante disolventes, si bien constituye un método apropiado para efectuar una extracción eficiente y “acotar” el material que se está extrayendo, requiere de instalaciones costosas, una ingeniería depurada por los riesgos que implica el trabajo con disolventes volátiles y altamente inflamables, y una cuidadosa eliminación y recuperación de los residuos de estos en aceite y en la masa sólida extraída. (Gutarra, 2018)

1.8.3. PRENSADO

Se realiza a través de ejercer presión sobre la materia prima previamente tratada, la obtención del aceite y la torta residual es obtenida sin utilizar sustancias extractivas, ya que solo es utilizada la fuerza mecánica por medio de una prensa hidráulica. Se obtienen aceites de alta calidad. El rendimiento dependerá de la presión ejercida además de si se decide adicionar calor ya que esto ayuda a que disminuya la densidad del aceite y se desprenda mejor de la torta en este caso. (Gordillo, 2019)

¿Qué es presión?

Como presión se conoce la fuerza que algo hace sobre otra cosa para apretarlo o comprimirlo. Según *Centro Nacional de Metrología* (2021) sostiene que: “La presión

es una magnitud que se define como la derivada de la fuerza con respecto al área”, a continuación, nos muestra la siguiente ecuación:

$$P = \frac{dF}{dA}$$

Cuando la fuerza que se aplica es normal y uniformemente distribuida sobre una superficie, la magnitud de presión se obtiene dividiendo la fuerza aplicada sobre el área correspondiente:

$$P = \frac{F}{A}$$

1.8.3.1. Prensado en frío

Según el autor (Gordillo, 2019) menciona que: “Al ser sometida a la presión, las gotas de aceite y los granos de grasa se separan de la masa. Las gotas que no quedaron libres por la trituración desgarran las paredes las células y se separan de la masa. Mediante la compresión en condiciones que permiten que el líquido escape al mismo tiempo que retiene el sólido entre las superficies de compresión, la máxima temperatura de prensado en frío es de 300 k (27 °C). Esta forma de extracción da lugar al llamado Aceite extra virgen”.

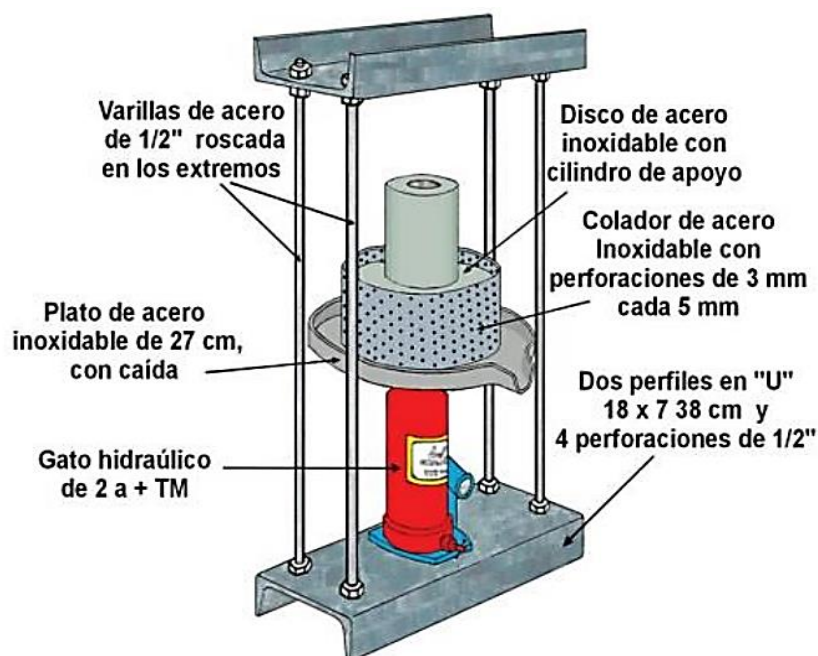
1.8.3.2. Prensado en caliente

Es claro que las grasas líquidas o aceites abandonan más fácilmente la masa si se calientan, ya que se disminuye su viscosidad. Con la elevación de temperaturas se coagulan también los cuerpos albuminoides y precipitan los mucilaginosos que están en las células vegetales, formando una especie de emulsión con el aceite. El proceso es más exigente desde el punto de vista tecnológico, el rendimiento de aceite es mayor. Esta tecnología se utiliza para semillas con porcentaje de aceite superior a 45%. El proceso puede ser concebido como una sola etapa o con dos etapas (la semilla oleaginosa se prensa 2 veces). Tiene como desventaja que requiere de un mayor proceso de refinado, además que la torta obtenida por este proceso queda con 10-20% de aceite que puede ser aprovechada, sometiéndola a la acción de un solvente (Saavedra, 2020).

Tecnología de prensado discontinuo

Este tipo de prensado es el más utilizado desde tiempos antiguos para la extracción de aceites vegetales de consumo humano, para ello se aplicaba presión sobre una masa de vegetales confinados en bolsas, telas, mallas u otros artificios. Las prensas más antiguas utilizaron palancas, cuñas, tornillos, etc.; pero el más utilizado fue este sistema hidráulico (Herrera, 2015)

En la figura 1-20 se observa las partes de la prensa hidráulica.



Fuente: Saavedra, 2020

Figura 1-20 Partes de la prensa hidráulica

1.8.3.3. Prensado por Expeller

Según (Herrera, 2015) sostiene que: Es un proceso continuo, generan alta presión que extraen el aceite en un solo paso. El proceso se realiza de la siguiente manera: Las semillas son introducidas en una tolva, el cual transporta y muele las semillas reduciendo el espacio libre entre estas hasta la boquilla, lugar donde se estrangulan y se ejerce la máxima presión, lo cual provoca la salida del aceite.

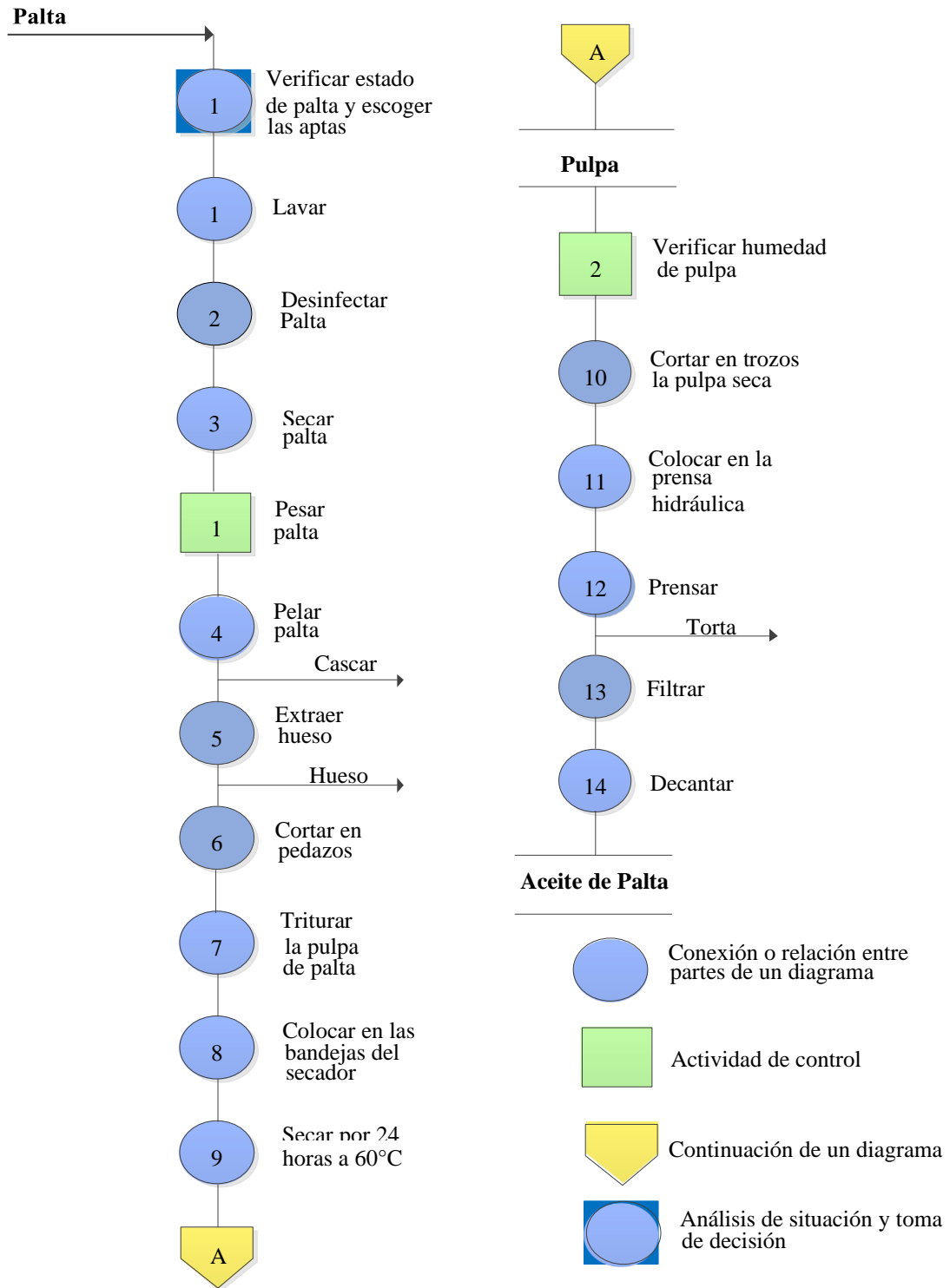
1.8.3.4.Prensado Hidráulico

El prensado hidráulico utiliza la fuerza mecánica y la gravedad para la obtención del aceite ya que el producto es sometido a altas presiones para obtener el aceite, de esta forma también es la manera en la que se obtiene el aceite de oliva que no es una oleaginosa, pero sí es un producto con alto contenido de aceite.

Este método es ampliamente utilizado en la extracción de aceite comestible por ser un método libre del uso de solventes, que además confiere mayor calidad al extraerse sin aplicar calor, son considerados aceites especiales y esto se ve reflejado en su precio de venta al ser superior. El aceite extraído por prensado en frío se conserva por mayor tiempo debido a la presencia de antioxidantes y otras moléculas que estabilizan el aceite con respecto a la auto-oxidación, ya que este método aparte de los valiosos ácidos grasos insaturados, permite extraer antioxidantes naturales como tocoferoles y compuestos fenólicos, otra de sus ventajas es que no necesita procesos de refinación. Esta técnica de extracción toma menos tiempo que la extracción con solvente. (Gordillo, 2019)

1.8.3.5.Proceso de operación de extracción de aceite de palta por el método de presión hidráulica

En la figura 1-21 se muestra el diagrama de layout de operación del método prensado hidráulico.



Fuente: Gutarra, 2018

Figura 1-21 Diagrama de operaciones del método prensado hidráulico

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla II-1 se observa los porcentajes de materia grasa de las variedades de paltas cultivadas en la localidad de San Telmo - Cercado, tales como la palta Hass, palta Santana, palta Semil-34 y palta Tonnage, cuyas paltas se desconoce su materia grasa mediante sitios de información, pero los pobladores aseguran que tienen mayor cantidad de grasa a comparaciones de las otras paltas cultivadas como las criollas, por lo que las paltas mencionadas a excepción de la palta Hass son las posibles paltas con mayor contenido de grasa. (Ver ANEXO B y ANEXO C)

Tabla II-1 Porcentaje de materia grasa y humedad de las paltas cultivadas en la localidad de San Telmo - Cercado

VARIEDAD	HUMEDAD (%)	MATERIA GRASA (%)
Hass	75,72	14,15
Santana	81,43	4,23
Semil-34	80,94	4,31
Tonnage	88,15	3,56

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2022.

Observamos en la tabla II-1 que la palta Hass contiene el mayor contenido de materia grasa con un 14,15%, esto se debe que a comparación de las demás paltas contiene un menor porcentaje de 75,72% de humedad (aclarando que, a menor contenido de humedad, mayor será el contenido de materia grasa en la palta), por lo que es una de las variedades más eficientes para extraer una buena cantidad de aceite.

2.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA (PALTA HASS)

La palta que se usará como muestra será de la localidad de San Telmo - Cercado, tomando en cuenta las siguientes medidas, para una buena toma de muestra.

Según (Buelvas Salgado, 2012, p.144) confirma que: “La madurez de la fruta influye en el rendimiento. Esto es porque durante la maduración, después que el fruto ha sido cosechado, el contenido de agua que tiene este es remplazado progresivamente por aceite”.

Esta afirmación es comparada en un *estudio de la Universidad de Guanajuato de México*, que evalúa el contenido de aceite en aguacate (*Persea americana mill Hass*) para diferentes estados de madurez y el cual obtuvo los siguientes porcentajes de aceite: 23,41% para estado sobre maduro, 22,88% estado maduro y 22,24% estado sin madurar. El estado sobre maduro, de acuerdo con recomendaciones de *Corpoica* que afirma que la extracción de aceite en aguacates sobre maduros favorece la oxidación del aceite del mismo. (Buelvas Salgado, 2012)

Dicho esto, podemos decir que las paltas sobre maduras quedan descartadas, ahora en la tabla II-2 observamos cómo identificar dichas afirmaciones solo con el tacto y la vista.

Tabla II-2 Estados de madurez de la palta (*Persea americana mill Hass*) según estudio de la Universidad de Guanajuato de México, 2012

ESTADOS DE MADUREZ	NOMBRE	ACEITE (%)	DUREZA AL TACTO	COLOR DE LA CASCARA
Sin Madurar	Verde	22,240	Dureza extrema	Verde negro
Madura	Maduro	22,880	Firme	Negro
Sobre Maduro	Pintón	23,410	Blando	Negro Purpura

Fuente: Datos: Buelvas Salgado, 2012 y Elaboración propia, 2022

La palta Hass que se usara para este proceso de extracción de aceite virgen, fue cosechada a los 9 meses de su crecimiento en el árbol en San Telmo - Cercado, cuyo estado de madurez es el maduro con un de 14,15% en materia grasa y humedad del 75,72% según los estudios que se realizaron en CEANID donde podemos apreciar en la tabla II-1. Cabe mencionar que esta diferencia de porcentaje de aceite para la palta maduro entre México y San Telmo - Cercado se debe a las condiciones climáticas.

En la tabla II-3 se observa los diferentes tamaños de la palta Hass, donde se determinó el promedio de peso de **209,918** g por cada palta Hass.

Tabla II-3 Peso de las paltas Hass

Nº	PESO (g)
1	295,102
2	193,142
3	255,116
4	182,665
5	126,036
6	169,937
7	210,562
8	290,465
9	186,082
10	190,072
PROMEDIO	209,918

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la siguiente tabla II-4 se muestran los análisis fisicoquímicos de la pulpa de la palta que se realizó en CEANID. (Ver ANEXO B).

Tabla II-4 Análisis fisicoquímicos de la pulpa de la palta (*Persea americana mill Hass*)

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Materia Grasa	%	14,15
Humedad	%	75,72
Proteína total (Nx6,25)	%	2,42
Fibra	%	4,12
Ceniza	%	1,40
Hidratos de Carbono	%	2,12
Valor energético	Kcal/100 g	175,75

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2022.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente proyecto se realizará un análisis y selección del tipo de proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*), cuyo fin es conocer el motivo del método escogido (método de presión hidráulica). Para la selección del método experimental se basó en la guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas por (Noyola, 2013).

2.2.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO EXPERIMENTAL DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

Análisis comparativo de los métodos aplicados en la extracción de aceite virgen de pulpa de palta, en la tabla II-5 se muestra una escala de puntuación del 0,2 al 1, para determinar si el método es deficiente, adecuado, bueno o muy bueno.

Tabla II-5 Escala de calificación de los métodos aplicados en la extracción de aceite virgen

CALIFICACIÓN	
Escala de puntuación	A
Muy malo	0,2
Deficiente	0,4
Adecuado	0,6
Bueno	0,8
Muy bueno	1

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde:

A = Puntuación

En la tabla II-6 observamos los criterios evaluados que se van a tomar en cuenta en la selección de métodos, apoderados con un porcentaje y un comentario.

Tabla II-6 Comentario del evaluador

CRITERIO EVALUADO	B	COMENTARIO DEL EVALUADOR
Aplicabilidad del método	5	La facilidad del método para ser empleada en un laboratorio.
Generación de residuos	10	En la extracción de aceite se genera borras de pulpa de palta
Costo	30	Costos de operación, energía y agua.
Operación	20	Flexibilidad de operación, confiabilidad del proceso y complejidad de operación del proceso.
Rendimiento	15	El rendimiento es una relación de cuanto se ha obtenido en cuanto a un proceso.
Calidad	10	La calidad de aceite está relacionada con las condiciones de operación, y el método a emplear.
Entorno e impacto al medio ambiente	5	Se espera, que durante la extracción de aceite tenga el menor impacto al medio ambiente
Disponibilidad de equipamiento	5	La disposición del equipo para el presente proyecto de extracción del aceite
TOTAL	100	

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde:

B = PORCENTAJE (%)

A continuación, tenemos la tabla II-7 de la selección del método experimental de extracción de aceite de pulpa de palta, donde se califica los criterios evaluados a cada método y se determina cuál es el mejor método mediante el mayor porcentaje.

Tabla II-7 Selección del método experimental de extracción de aceite de pulpa de palta

CRITERIO EVALUADO	MÉTODOS DE EXTRACCIÓN								
	Prensado Hidráulico			Prensado por Expeller			Termobatido		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Aplicabilidad del método	0,8	5	4	0,8	5	4	0,8	5	4
Generación de residuos	0,6	10	6	0,6	10	6	0,6	10	6
Costo	1,0	30	30	0,6	30	18	0,6	30	18
Operación	0,6	20	12	1,0	20	20	1,0	20	20
Rendimiento	0,8	15	12	1,0	15	15	0,8	15	12
Calidad	1,0	10	10	0,8	10	8	0,8	10	8
Entorno e impacto al medio ambiente	0,2	5	1	0,2	5	1	0,2	5	1
Disponibilidad de equipamiento	1,0	5	5	0,2	5	1	0,2	5	1
Total			80			73			70

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde:

$$C = (A * B) \%$$

Tomando en cuenta los Criterios Evaluados de la tabla II-7 podemos observar que el método experimental que se va emplear para el presente proyecto a escala laboratorio es el prensado hidráulico con una puntuación de 80%, aclarando que no es el mejor, tendrá limitaciones y que deberán ser corregidas en el futuro o tomarse en cuenta.

2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseñar estadísticamente un experimento es realizar una prueba o una serie de pruebas buscando caracterizar las variables explicativas o factores (X_i) de mayor influencia en un ensayo de interés, evaluado a través de una o varias variables respuesta(s), tal que, si deliberada o sistemáticamente se introducen cambios controlados en algunas de las variables explicativas del proceso, siempre sea posible observar o cuantificar los cambios que estos generan en la(s) variable(s) respuesta(s). Adicionalmente, se busca minimizar el efecto de las variables no controlables (covariables), procurando con ello estabilizar y minimizar la variabilidad de las respuestas, identificando los factores que contribuyen a las mayores causas de variabilidad. (Oscar Melo, 2020)

2.3.1. SELECCIÓN DE LOS FACTORES DEL PROCESO TECNOLÓGICO

La extracción de aceite virgen de pulpa de palta, se realiza por el método de presión, usando el equipo de prensa hidráulica, misma que nos permite controlar dos factores que influyen en el rendimiento de extracción, tales como: la presión y tiempo, pero también podemos variar un factor más a la hora de extraer aceite, misma que se presenta en la pulpa de palta que es la humedad, donde la podemos variar en el proceso de secado antes de introducir a la prensa hidráulica. Por lo tanto, los factores que varían y nos permiten determinar **el mayor rendimiento de aceite en el producto final**, son:

- **Tiempo:** Período determinado durante el que se realiza una acción, esta variable nos indica el periodo el cual la muestra (pulpa de palta seca) va a estar sometida a una determinada presión constante.
- **Presión:** Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie, esta variable nos indica la presión con la que se va ejercer a la muestra (pulpa de palta seca) para extraer el aceite (fase líquida).
- **Humedad:** Es la cantidad de agua que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire, esta variable nos indica el grado de humedad que tiene la pulpa de palta seca. Dicha variable será controlada con el secador a infrarrojo, para que tenga la humedad deseada, para luego

ser introducida al pistón de la prensa hidráulica y su posterior extracción del aceite.

2.3.2. DISEÑO FACTORIAL 2^3

En un experimento factorial se investigan simultáneamente los efectos de cierto número de diferentes factores. La necesidad de estudiar conjuntamente varios factores obedece principalmente a dos razones:

- Encontrar un modelo que describa el comportamiento general del fenómeno en estudio. Esto se restringe al rango de variación de los niveles de los factores.
- Optimizar la respuesta o variable independiente, es decir, encontrar la combinación de niveles de los factores que optimizan esa respuesta.

Los tratamientos en el análisis factorial están constituidos por todas las combinaciones que se forman de los distintos niveles de los factores. Por ello, la característica esencial que hace necesario el estudio conjunto de factores es la posibilidad de que el efecto de un factor cambie en presencia de los niveles de otro factor (presencia de interacción), es decir, que los factores interactúen, lo cual conduce al concepto de interacción entre ellos. (Oscar Melo, 2020)

El Diseño Factorial para el desarrollo del presente proyecto es 2^3 es decir de 3 factores (factores definidos en la selección de los factores del proceso tecnológico), 2 niveles y 2 repeticiones, y sobre esto se evalúa la variable respuesta.

Por lo tanto, en la tabla II-8 podemos apreciar los niveles (en notación geométrica) de los factores que van a intervenir en la variable respuesta, es necesario conocer esta notación ya que más adelante es empleada para introducir datos en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25.

Tabla II-8 Niveles y factores que intervienen (en notación geométrica)

FACTORES	NIVELES	
	Max	Min
Tiempo (h)	+1	-1
Presión (Psi)	+1	-1
Humedad (%)	+1	-1

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla II-9 podemos observar los niveles con los parámetros de estudio de los factores que van a intervenir en la variable respuesta.

Tabla II-9 Niveles y factores que intervienen

FACTORES	NIVELES	
	Max	Min
Tiempo (h)	2	1
Presión (Psi)	6000	5000
Humedad (%)	10	0,17

Fuente: Elaboración propia, 2021

El número de experiencias a realizar esta expresado por la siguiente ecuación:

$$N_{exp} = (2^3) * 2 = 16$$

En la tabla II-10 observamos los efectos de interacción entre los factores para determinar la variable respuesta.

Tabla II-10 Diseño Factorial, algoritmo de yates

N° ENSAYO	FACTORES			VARIABLE RESPUESTA
	Tiempo (h)	Presión (Psi)	Humedad (%)	Rendimiento del Aceite (%)
1	-1	-1	-1	R1
2	-1	-1	+1	R2
3	+1	-1	-1	R3
4	+1	-1	+1	R4
5	-1	+1	-1	R5
6	-1	+1	+1	R6
7	+1	+1	-1	R7
8	+1	+1	+1	R8
9	-1	-1	-1	R1
10	-1	-1	+1	R2
11	+1	-1	-1	R3
12	+1	-1	+1	R4
13	-1	+1	-1	R5
14	-1	+1	+1	R6
15	+1	+1	-1	R7
16	+1	+1	+1	R8

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE LABORATORIO UTILIZADOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

2.4.1. EQUIPOS DE LABORATORIO

Los equipos de laboratorio que se utilizaron durante la parte experimental, corresponden a los siguientes:

2.4.1.1. Balanza digital electrónica

En la figura 2-1 se muestra la balanza digital electrónica que es utilizada para el control de peso de la pulpa de palta (mesocarpio), cáscara (exocarpio), semilla o hueso y el

aceite extraído de la pulpa de palta, sus características técnicas podemos ver en el ANEXO I.



Fuente: Elaboración propia 2021

Figura 2-1 Balanza digital electrónica

2.4.1.2. Estufa de flujo convectivo

En la figura 2-2 se muestra la estufa de flujo convectivo que se empleó para la deshidratación de la pulpa de palta, lo cual cuenta con un termostato que transmite el calor de una manera uniforme en todo el equipo y un ventilador creando una circulación forzada del aire, sus características técnicas de la estufa podemos ver en el ANEXO I.



Fuente: Elaboración propia 2021

Figura 2-2 Estufa de flujo convectivo

2.4.1.3. Secador a infrarroja

En la figura 2-3 se muestra el secador a infrarrojo, lo cual se utiliza solo para contralar la humedad de pulpa de palta, cuyo equipo cuenta con un platillo de aluminio utilizado para colocar la muestra sobre este, se pesa aproximadamente 3g de la muestra para verificar su humedad, previamente calentado unos 20 minutos, sus características técnicas del secador podemos ver en el ANEXO I.



Fuente: Elaboración propia 2021
Figura 2-3 Secador a infrarroja

2.4.1.4. Prensa hidráulica

En la figura 2-4 se muestra la prensa hidráulica mecánica de operación manual cuyo equipo cuenta con un manómetro, una gata hidráulica de 10 t que es la encargada de ejercer la presión, luego tenemos el cilindro donde se coloca la pulpa de palta deshidratada para su posterior extracción de aceite, cuya extracción se realiza mediante un desplazamiento del pistón que ejerce una presión en el interior del cilindro, con la ayuda de una palanca manual, cuenta con un soporte metálico de hierro, sus características técnicas de la prensa podemos ver en el ANEXO I.



Fuente: Elaboración propia 2021
Figura 2-4 Prensa hidráulica mecánica de operación manual

2.4.2. INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

La tabla II-11 nos muestra los instrumentos de laboratorio que fueron utilizados y también su descripción de cada uno, según su rol en la parte experimental.

Tabla II-11 Instrumentos de laboratorio




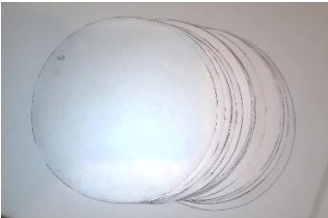

NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Termómetro		Se muestra el termómetro, lo cual este instrumento se utilizó para controlar la temperatura en el proceso de secado.
Termo - anemómetro		Este instrumento se utilizó para determinar la humedad relativa, temperatura del bulbo seco y velocidad del flujo másico que circula es en el secador de flujo convectivo.
Pistola de aire caliente de tres niveles		Se utilizó para calentar el cilindro de la prensa a 30 °C.
Termómetro digital de contacto		Se utilizó para controlar la temperatura del cilindro de la prensa hidráulica.

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4.3. MATERIALES DE LABORATORIO




En la tabla II-12 y tabla II-13 se muestran los materiales de laboratorio que se utilizaron para la parte experimental con sus respectivas descripciones, que indican su uso durante el proceso de la extracción de aceite de pulpa de palta.

Tabla II-12 Materiales de laboratorio A

NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
<p>Bolsas de polietileno de alta densidad</p>		<p>Se caracteriza por su gran rigidez y resistencia, para embolsar la pulpa de palta deshidratada hasta su extracción.</p>
<p>Kitasato</p>		<p>El Kitasato es un matraz de vidrio utilizado para sostener el aceite de palta que pasa por el embudo, cuyo cuello del Kitasato contiene un tubo lateral de vidrio, que permite su conexión con la manguera.</p>
<p>Embudo büchner</p>		<p>El embudo büchner de plástico es utilizado para la filtración al vacío, lo cual en la zona superior cilíndrica del embudo existe una placa circular que posee un conjunto de perforaciones.</p>
<p>Papel filtro</p>		<p>Es un papel utilizado como tamiz, es de forma redonda y este se introduce en un embudo, con la finalidad de filtrar el aceite extraído para eliminar los residuos sólidos e impurezas.</p>
<p>Bomba al vacío</p>		<p>La bomba al vacío es utilizada para extraer el aceite de palta del embudo que la sostiene.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla II-13 Materiales de laboratorio B

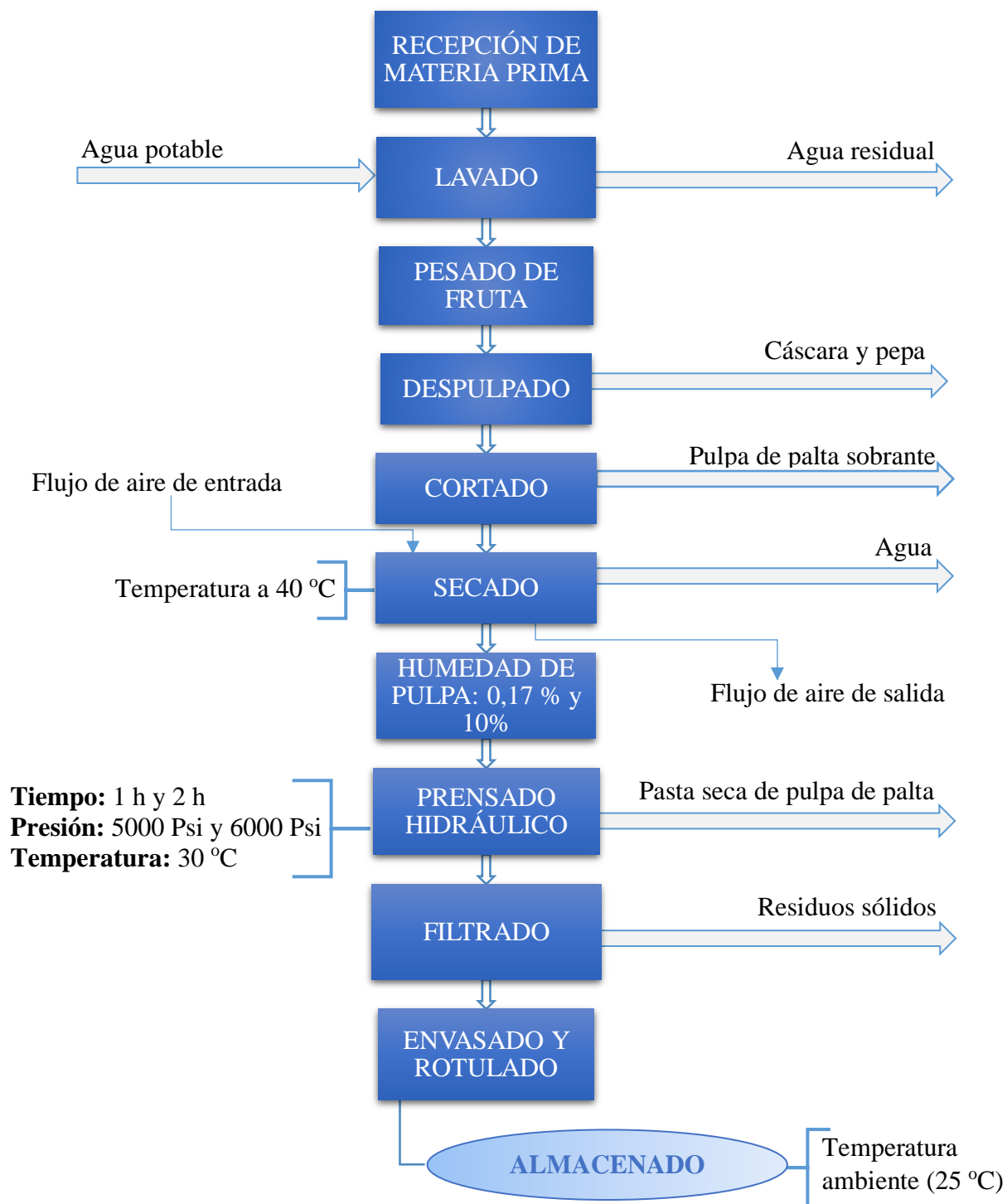
NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Papel de mantequilla		El papel de mantequilla conserva la pulpa de palta en condiciones óptimas. Su impermeabilidad le permite ser flexible y resistente a la humedad. Es antiadherente, la pulpa de palta no se queda pegada a la superficie,
Tubo de ensayo		Los tubos de ensayo son utilizados para la recolección de aceite de la prensa hidráulica y la gradilla usada como soporte de los mismos.
Frascos ámbar de 60ml		Un frasco de vidrio ámbar es una botella fuerte y pesada utilizada comúnmente en la industria farmacéutica y química. Está hecha de vidrio ámbar para filtrar la luz ultravioleta, es utilizada para conservar las muestras de aceites de pulpa de paltas obtenidas.

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

La extracción experimental de aceite virgen de pulpa de palta se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJM), por lo que más adelante se describe el proceso tecnológico experimental de obtención de aceite virgen de pulpa de palta.

En la figura 2-5 podemos observar el diagrama de bloques de extracción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*).

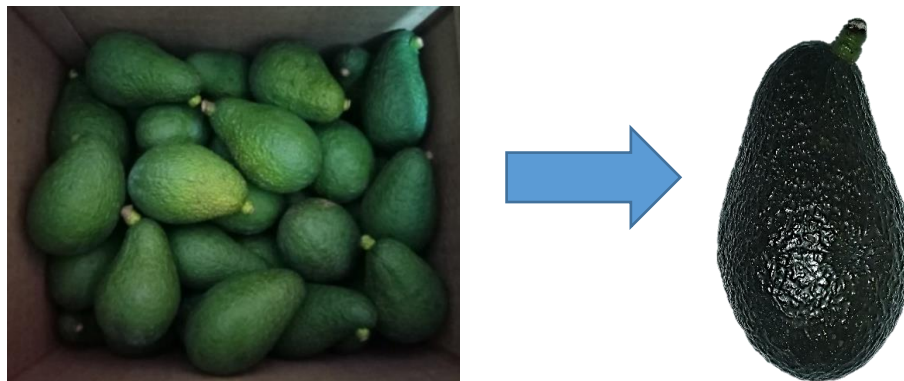


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-5 Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite de la pulpa de la palta

2.5.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA

Se tomó las paltas (*Persea americana mill Hass*) de la localidad de San Telmo - Cercado y luego se recepcionó a temperatura por debajo de 25 °C y sin efecto de luz. En la figura 2-6 podemos observar las paltas (*Persea americana mill Hass*) en estado sin madurar verdes y estado maduro negras. (Ver ANEXO J).



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-6 Paltas (*Persea americana mill Hass*) de la localidad de San Telmo – Cercado

2.5.2. LAVADO

Una vez tomada la muestra, se procedió a lavar en forma manual con agua potable, luego se dejó reposar por 10 min con la misma, para su posterior eliminación de residuos sólidos como por ejemplo polvo. En la figura 2-7 observamos el lavado manual de las paltas (*Persea americana mill Hass*).



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-7 Lavado de las paltas (*Persea americana mill Hass*) con agua potable

2.5.3. PESADO DE FRUTA

Posteriormente se procede a pesar la palta, para conocer cuántas paltas son necesarias para la extracción de aceite, además para determinar el peso inicial. En la figura 2-8 podemos observar el pesado de las paltas (*Persea americana mill Hass*).

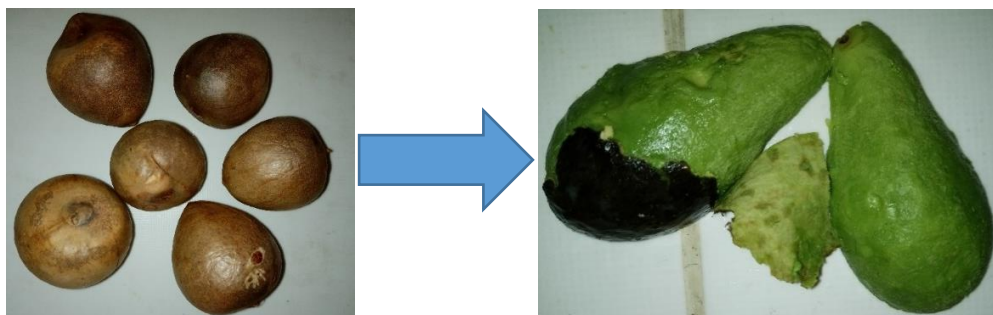


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-8 Pesado de las paltas (*Persea americana mill Hass*)

2.5.4. DESPULPADO

Se realizó el despulpado de las paltas con un corte del pericarpio, posteriormente se peló y se separó las pepas de las paltas, hasta que solo quedó la pulpa (mesocarpio). Dicho proceso se observa en la figura 2-9.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-9 Pelado y deshuesado de las paltas (*Persea americana mill Hass*)

2.5.5. CORTADO

Luego se cortó la pulpa de palta en rodajas con un espesor aproximado de 3 mm para una mejor deshidratación homogénea. En la figura 2-10 se observa las rodajas de la pulpa de palta.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-10 Cortado en rodajas de la pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*)

2.5.6. SECADO

Una vez cortada la pulpa de palta en rodajas se coloca en las bandejas previamente colocado el papel de mantequilla de horno para evitar que estas se peguen, luego estas son introducidas a la estufa de flujo convectivo a temperado de 40 °C, por un determinado periodo de 22 horas hasta alcanzar un contenido de humedad de 0,17% y 18 horas con 30 min para alcanzar un contenido de humedad del 10% para la extracción de aceite. Ahora, según (López, 2018), sostiene que: “Por encima de 40 °C en la estufa de flujo convectivo para deshidratar la pulpa de palta no es muy aconsejable ya que son propensas a generar malos olores y sabores”. Dicho proceso podemos observar en la figura 2-11.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-11 Rebanadas de pulpa de paltas introducidas a la estufa de flujo convectivo

Concluido el periodo de deshidratación de la pulpa de palta, podemos observar en la figura 2-12 las pulpas de palta deshidratadas.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-12 Pulpa de paltas deshidratadas

2.5.7. HUMEDAD DE LA PULPA DE PALTA

En esta etapa se controló la humedad de las pulpas de paltas deshidratadas obtenidas en el anterior proceso, dicho control se realizó en el secador a infrarrojo, tomando una muestra representativa del lote de aproximadamente 3 g. En la figura 2-13 y la figura 2-14 se muestra los resultados de humedad de la pulpa de palta deshidratada.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-13 Control de humedad de la pulpa de palta en el secador a infrarrojo al 0,19%

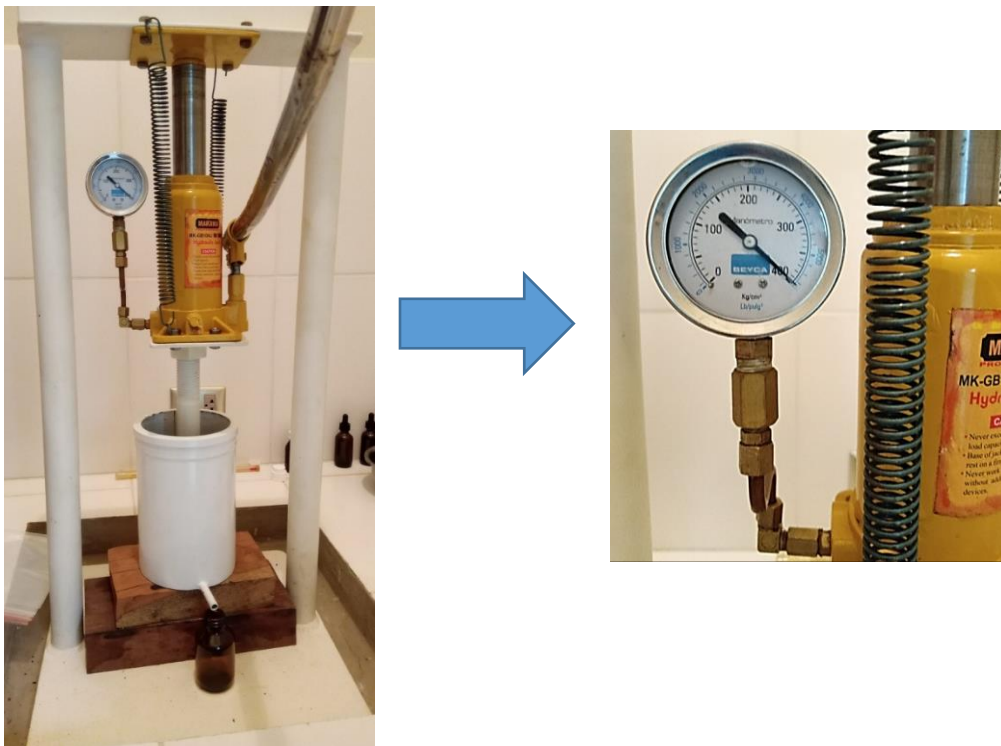


Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-14 Control de humedad de la pulpa de palta en el secador a infrarrojo al 10,07%

2.5.8. PRENSADO HIDRÁULICO

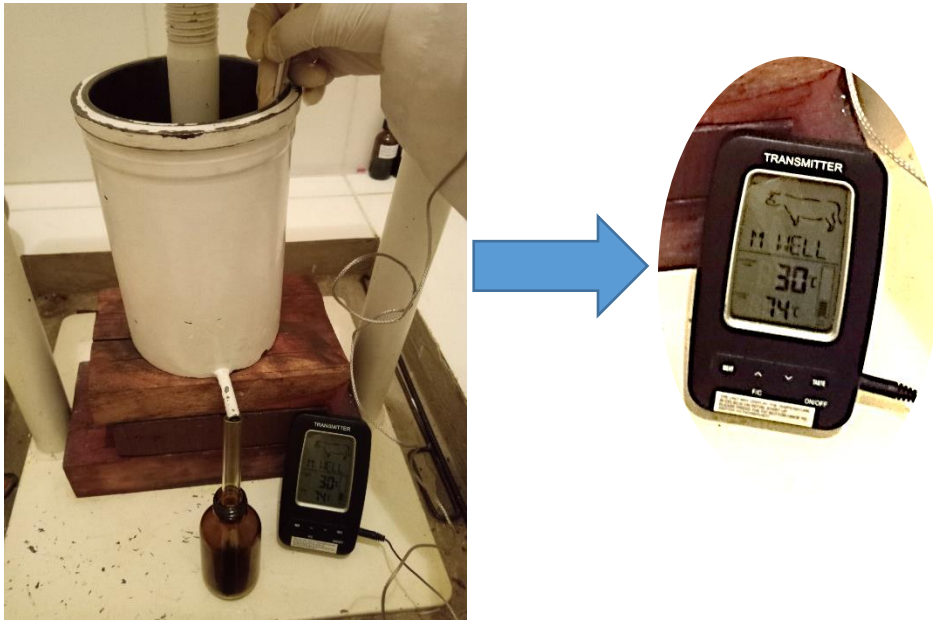
Se procedió a extraer el aceite de pulpa de palta, lo cual se introdujo aproximadamente de 70 g de pulpa de palta deshidratada al 0% en el cilindro. Posteriormente se somete a una presión con la ayuda de una palanca manual, hasta alcanzar la presión de 5000 Psi y se realizó también para 6000 Psi de acuerdo al Diseño Factorial establecido, una vez realizado esto el cilindro es sometido al calor externo por medio de una pistola de aire caliente hasta que la temperatura interna se encuentra a 30 °C, lo cual es controlada por un termómetro de contacto, este calentado se realiza por un periodo de un minuto por cada 20 minutos hasta concluir el prensado de una hora y se repite para 2 horas, cabe mencionar que este procedimiento se repite para la pulpa de palta deshidratada al 10%. Dicho proceso se observa en la figura 2-15.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-15 Prensado de la pulpa de palta en la prensa hidráulica para extracción de aceite

Se puede observar en la figura 2-16 el control de temperatura del cilindro.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 2-16 Control de temperatura del cilindro

2.5.9. FILTRADO

Se monta el equipo de filtración usando un embudo Buhner colocando debidamente el papel filtro, luego se lo adjunta al Kitasato con la ayuda de un tapón, posteriormente se le conecta una manguera que conecte a la bomba, una vez montado el equipo de filtración al vacío se procede a verter el aceite - residuos, de esta manera se procede a separar los residuos sólidos del aceite. Dicho proceso se observa en la figura 2-17.



Fuente: Elaboración propia, 2022
Figura 2-17 Filtración al vacío el aceite extraído de la pulpa de palta

2.5.10. ENVASADO Y ROTULADO

El aceite virgen de pulpa de palta se envasa en francos ámbar de 60 ml para evitar el deterioro por efecto de luz y se rotula para su identificación. Dicho proceso se observa en la figura 2-18.



Fuente: Elaboración propia, 2022
Figura 2-18 Envasado y rotulado el producto final (aceite virgen de pulpa de palta)

2.6. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

En la tabla II-14 y tabla II-15 se muestra los análisis fisicoquímicos que se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) del aceite virgen de pulpa de palta extraído durante la parte experimental. Ver ANEXO D.

Los límites permisibles y referencia son tomados de la tabla I-5.

Tabla II-14 Análisis fisicoquímicos del producto final (aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta deshidratada al 0,17%

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES Y REFERENCIA
Acidez (como ácido oleico)	%	0,20	< 1,5% NTC 258: 2011
Densidad relativa (20 °C)	%	0,9169	0,910% -0,916% CODEX STAN 33-1981
Humedad	%	0,17	< 0,2% CODEX STAN 33-1981
Índice de peróxido	meqO ₂ /Kg	1,85	<15 MeqO ₂ /Kg de aceite CODEX-STAN-210-1999. (ISO 3961: 1998.)
Índice de refracción (20 °C)	-	1,4970	1,472 -1,475 CODEX STAN-2016

Fuente: Datos y referencia: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2022 y CODEX STAN – NTC

En la tabla II-13 podemos observar que la acidez (como ácido oleico) está por debajo del 1,5 % por lo tanto cumple, la densidad relativa (20 °C) está por arriba de 0,916% no cumple con lo establecido pero no está lejos del rango, la humedad se encuentra debajo de lo establecido por lo que cumple y se espera un larga vida almacenada, el índice peróxido también está por debajo de lo establecido cumpliendo la norma, es más el aceite tiene una buena estabilidad, por ultimo tenemos el índice de refracción (20 °C) lo cual está por encima del rango establecido, con una diferencia de 0,025.

Tabla II-15 Análisis fisicoquímicos del producto final (aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta deshidratada al 10%

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES Y REFERENCIA
Acidez (como ácido oleico)	%	0,19	< 1,5% NTC 258: 2011
Densidad relativa (20 °C)	%	0,9157	0,910% -0,916% CODEX STAN 33-1981
Humedad	%	0,23	< 0,2% CODEX STAN 33-1981
Índice de peróxido	meqO ₂ /Kg	2,32	<15 MeqO ₂ /Kg de aceite CODEX-STAN-210-1999. (ISO 3961: 1998.)
Índice de refracción (20 °C)	-	1,4697	1,472 -1,475 CODEX STAN-2016

Fuente: Datos y referencia: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2022 y CODEX STAN – NTC

En la tabla II-14 a diferencia de la tabla II-15 se extrajo aceite a partir de pulpa de palta deshidrata al 10%, lo cual observamos que la acidez (como ac. oleico) está por debajo del 1,5 % por lo tanto cumple, la densidad relativa (20 °C) está dentro del rango lo cual cumple con lo establecido, la humedad se encuentra por encima de lo establecido con 0,03% por lo que no cumple pero no está lejos de lo establecido, el índice peróxido también está por debajo de lo establecido cumpliendo la norma, es más el aceite tiene una buena estabilidad, por ultimo tenemos el índice de refracción (20 °C) lo cual está por debajo del rango establecido con una variación de 0,0023.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DE LA MATERIA PRIMA (PALTA HASS)

Para determinar las características fisicoquímicas de la materia prima, se usó unas paltas Hass representativas y se llevó a cabo en el Laboratorio del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.1.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA PALTA HASS

En la tabla III-1 se observa la comparación de resultados de pulpa de palta Hass de los de CEANID y datos bibliográficos.

Tabla III-1 Comparación de análisis fisicoquímicos de la materia prima (palta Hass) específicamente de la pulpa de palta (mesocarpio)

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	DATOS BIBLIOGRÁFICOS
Grasa	%	14,15	20,60
Humedad	%	75,72	74,60
Proteína total	%	2,42	1,80
Fibra	%	4,12	1,40
Hidratos de carbono	%	2,12	2,9 - 12,2
Ceniza	%	1,40	1,20

Fuente: Datos: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2022 – Gutarra, 2018 - Valenzuela, 1986 y Human, 1987.

Podemos observar en la tabla III-1 que la grasa de los Datos Bibliográficos es mayor, sin embargo, la humedad es menor, por lo que cabe mencionar que, a menor humedad, mayor será la materia grasa. También podemos observar que tiene una buena cantidad de proteína y fibra, pero un bajo contenido de hidratos de carbono.

3.2. CURVAS DE SECADO PARA DE LA PULPA DE PALTA (*Persea americana mill Hass*)

Para la deshidratación de pulpa de palta se realizó pruebas preliminares para determinar el tiempo de deshidratación de la pulpa de palta dentro de la estufa de flujo convectivo,

cuya pulpa de palta debía alcanzar un contenido de humedad del 0,17% y 10% aproximadamente. El control de humedad de la pulpa de palta se realizó después de las 6 h deshidratada en la estufa de flujo convectivo, con un intervalo de cada 20 min, lo cual dicho control de humedad de la pulpa de palta se realizó en el secador a infrarrojo tomando una muestra representativa del lote de pulpa de palta, como resultado de la prueba preliminar se concluyó que para una humedad del 0,17% se necesita 22 h de secado y para una humedad del 10 % se necesita 18 h con 30 min de secado. En la siguiente tabla III-2 se observa la humedad inicial, final y extraída de la pulpa de palta, para cada ensayo.

Tabla III-2 Determinación de la humedad inicial, final y extraída de la pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*)

Nº de ensayo	Peso de pulpa húmeda (g)	Humedad inicial (%)	Peso de pulpa deshidratada (g)	Humedad final (%)	Humedad extraída (%)
1	279,787	75,010	70,051	0,190	74,820
2	234,821	72,560	71,675	10,100	62,460
3	271,454	74,010	70,657	0,500	73,860
4	241,547	73,930	70,023	10,070	63,860
5	282,087	74,870	71,045	0,220	74,650
6	242,191	72,890	72,896	9,930	62,960
7	264,532	73,980	69,004	0,250	73,730
8	254,337	75,120	70,560	10,320	64,800
9	278,064	75,230	69,333	0,660	74,570
10	247,985	73,670	72,678	10,160	63,510
11	262,286	72,980	70,990	0,170	72,810
12	249,263	74,560	70,543	10,110	64,450
13	280,304	74,370	71,893	0,700	74,300
14	235,465	72,950	70,872	10,130	62,820
15	252,985	72,890	68,965	0,550	72,340
16	241,220	73,780	70,456	10,230	63,550

Fuente: Elaboración propia, 2022

Donde la Humedad extraída (%) se determina a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad extraída} = \% \text{ Humedad inicial} - \% \text{ Humedad final} \quad \text{Ecuación III-1}$$

Para la construcción de la curva de humedad, se somete 3g de muestra representativa en el secador infrarrojo, lo cual en la tabla III-3 se registra los porcentajes de humedad de pulpa de palta en la curva de secado para un intervalo de 4 min, con una humedad inicial de 73,98% hasta alcanzar una humedad final de 0,55%.

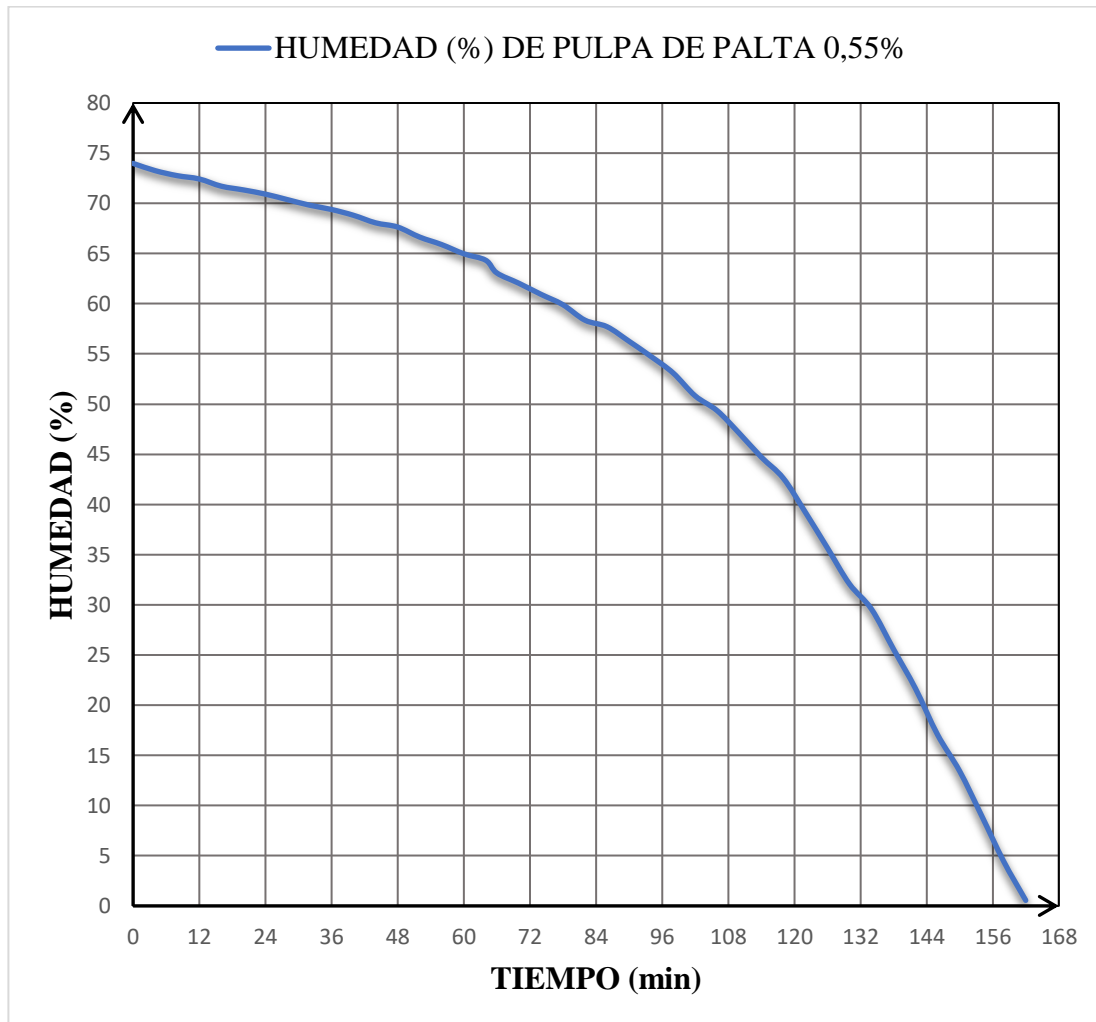
Tabla III-3 Determinación de la curva de secado de pulpa de palta Hass por el secador infrarrojo a 0,55%
CURVA DE SECADO DE PULPA DE PALTA HASS PARA UN CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL DE 73,98% A UN CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL DE 0,55%

TIEMPO (min)	HUMEDAD (%)	TIEMPO (min)	HUMEDAD (%)
0	73,98	82	58,36
4	73,26	86	57,71
8	72,76	90	56,26
12	72,43	94	54,74
16	71,71	98	53,10
20	71,34	102	50,82
24	70,92	106	49,34
28	70,37	110	47,10
32	69,82	114	44,72
36	69,39	118	42,61
40	68,81	122	39,22
44	68,06	126	35,67
48	67,64	130	32,08
52	66,64	134	29,57
56	65,89	138	25,58
60	64,98	142	21,64
64	64,33	146	17,05
66	63,07	150	13,43
70	62,04	154	8,98
74	60,94	158	4,43
78	59,90	162	0,55

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-1 podemos observar el contenido de humedad de la pulpa de palta a través del tiempo en la curva de secado, lo cual a partir de los primeros 48 min hay una disminución del 6,34% de contenido de humedad, considerando a una velocidad constante ya que ese periodo de secado tiene forma lineal, pero a partir del tramo de tiempo entre 48 min y 96 min, es decir el doble de tiempo al anterior hay una

disminución de contenido de humedad del 13,64% considerando que la velocidad no es constante y a partir del tramo de tiempo entre 96 min y 162 min disminuye un contenido de humedad de 53,45% min, concluyendo que la pulpa de palta perdió un contenido de humedad del 73,43%.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-1 Gráfica de la curva de secado de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) por el secador infrarrojo hasta alcanzar 0,55%

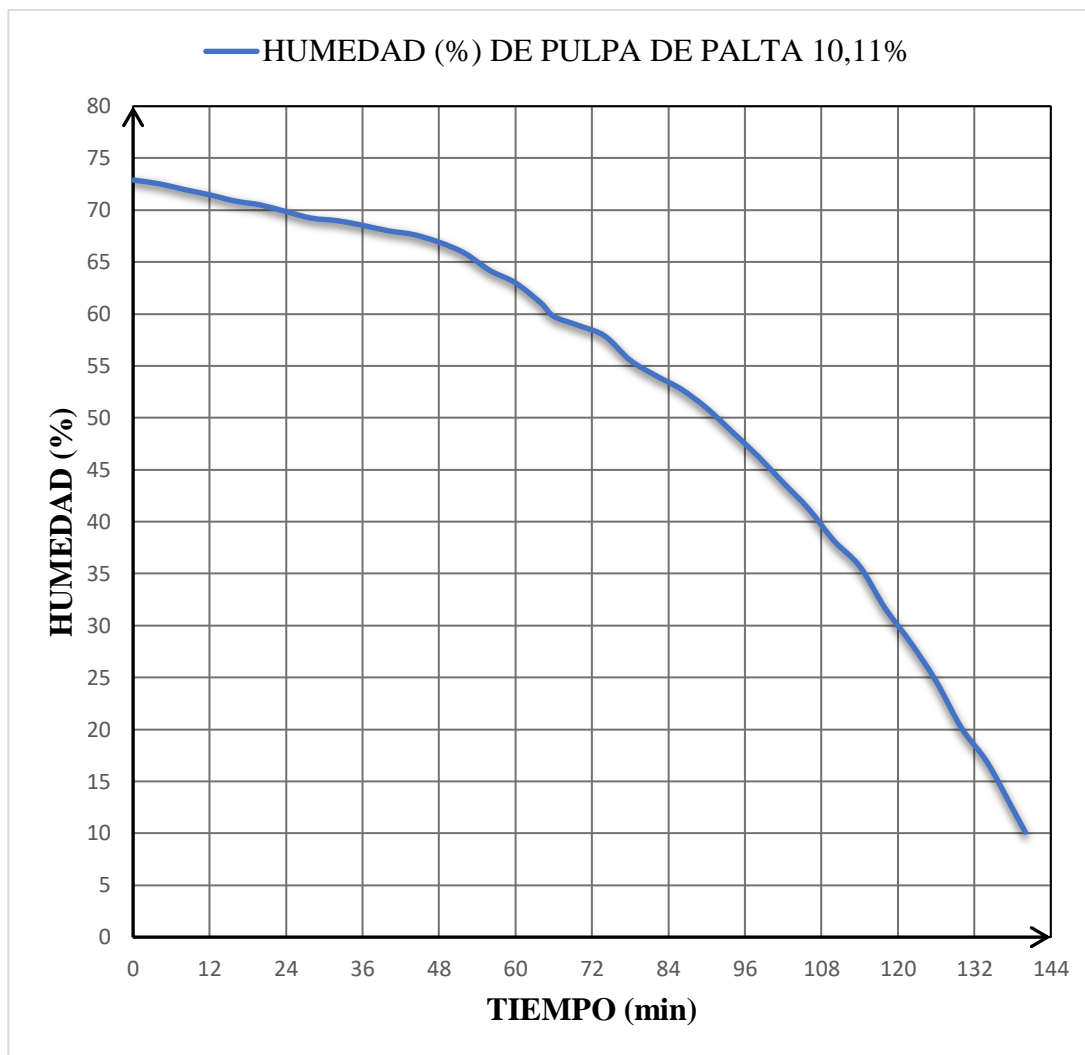
En la tabla III-4 también se muestra los datos registrados de la curva de secado para un intervalo de 4 min, con una humedad inicial de 72,89% hasta alcanzar una humedad final del 10,11%.

Tabla III-4 Determinación de la curva de secado de pulpa de palta Hass por el secador infrarrojo a 10,11%
CURVA DE SECADO DE PULPA DE PALTA HASS PARA UN CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL DE 72,89% A UN CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL DE 10,11%

TIEMPO (min)	HUMEDAD (%)	TIEMPO (min)	HUMEDAD (%)
0	72,89	74	57,88
4	72,54	78	55,54
8	71,98	82	54,07
12	71,47	86	52,76
16	70,87	90	50,93
20	70,49	94	48,65
24	69,85	98	46,33
28	69,22	102	43,76
32	68,98	106	41,23
36	68,53	110	38,14
40	68,01	114	35,71
44	67,64	118	31,67
48	66,91	122	28,36
52	65,86	126	24,64
56	64,18	130	20,12
60	62,99	134	16,85
64	61,05	138	12,37
66	59,77	140	10,11
70	58,87	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-2 podemos observar el contenido de humedad de la pulpa de palta a través del tiempo en la curva de secado, lo cual a partir de los primeros 48 min hay una disminución del 5,98% de contenido de humedad, considerando a una velocidad constante ya que ese periodo de secado tiene aproximadamente una forma lineal, pero a partir de los tramos de tiempo entre 48 min y 96 min, es decir el doble de tiempo al anterior hay una disminución de contenido de humedad del 17,91%, pero los tramos de tiempo entre 62 min - 54 min, 66 min - 74 min y 80 min - 85 min la velocidad se considera constante y a partir del tramo de tiempo entre 96 min y 162 min disminuye un contenido de humedad de 38,89%, concluyendo que la pulpa de palta perdió un contenido de humedad del 62,78%.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-2 Gráfica de la curva de secado de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) por el secador infrarrojo hasta alcanzar 10%

3.3. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA (*Persea americana mill Hass*) PARA CADA ENSAYO

Tabla III-5 Determinación del porcentaje del aceite de pulpa de palta a partir de pulpa de palta seca

Nº de ensayo	Peso de pulpa húmeda (g)	Peso de pulpa deshidratada (g)	Peso del aceite (g)	Peso del papel filtro (g)	Peso del papel filtro (g) + Peso de las impurezas (g)	Peso de las impurezas (g)	Aceite en peso seco extraído por la prensa (%)
1	279,787	70,051	15,427	0,717	1,826	1,109	22,023
2	234,821	71,675	13,248	0,747	2,013	1,266	18,483
3	271,454	70,657	18,070	0,797	1,934	1,137	25,574
4	241,547	70,023	17,876	0,758	2,065	1,307	25,529
5	282,087	71,045	16,045	0,774	1,234	0,460	22,584
6	242,191	72,896	15,752	0,776	1,176	0,400	21,609
7	264,532	69,004	20,436	0,778	1,348	0,570	29,616
8	254,337	70,560	18,953	0,758	2,404	1,646	26,861
9	278,064	69,333	14,174	0,806	2,310	1,504	20,443
10	247,985	72,678	11,277	0,805	1,376	0,571	15,516
11	262,286	70,990	18,132	0,817	1,589	0,772	25,542
12	249,263	70,543	16,142	0,804	1,325	0,521	22,882
13	280,304	71,893	15,758	0,828	1,936	1,108	21,919
14	235,465	70,872	14,865	0,732	1,481	0,749	20,974
15	252,985	68,965	19,034	0,783	2,728	1,945	27,600
16	241,220	70,456	18,543	0,771	1,136	0,365	26,319

Fuente: Elaboración propia, 2022

Donde el Aceite en peso seco extraído por la prensa (%) se determina a través de la siguiente ecuación que fue mencionada por (Montaño, 2021):

$$\% \text{ Aceite (PSEP)} = \frac{\text{Peso del Aceite}}{\text{Peso de pulpa deshidratada}} * 100\% \quad \text{Ecuación III-2}$$

Donde:

% Aceite (PSEP) = % Aceite en peso seco extraído por la prensa

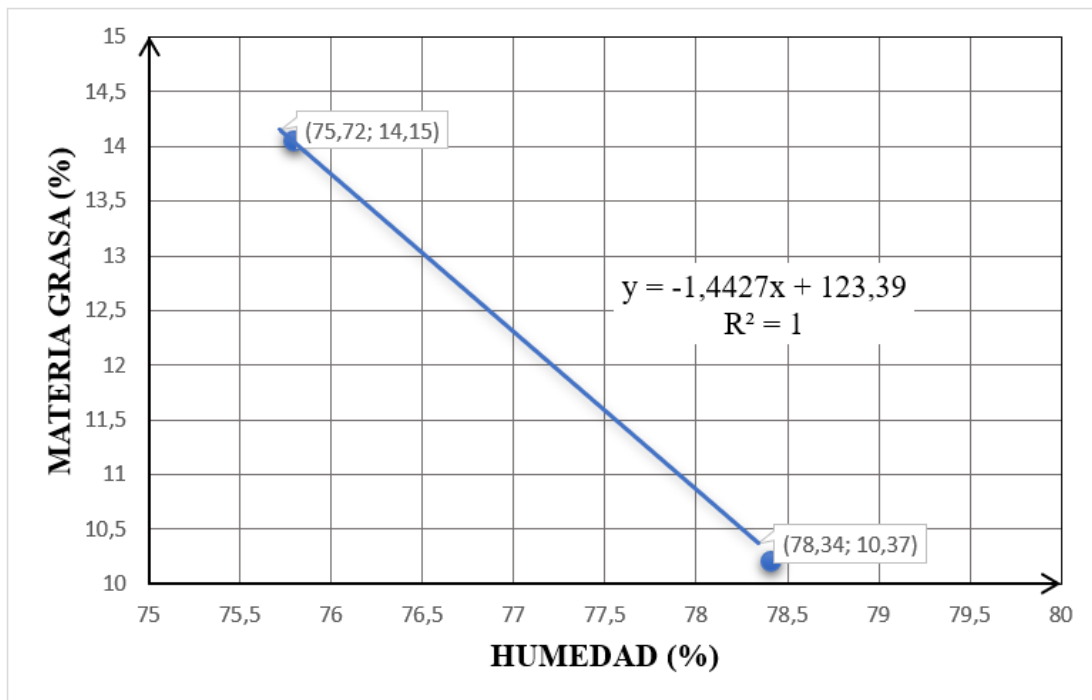
Para la determinación del rendimiento del aceite virgen de pulpa de palta, se realizó la determinación de porcentaje de materia grasa y humedad en CEANID, para 2 niveles de madurez de palta al cosecharlas, donde el nivel 1 corresponde que la palta fue cosechada a los 8 meses y el nivel 2 a la palta que fue cosechada a los 9 meses. Cabe mencionar que el resultado del análisis de la materia grasa determina tanto los ácidos grasos saturados como los ácidos grasos insaturados, es decir, la totalidad de los ácidos grasos. Si bien la grasa se caracteriza por mayor cantidad de ácidos grasos saturados, el aceite se caracteriza por poseer mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, sin embargo, los aceites también poseen una menor cantidad de ácidos grasos saturados y la grasa también posee una menor cantidad de ácidos grasos insaturados, por lo que el porcentaje de materia grasa representa el porcentaje total del aceite que contiene la pulpa de palta. Se puede apreciar en la tabla III-6.

Tabla III-6 Porcentaje de aceite total y humedad de la pulpa de palta para los dos niveles de maduración

NIVELES DE MADURACIÓN DE LA PALTA AL COSECHARLAS	ACEITE TOTAL DE PULPA DE PALTA (%)	HUMEDAD (%)
1	10,37	78,34
2	14,15	75,72

Fuente: Elaboración propia, 2022

En los ensayos que se realizó se conoce la humedad de la pulpa de palta mediante el secador a infrarrojo, pero se desconoce el porcentaje de aceite total de la palta, para ello se gráfica una recta con esos dos puntos, con el fin de determinar una ecuación que relacione el porcentaje de aceite total y humedad. En la figura III-3 se aprecia la gráfica.



Fuente: Elaboración propia 2022

Figura 3-3 Gráfica del porcentaje de aceite de palta total en función de porcentaje de humedad

Cuya ecuación para la determinación del porcentaje de aceite total de palta, está dada por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Aceite total de pulpa de palta} = -1,4427 * \text{Humedad inicial} + 123,39$$

Ecuación III-3

Luego de haber determinado el Aceite total se procede a calcular el Aceite en peso seco total, para ello se usa la siguiente ecuación que fue mencionada por (Montaño, 2021):

$$\% \text{ Aceite en peso seco total} = \frac{\% \text{ Aceite total de pulpa de palta}}{\text{Factor de humedad}}$$

Ecuación III-4

Para determinar el Factor Humedad se usa la siguiente ecuación, cuya ecuación fue mencionada por (Montaño, 2021):

$$\text{Factor Humedad} = \frac{100 - \% \text{ Humedad inicial}}{100}$$

Ecuación III-5

Después se determinó el Aceite residual en peso seco, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Aceite residual en peso seco} = \% \text{ Aceite en peso seco total} - \% \text{ Aceite (PSEP)}$$

Ecuación III-6

Donde:

$$\% \text{ Aceite (PSEP)} = \% \text{ Aceite en peso seco extraído por la prensa}$$

Posteriormente, para la determinación del Rendimiento del proceso, cuya ecuación fue mencionada por (Montaño, 2021):

$$\% \text{ Rendimiento del aceite} = \frac{\% \text{ Aceite (PSEP)}}{\% \text{ Aceite en peso seco total}} * 100 \%$$

Ecuación III-7

Tabla III-7 Determinación del Rendimiento del proceso para la extracción de aceite virgen de pulpa de palta

	Nº de ensayo	Humedad inicial (%)	Aceite total de pulpa de palta (%)	Factor Humedad	Aceite en peso seco total (%)	Aceite en peso seco extraído por la prensa (%)	Aceite residual en peso seco (%)	Rendimiento (%)
RÉPLICA I	1	75,010	15,173	0,250	60,717	22,023	38,694	36,271
	2	72,560	18,708	0,274	68,177	18,483	49,693	27,111
	3	74,010	16,616	0,260	63,931	25,574	38,357	40,003
	4	73,930	16,731	0,261	64,178	25,529	38,649	39,778
	5	74,870	15,375	0,251	61,182	22,584	38,598	36,913
	6	72,890	18,232	0,271	67,250	21,609	45,642	32,132
	7	73,980	16,659	0,260	64,024	29,616	34,408	46,257
	8	75,120	15,014	0,249	60,347	26,861	33,486	44,511
RÉPLICA II	9	75,230	14,856	0,248	59,974	20,443	39,531	34,087
	10	73,670	17,106	0,263	64,969	15,516	49,452	23,883
	11	72,980	18,102	0,270	66,994	25,542	41,452	38,125
	12	74,560	15,822	0,254	62,195	22,882	39,312	36,792
	13	74,370	16,096	0,256	62,803	21,919	40,884	34,901
	14	72,950	18,145	0,271	67,080	20,974	46,105	31,268
	15	72,890	18,232	0,271	67,250	27,600	39,651	41,040
	16	73,780	16,948	0,262	64,636	26,319	38,318	40,718

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla III-7 podemos observar que el mejor rendimiento para los 16 ensayos es el ensayo número 7 con un rendimiento de 46,267% y el rendimiento más bajo obtenido es del ensayo número 10 con un rendimiento de 23,883%, para la primera réplica es decir los primeros 8 ensayos tenemos un rendimiento promedio de 37,872%, posteriormente para la segunda réplica tenemos un rendimiento promedio de 35,102% y el rendimiento promedio total de ambas replicas tenemos un rendimiento de 36,487%.

3.4. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

El balance de materia es fundamental para el presente proyecto, para una mejor comprensión de los flujos másicos en cada etapa de la extracción de aceite virgen de pulpa de palta mediante presión hidráulica. Cabe mencionar que el balance se realizó para el N° de ensayo 7 cuyo porcentaje de aceite es el más alto, pero para un flujo másico inicial de 901, 9060 g de palta, con las siguientes condiciones:

- Tiempo de secado: 22 h
- Temperatura de secado: 40 °C
- Humedad de pulpa de palta deshidratada: 0,25 %
- Temperatura de extracción: 30 °C
- Tiempo de extracción: 2 h
- Presión de extracción: 6000 Psi

En la tabla III-8 podemos apreciar las descripciones de los flujos másicos para el balance de materia de extracción de aceite virgen de pulpa de palta.

Tabla III-8 Descripción de los flujos másicos proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE FLUJOS
F₁	g	Peso de la palta
F_{AGUA POTABLE}	g	Peso de agua de entrada para el lavado de paltas
F_{AGUA RESIDUAL}	g	Peso de agua residual después de lavado de paltas
F₂	g	Peso de la palta lavadas
F₃	g	Peso de la pepa de palta
F₄	g	Peso de la cáscara de palta
F₅	g	Peso de la pulpa de palta
F₆	g	Peso de las sobras de la pulpa de palta
F₇	g	Peso de la pulpa de palta cortada en rodajas
F_{AIRE ENTRADA}	g	Flujo del aire de entrada de la estufa de flujo convectivo
F_{AIRE SALIDA}	g	Flujo del aire de salida de la estufa de flujo convectivo
F₈	g	Peso de pulpa de palta deshidratada
F₉	g	Peso de la borra + aceite residual
F_{PÉRDIDAS}	g	Peso de pérdidas en la presa hidráulica
F₁₀	g	Peso del aceite virgen de pulpa de palta + residuos sólidos de la pulpa de palta deshidratada
F₁₁	g	Peso de los residuos sólidos de pulpa de palta deshidratada
F₁₂	g	Peso del Aceite virgen de pulpa de palta

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla III-9, tabla III-10, tabla III-11, tabla III-12, tabla III-13 y tabla III-14 podemos apreciar las descripciones de las fracciones para cada etapa del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta.

Tabla III-9 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de lavado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

DESCRIPCIÓN DE FRACCIONES	
X^P_1	Fracción de la palta de entrada en F_1
X^A_1	Fracción de agua de potable en F_1
$X^{P_{AP}}$	Fracción de la palta de entrada en F_{AP}
$X^{A_{AP}}$	Fracción de agua potable en F_{AP}
$X^{P_{AR}}$	Fracción de la palta de entrada en F_{AR}
$X^{A_{AR}}$	Fracción de agua residual en F_{AR}
X^P_2	Fracción de la palta de salida en F_2
X^A_2	Fracción de agua de residual en F_2

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-10 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de despulpado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

DESCRIPCIÓN DE FRACCIONES	
X^{PP}_2	Fracción de la pulpa de palta en F_2
X^{PEP}_2	Fracción de la pepa de palta en F_2
X^{CP}_2	Fracción de la cáscara de palta en F_2
X^{PP}_3	Fracción de la pulpa de palta en F_3
X^{PEP}_3	Fracción de la pepa de palta en F_3
X^{CP}_3	Fracción de la cáscara de palta en F_3
X^{PP}_4	Fracción de la pulpa de palta en F_4
X^{PEP}_4	Fracción de la pepa de palta en F_4
X^{CP}_4	Fracción de la cáscara de palta en F_4
X^{PP}_5	Fracción de la pulpa de palta en F_5
X^{PEP}_5	Fracción de la pepa de palta en F_5
X^{CP}_5	Fracción de la cáscara de palta en F_5

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-11 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de cortado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

DESCRIPCIÓN DE FRACCIONES	
X^{PP}_5	Fracción de la pulpa de palta en F_5
X^{SPP}_5	Fracción de las sobras de pulpa de palta en F_5
X^{PP}_6	Fracción de la pulpa de palta en F_6
X^{SPP}_6	Fracción de las sobras de pulpa de palta en F_6
X^{PP}_7	Fracción de la pulpa de palta en F_7
X^{SPP}_7	Fracción de las sobras de pulpa de palta en F_7

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-12 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de secado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

DESCRIPCIÓN DE FRACCIONES	
X^A_7	Fracción de agua en F_7
X^{PPD}_7	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_7
X^A_8	Fracción de agua en F_8
X^{PPD}_8	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_8

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-13 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de prensado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

DESCRIPCIÓN DE FRACCIONES	
X^{PPD}_8	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_8
X^A_8	Fracción de agua en F_8
X^{ACEITE}_8	Fracción del aceite en F_8
X^{PPD}_9	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_9
X^A_9	Fracción de agua en F_9
X^{ACEITE}_9	Fracción del aceite en F_9
X^{PPD}_P	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_P
X^A_P	Fracción de agua en F_P
X^{ACEITE}_P	Fracción del aceite en F_P
X^{PPD}_{10}	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_{10}
X^A_{10}	Fracción de agua en F_{10}
X^{ACEITE}_{10}	Fracción del aceite en F_{10}

Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-14 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de cortado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

DESCRIPCIÓN DE FRACCIONES	
X^{ACEITE}_{10}	Fracción del aceite en F_{10}
X^{PPD}_{10}	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_{10}
X^{ACEITE}_{11}	Fracción del aceite en F_{11}
X^{PPD}_{11}	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_{11}
X^{ACEITE}_{12}	Fracción del aceite en F_{12}
X^{PPD}_{12}	Fracción de la pulpa de palta deshidratada en F_{12}

Fuente: Elaboración propia, 2022

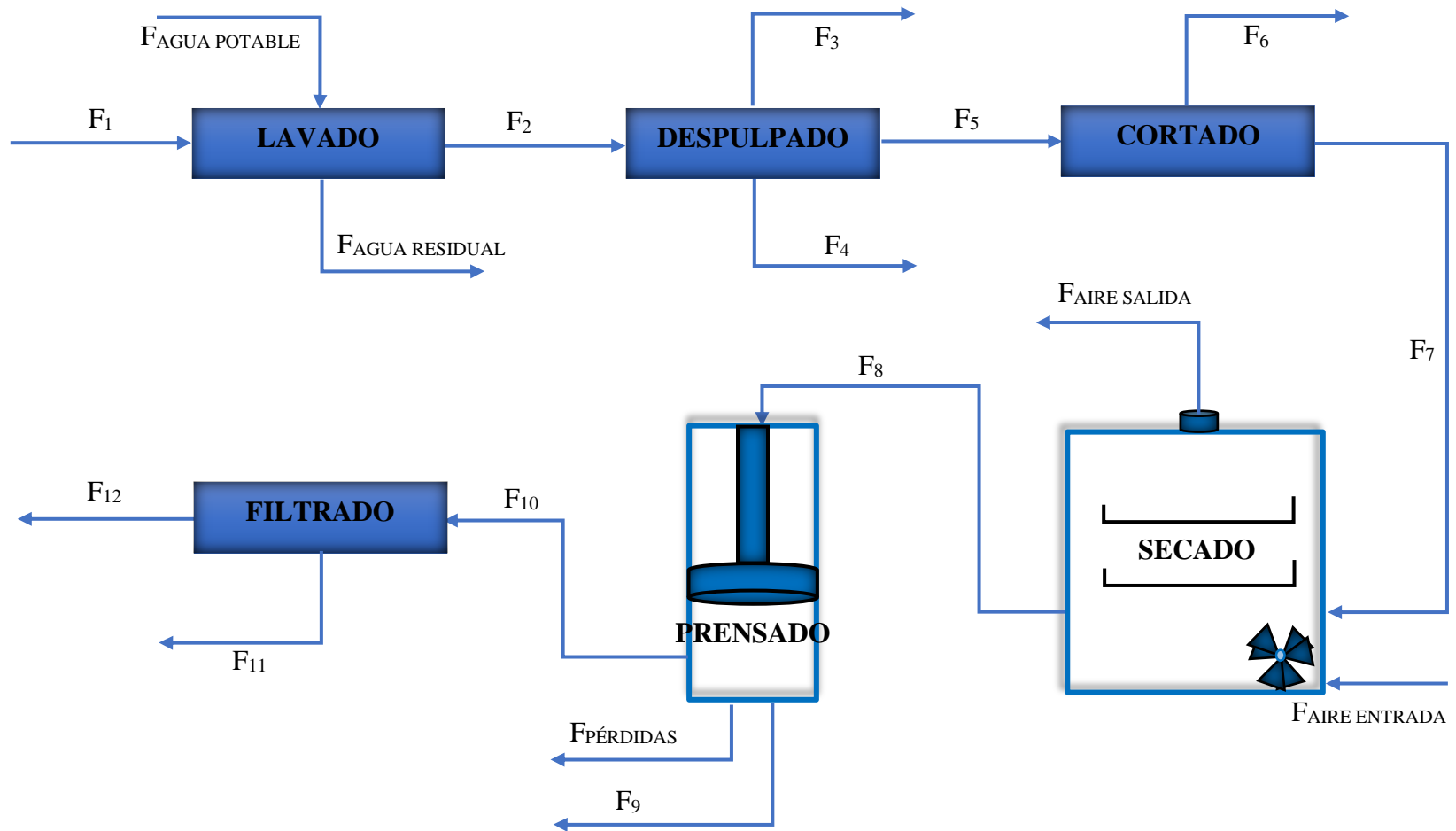
En la tabla III-15 podemos apreciar las descripciones de otras variables que son usadas en el balance de materia de extracción de aceite virgen de pulpa de palta.

Tabla III-15 Descripción otros valores del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE OTROS
V_{FA}	m/h	Velocidad del flujo de aire
Y_{AE}^R	%	Humedad relativa de entrada del aire de entrada
Y_{AS}^R	%	Humedad relativa de salida del aire de entrada
Y_{AE}	g de agua/kg aire seco	Humedad de entrada del aire de entrada
Y_{AS}	g de agua/kg aire seco	Humedad de salida del aire de entrada
T_7	°C	Temperatura inicial de pulpa de palta
T_8	°C	Temperatura final de pulpa de palta
T_{AE}	°C	Temperatura externa inicial del flujo de aire de entrada
T_{AS}	°C	Temperatura externa final del flujo de aire de salida
W_{PP_7}	kg agua/kg solido seco	Humedad másica inicial de pulpa de palta
W_{PP_8}	kg agua/kg solido seco	Humedad másica final de pulpa de palta
S_{PP_7}	kg solido seco	Peso seco inicial de pulpa de palta
S_{PP_8}	kg solido seco	Peso seco final de pulpa de palta
Agua Evaporada	g	Agua evaporada durante el secado de pulpa de palta
T_{bs}	°C	Temperatura del bulbo seco
T_{bh}	°C	Temperatura del bulbo húmedo
PM_{AIRE}	kg/kgmol	Peso molecular del aire
PM_{AIRE}	kg/kgmol	Peso molecular del agua
P_T	atm	Presión de trabajo
A	m ²	Área de la estufa de flujo convectivo
V_H	m ³ /kg aire seco	Volumen húmedo

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-4 podemos observar el diagrama del balance de materia del proceso de producción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*).



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-4 Diagrama de balance de materia del proceso tecnológico experimental de aceite virgen de pulpa de palta

Etapa 1 Lavado

En la tabla III-16 se muestra el porcentaje promedio de las paltas lavadas de 99,97% de palta y 0,03 % de agua absorbida, cuyos datos son tomados en cuenta para el balance de materia en la etapa de cortado.

Tabla III-16 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de lavado

N°	PALTA LAVADAS			
	PALTA (g)	AGUA (g)	PALTA (%)	AGUA (%)
1	476,289	0,133	99,972	0,028
2	462,435	0,167	99,964	0,036
3	480,470	0,130	99,973	0,027
4	472,800	0,161	99,966	0,034
5	425,386	0,106	99,975	0,025
PROMEDIO	463,476	0,139	99,97	0,03

Fuente: Elaboración propia, 2022

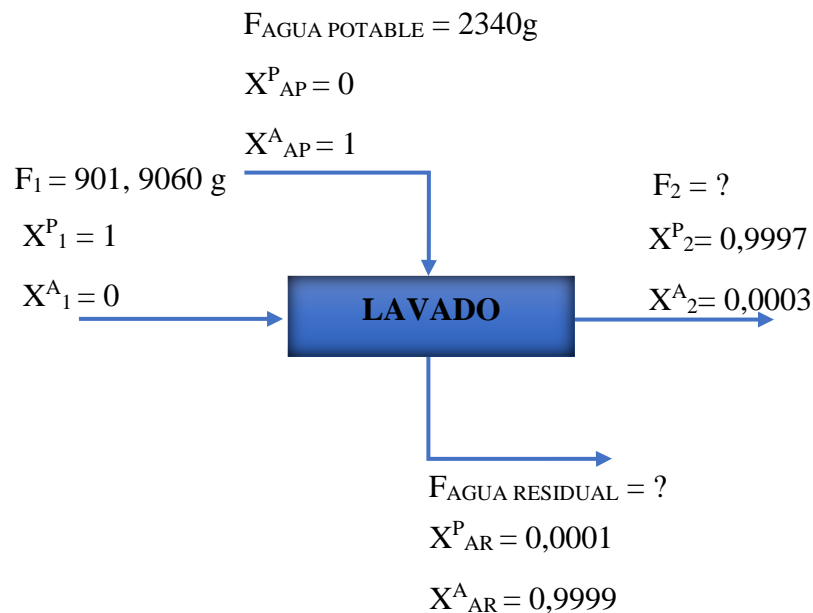
En la tabla III-17 se muestra el porcentaje promedio del agua residual de 99,99% de agua y 0,01 % de residuos sólidos como polvo, cuyos datos son tomados en cuenta para el balance de materia en la etapa de cortado.

Tabla III-17 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de lavado

N°	AGUA RESIDUAL			
	PALTA (g)	AGUA (g)	PALTA (%)	AGUA (%)
1	2339,649	0,351	99,985	0,015
2	2339,789	0,211	99,991	0,009
3	2339,602	0,398	99,983	0,017
4	2339,719	0,281	99,988	0,012
5	2339,813	0,187	99,992	0,008
PROMEDIO	2339,71452	0,28548	99,9878	0,0122

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-5 se muestra el balance de materia en la etapa de lavado, cuyo fin es lavar las patatas para eliminar los residuos sólidos como el polvo o incluso de cualquier agente biológico patógeno.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-5 Balance de materia en la etapa de lavado

Balance de materia global en la etapa de lavado de patata:

$$F_1 + F_{AGUA\ POTABLE} = F_2 + F_{AGUA\ RESIDUAL} \quad \text{Ecuación III-8}$$

Balance de materia parcial de la patata en la etapa de lavado de la patata:

$$F_1 * X^P_1 + F_{AP} * X^P_{AP} = F_2 * X^P_2 + F_{AR} * X^P_{AR} \quad \text{Ecuación III-9}$$

Balance de materia parcial del agua en la etapa de lavado de la patata:

$$F_1 * X^A_1 + F_{AP} * X^A_{AP} = F_2 * X^A_2 + F_{AR} * X^A_{AR} \quad \text{Ecuación III-10}$$

Despejando F_2 de la ecuación III-9, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_2 = \frac{F_1 - F_{AR} * X^P_{AR}}{X^P_2} \quad \text{Ecuación III-11}$$

Despejando F_{AR} de la ecuación III-10, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_{AR} = \frac{F_{AP} - F_2 * X_{AR}^A}{X_{AR}^A} \quad \text{Ecuación III-12}$$

Posteriormente reemplazamos la ecuación III-12 en la ecuación III-11:

$$F_2 = \frac{F_1 - \left(\frac{F_{AP} - F_2 * X_{AR}^A}{X_{AR}^A} \right) * X_{AR}^P}{X_2^P} \quad \text{Ecuación III-13}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-13, determinamos F_2 por solver:

$$F_2 = \frac{901,9060 - \left(\frac{2340 - F_2 * 0,0003}{0,9999} \right) * 0,0001}{0,9997}$$

$$F_2 = 901,9426 \text{ g}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-4, determinamos el F_{AR} :

$$F_{AR} = \frac{2340 - 901,9426 * 0,0003}{0,9999} = 2339,9634 \text{ g}$$

Etapa 2 Despulpado

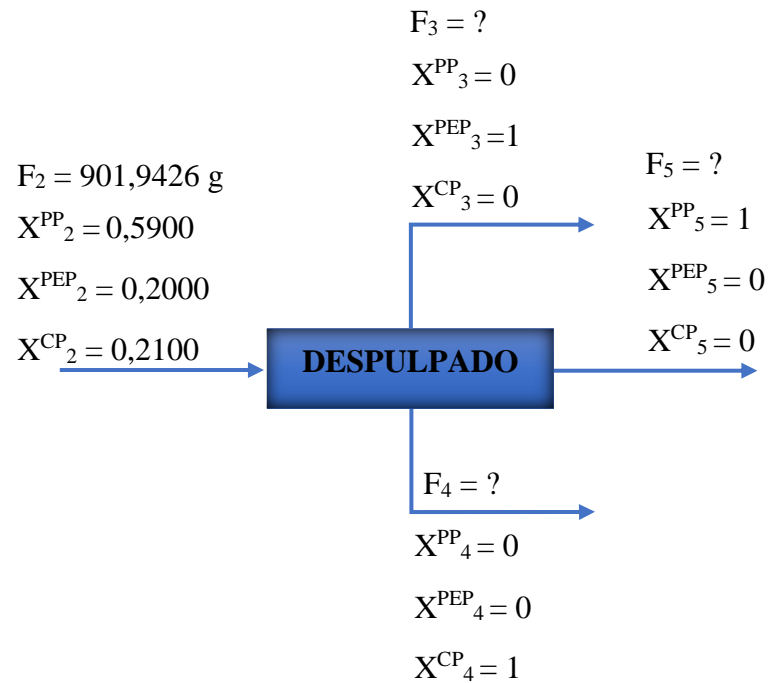
En la tabla III-18 se muestra el porcentaje promedio de pulpa de palta de 59 %, pepa de palta de 20% y cáscara de palta de 21%, cuyos datos son tomados en cuenta para el balance de materia en la etapa de despulpado.

Tabla III-18 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de despulpado

Nº	PULPA (g)	PEPA (g)	CÁSCARA (g)	PULPA (%)	PEPA (%)	CÁSCARA (%)
1	269,178	101,478	105,766	56,50	21,30	22,20
2	270,160	93,446	98,997	58,40	20,20	21,40
3	296,050	90,833	93,717	61,60	18,90	19,50
4	269,115	99,322	104,524	56,90	21,00	22,10
5	261,678	79,567	84,247	61,50	18,70	19,80
PROMEDIO	273,236	92,9291	97,4503	59,00	20,00	21,00

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-6 se puede observar el balance de materia en la etapa de despulpado para separar la pulpa de palta de la pepa y cáscara.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-6 Balance de materia en la etapa de despulpado

Balance de materia global en la etapa de despulpado de palta:

$$F_2 = F_3 + F_4 + F_5 \quad \text{Ecuación III-14}$$

Balance de materia parcial de la pulpa de palta en la etapa de despulpado de la palta:

$$F_2 * X^{PP}_2 = F_3 * X^{PP}_3 + F_4 * X^{PP}_4 + F_5 * X^{PP}_5 \quad \text{Ecuación III-15}$$

Balance de materia parcial de la pepa de palta en la etapa de despulpado de la palta:

$$F_2 * X^{PEP}_2 = F_3 * X^{PEP}_3 + F_4 * X^{PEP}_4 + F_5 * X^{PEP}_5 \quad \text{Ecuación III-16}$$

Balance de materia parcial de la cáscara de palta en la etapa de despulpado de la palta:

$$F_2 * X^{CP}_2 = F_3 * X^{CP}_3 + F_4 * X^{CP}_4 + F_5 * X^{CP}_5 \quad \text{Ecuación III-17}$$

Despejando F_5 de la ecuación III-15, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_5 = F_2 * X^{PP}_2 \quad \text{Ecuación III-18}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-18, determinamos el F_5 :

$$F_5 = 901,9426 * 0,5900 = 532,1461 \text{ g}$$

Despejando F_3 de la ecuación III-16, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_3 = F_2 * X^{PEP}_2 \quad \text{Ecuación III-19}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-19, determinamos el F_3 :

$$F_3 = 901,9426 * 0,2000 = 180,3885 \text{ g}$$

Despejando F_4 de la ecuación III-17, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_4 = F_2 * X^{CP}_2 \quad \text{Ecuación III-20}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-20, determinamos el F_4 :

$$F_4 = 901,9426 * 0,2100 = 189,4079 \text{ g}$$

Etapa 3 Cortado

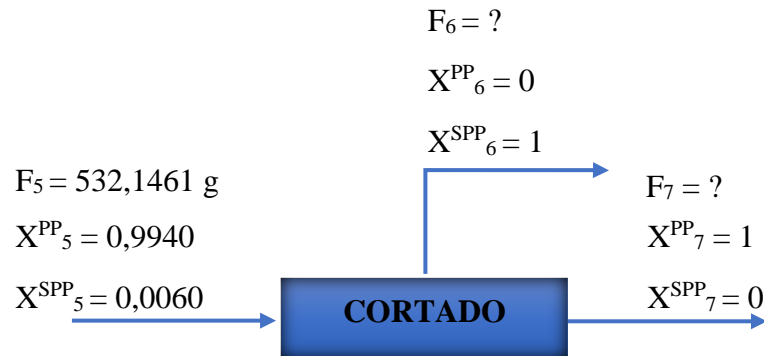
En la tabla III-19 se muestra el porcentaje promedio de rodajas de pulpa de palta de 99,4% y sobras de pulpa de palta de 0,6%, cuyos datos son tomados en cuenta para el balance de materia en la etapa de cortado.

Tabla III-19 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de cortado

Nº	PULPA (g)	SOBRAS DE PULPA (g)	PULPA (%)	SOBRAS DE PULPA (%)
1	267,393	1,785	99,337	0,663
2	268,690	1,470	99,456	0,544
3	294,209	1,841	99,378	0,622
4	267,498	1,617	99,399	0,601
5	260,181	1,497	99,428	0,572
PROMEDIO	271,594	1,642	99,400	0,600

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-7 se muestra el balance de materia en la etapa de cortado de las pulpas de paltas en rodajas.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-7 Balance de materia en la etapa de cortado

Balance de materia global en la etapa de cortado de la pulpa de palta:

$$F_5 = F_6 + F_7 \quad \text{Ecuación III-21}$$

Balance de materia parcial de la pulpa de palta en la etapa de cortado de la pulpa de palta:

$$F_5 * X_5^{PP} = F_6 * X_6^{PP} + F_7 * X_7^{PP} \quad \text{Ecuación III-22}$$

Balance de materia parcial de las sobras de la pulpa de palta en la etapa de cortado de la pulpa de palta:

$$F_5 * X_5^{SPP} = F_6 * X_6^{SPP} + F_7 * X_7^{SPP} \quad \text{Ecuación III-23}$$

Despejando F_7 de la ecuación III-22, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_7 = F_5 * X_5^{PP} \quad \text{Ecuación III-24}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-24, determinamos el F_7 :

$$F_7 = 532,1461 * 0,9940 = 528,9532 \text{ g}$$

Despejando F_6 de la ecuación III-23, tenemos la siguiente ecuación:

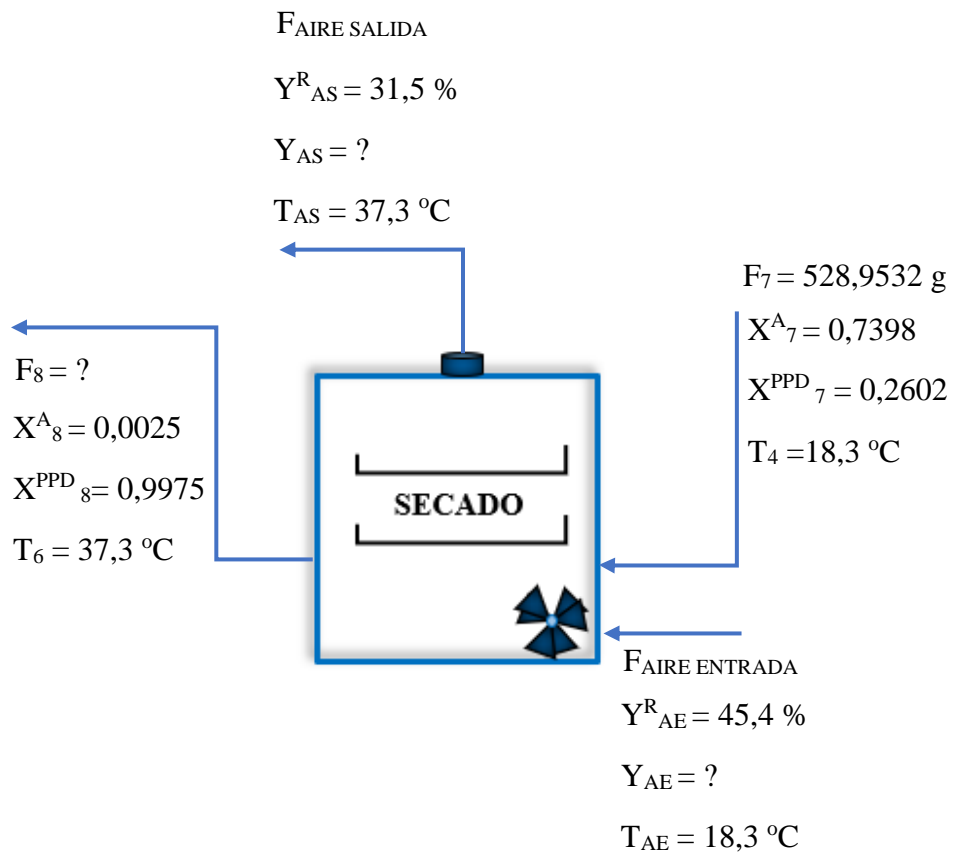
$$F_6 = F_5 * X_5^{SPP} \quad \text{Ecuación III-25}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-25, determinamos el F_6 :

$$F_6 = 532,1461 * 0,0060 = 3,1929 \text{ g}$$

Etapa 4 Secado

En la figura 3-8 se muestra el balance de materia en la etapa de secado, cuyas pulpas de paltas ingresan a la estufa de flujo convectivo con un contenido de humedad de 73,98 % y salen con un contenido de humedad de 0,25 %, dichos valores fueron tomados de la tabla III-2. Además, que se determinó también la humedad relativa y temperatura de bulbo seco del flujo de aire que entra y sale de la estufa de flujo convectivo con el instrumento termo-anemómetro.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-8 Balance de materia en la etapa de secado

Balance de materia global en la etapa de secado de la pulpa de palta, cuya ecuación fue mencionada por (Valiente, 1994).

$$F_7 + F_{\text{AIRE ENTRADA}} = F_8 + F_{\text{AIRE SALIDA}}$$

Ecuación III-26

Balance de materia parcial de la pulpa de palta deshidratada en la etapa de secado de la pulpa de palta:

$$F_7 * X^{PPD}_7 = F_8 * X^{PPD}_8 \quad \text{Ecuación III-27}$$

Despejando F_8 de la ecuación III-27, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_8 = \frac{F_7 * X^{PPD}_8}{X^{PPD}_7} \quad \text{Ecuación III-28}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-28, determinamos F_8 :

$$F_8 = \frac{528,9532 * 0,2602}{0,9975} = 137,9786 \text{ g}$$

Balance de materia en base seca en la etapa de secado de la pulpa de palta, lo cual se usó la ecuación mencionada por (Singh & Heldman, 2009).

$$S^{PP}_7 * W^{PP}_7 + F_{AE} * Y_{AE} = S^{PP}_8 * W^{PP}_8 + F_{AS} * Y_{AS} \quad \text{Ecuación III-29}$$

Antes de continuar con el balance de materia en base seca, se determinó la humedad másica inicial y final de pulpa de palta, cuya ecuación fue mencionada por (Heldman, 2009).

$$W^{PP} = \frac{X^A}{X^{PPD}} \quad \text{Ecuación III-30}$$

Donde:

$$W^{PP}_7 = \frac{X^A_7}{X^{PPD}_7} = \frac{0,7398}{0,2602} = 2,8432 \text{ kg agua/kg solido seco}$$

$$W^{PP}_8 = \frac{X^A_8}{X^{PPD}_8} = \frac{0,0025}{0,9975} = 0,0025 \text{ kg agua/kg solido seco}$$

Posteriormente en la etapa de secado se considera que el flujo de aire de entrada y salida de la estufa de secado son iguales, debido a que se trabaja en un sistema abierto.

$$F_{\text{AIRE ENTRADA}} = F_{\text{AIRE SALIDA}} = F_{\text{AIRE}}$$

Considerando el balance en base seca, la pulpa de palta en peso seco de sólidos de entrada y salida del secado serán las mismas.

$$S^{PP}_7 = S^{PP}_8 = S^{PP}$$

Por lo tanto:

$$S^{PP} = F_7 * X^{PPD}_7 = F_8 * X^{PPD}_8 = 528,9532 * 0,2602 = 137,9786 * 0,9975 = 137,6336 \text{ g}$$

$$S^{PP} = 0,1376 \text{ kg sólido seco}$$

Continuando con el balance de materia en base seca, se obtiene la siguiente ecuación:

$$S^{PP} * (W^{PP}_7 - W^{PP}_8) = F_{\text{AIRE}} * (Y_{\text{AS}} - Y_{\text{AE}}) \quad \text{Ecuación III-31}$$

Para determinar el agua evaporada de la pulpa de palta se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Agua Evaporada} = S^{PP} * (W^{PP}_7 - W^{PP}_8) \quad \text{Ecuación III-32}$$

$$\text{Agua Evaporada} = 0,1376 * (2,8432 - 0,0025) = 0,3909 \text{ kg agua}$$

$$\text{Agua Evaporada} = 390,8803 \text{ g de agua}$$

Para determinar el flujo de aire que circula en la estufa de flujo convectivo se despeja F_{AIRE} de la ecuación III-31, cuya ecuación fue mencionada por (Heldman, 2009).

$$F_{\text{AIRE}} = \frac{S^{PP} * (W^{PP}_7 - W^{PP}_8)}{Y_{\text{AS}} - Y_{\text{AE}}} \quad \text{Ecuación III-33}$$

Según (Gutiérrez, 1875), la altura de la ciudad de Tarija es 1866 msnm, lo cual se usó la página psicrométricos (ver Anexo E) para introducir la altitud de la ciudad de Tarija, la temperatura de bulbo seco y humedad relativa, estos dos últimos fueron determinamos con el anemómetro para la salida y entrada del flujo de aire de la estufa de flujo convectivo, cuyos resultados se muestra en la siguiente tabla III-20.

Tabla III-20 Propiedades psicrométricas del flujo de aire

DATOS INTRODUCIDOS A LA PÁGINA PSICROMÉTRICOS PARA UNA ALTITUD DE 1866 msnm		
PROPIEDADES	AIRE ENTRADA	AIRE SALIDA
T _{bs} (°C)	18,3	37,3
Y _R (%)	45,4	31,5
RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNA ALTITUD DE 1866 msnm		
PROPIEDADES	AIRE ENTRADA	AIRE SALIDA
Y (g de agua/kg aire seco)	7,438	15,87
T _{bh} (°C)	11,15	22,7

Fuente: Resultados: Herramientas de Ingeniería, 2022 y elaboración propia, 2022

Reemplazando datos en la ecuación III-33, determinamos el F_{AIRE}:

$$F_{\text{AIRE}} = \frac{390,8803 \text{ g agua}}{Y_2 - Y_1} = \frac{390,8803 \text{ g agua}}{15,87 - 7,438} = 46,3567 \text{ kg aire seco}$$

Posteriormente determinamos la velocidad del flujo del aire que circula dentro de la estufa de flujo convectivo, cuya ecuación fue mencionada por (Valiente, 1994).

$$F_{\text{AIRE}} = \frac{V_{\text{FA}} * A}{V_{\text{H}}} \quad \text{Ecuación III-34}$$

El volumen húmedo está determinado por la siguiente ecuación que fue mencionada por (Valiente, 1994).

$$V_{\text{H}} = \left(\frac{1}{PM_{\text{AIRE}}} + \frac{Y}{PM_{\text{AGUA}}} \right) * \frac{R * T_{\text{bs}}}{P_{\text{T}}} \quad \text{Ecuación III-35}$$

Datos

$$PM_{\text{AIRE}} = 29 \text{ Kg/Kgmol}$$

$$PM_{\text{AGUA}} = 29 \text{ Kg/Kgmol}$$

$$P_{\text{T}} = 0,804 \text{ atm (Ver ANEXO F)}$$

$$R = 0,082 \text{ m}^3 \text{ atm/Kgmol K}$$

$$A = 0,81\text{m} * 0,72\text{m} = 0,5832 \text{ m}^2$$

t_s = tiempo de deshidratación de pulpa de palta en un periodo de 22 h

Posteriormente reemplazamos los datos en la ecuación III-35, la temperatura de bulbo seco y la humedad absoluta para el flujo de aire de entrada son tomados dichos valores de la tabla III-20 y el tiempo se considera 22 h de deshidratación de la pulpa de palta en la estufa de flujo convectivo.

$$V_H = \left(\frac{1}{29} + \frac{7,438}{18} \right) * \frac{0,082 * (18,3 + 273,15)}{0,804}$$

$$V_H = 1,0373 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Despejando V_{FA} de la ecuación III-34, tenemos la siguiente ecuación:

$$V_{FA} = \frac{(F_{\text{AIRE}}/t_s) * V_H}{A} \quad \text{Ecuación III-36}$$

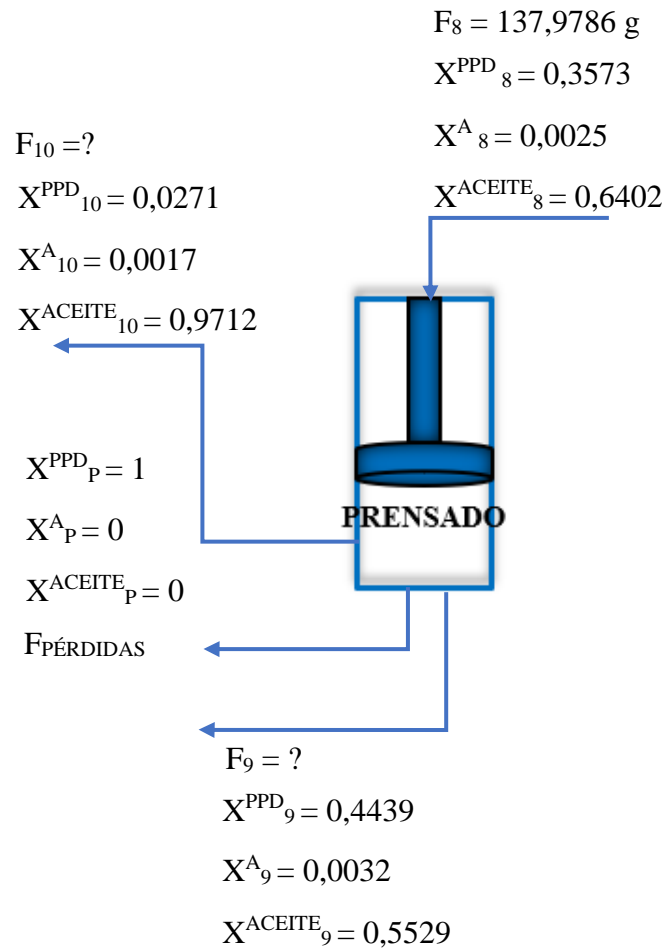
Reemplazando los datos en la ecuación III-36, determinamos V_{FA} :

$$V_{FA} = \frac{\frac{46,3567}{22} * 1,0373}{0,5832}$$

$$V_{FA} = 3,7478 \text{ m/h}$$

Etapas 5 Prensado

En la figura 3-9 se muestra el balance de materia en la etapa de prensado para determinar la cantidad de aceite virgen de pulpa de palta extraído, cuyas pulpas ingresan a la prensa con un contenido de humedad de 0,25 % (Ver tabla III-2) y el aceite virgen extraído presenta un contenido de humedad del 0,17% (Ver ANEXO D). Además, que la pulpa de palta deshidratada ingresa a la prensa con un contenido de aceite de 64,02 % (Ver tabla III-7).



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-9 Balance de materia en la etapa de prensado

Balance de materia global en la etapa de prensado para la extracción de aceite virgen:

$$F_8 = F_9 + F_{10} + F_{\text{PÉRDIDAS}} \quad \text{Ecuación III-37}$$

Balance de materia parcial de la pulpa de palta deshidratada en la etapa de prensado para la extracción de aceite virgen:

$$F_8 * X^{\text{PPD}}_8 = F_9 * X^{\text{PPD}}_9 + F_{\text{PÉRDIDAS}} * X^{\text{PPD}}_P + F_{10} * X^{\text{PPD}}_{10} \quad \text{Ecuación III-38}$$

Balance de materia parcial del agua en la etapa de prensado para la extracción de aceite virgen:

$$F_8 * X^A_8 = F_9 * X^A_9 + F_{\text{PÉRDIDAS}} * X^A_P + F_{10} * X^A_{10} \quad \text{Ecuación III-39}$$

Balance de materia parcial del aceite en la etapa de prensado para la extracción de aceite virgen:

$$F_8 * X^{ACEITE}_8 = F_9 * X^{ACEITE}_9 + F_{PÉRDIDAS} * X^{ACEITE}_P + F_{10} * X^{ACEITE}_{10}$$

Ecuación III-40

Despejando $F_{PÉRDIDAS}$ de la ecuación III-38, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_{PÉRDIDAS} = F_8 * X^{PPD}_8 - F_9 * X^{PPD}_9 - F_{10} * X^{PPD}_{10}$$

Ecuación III-41

Despejando F_9 de la ecuación III-39, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_9 = \frac{F_8 * X^A_8 - F_{PÉRDIDAS} * X^A_{PÉRDIDAS} - F_{10} * X^A_{10}}{X^A_9}$$

Ecuación III-42

Despejando F_{10} de la ecuación III-40, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_{10} = \frac{F_8 * X^{ACEITE}_8 - F_{PÉRDIDAS} * X^{ACEITE}_{PÉRDIDAS} - F_9 * X^{ACEITE}_9}{X^A_{10}}$$

Ecuación III-43

Posteriormente reemplazamos la ecuación III-43 en la ecuación III-42, determinamos el F_{10} :

$$F_{10} = \frac{F_8 * X^{ACEITE}_8 - \left(\frac{F_8 * X^A_8 - F_{10} * X^A_{10}}{X^A_9} \right) * X^{ACEITE}_9}{X^{ACEITE}_{10}}$$

Ecuación III-44

Reemplazando los datos en la ecuación III-44, determinamos el F_{10} por solver:

$$F_{10} = \frac{137,9786 * 0,6402 - \left(\frac{137,9786 * 0,0025 - F_{10} * 0,0017}{0,0032} \right) * 0,5529}{0,9712}$$

$$F_{10} = 42,4130 \text{ g}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-42, determinamos el F_9 :

$$F_9 = \frac{137,9786 * 0,0025 - 42,4130 * 0,0017}{0,0032}$$

$$F_9 = 85,2639 \text{ g}$$

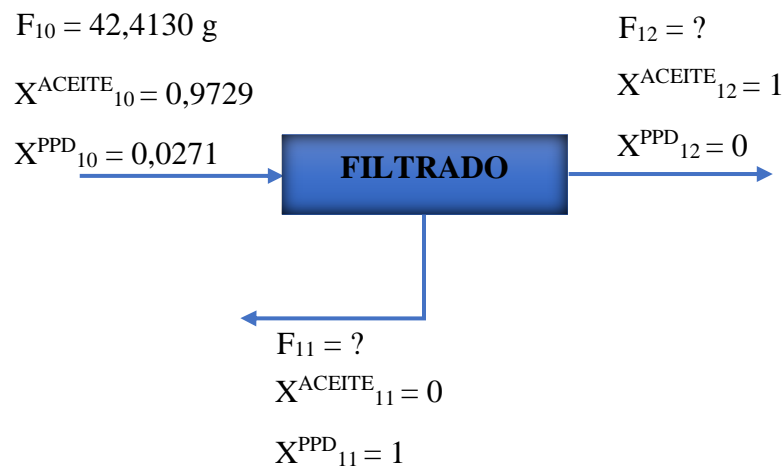
Reemplazando los datos en la ecuación III-41, determinamos el $F_{\text{PÉRDIDAS}}$:

$$F_{\text{PÉRDIDAS}} = 137,9786 * 0,3573 - 85,2639 * 0,4439 - 42,4130 * 0,0271$$

$$F_{\text{PÉRDIDAS}} = 10,3017 \text{ g}$$

Etapas 6 Filtrado

En la figura 3-10 se muestra el balance de materia en la etapa de filtrado para el aceite virgen de pulpa de palta, cuyo fin es la retención de residuos sólidos de pulpa de palta deshidratada que se quedan en el aceite.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-10 Balance de materia en la etapa de filtrado

Balance materia global en la etapa de filtrado del aceite virgen de pulpa de palta:

$$F_{10} = F_{11} + F_{12} \quad \text{Ecuación III-45}$$

Balance de materia parcial del aceite en la etapa de filtrado del aceite virgen de pulpa de palta:

$$F_{10} * X^{\text{ACEITE}}_{10} = F_{11} * X^{\text{ACEITE}}_{11} + F_{12} * X^{\text{ACEITE}}_{12} \quad \text{Ecuación III-46}$$

Balance de materia parcial de la pulpa de palta deshidratada en la etapa de filtrado del aceite virgen de pulpa de palta:

$$F_{10} * X^{\text{PPD}}_{10} = F_{11} * X^{\text{PPD}}_{11} + F_{12} * X^{\text{PPD}}_{12} \quad \text{Ecuación III-47}$$

Despejando F_{12} de la ecuación III-46, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_{12} = F_{10} * X^{ACEITE}_{10}$$

Ecuación III-48

Reemplazando los datos en la ecuación III-48, determinamos el F_{12} :

$$F_{12} = 42,4130 * 0,9729 = 41,2636 \text{ g}$$

Despejando F_{11} de la ecuación III-47, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_{11} = F_{10} * X^{PPD}_{10}$$

Ecuación III-49

Reemplazando los datos en la ecuación III-49, determinamos el F_2 :

$$F_{11} = 42,4130 * 0,0271 = 1,1494 \text{ g}$$

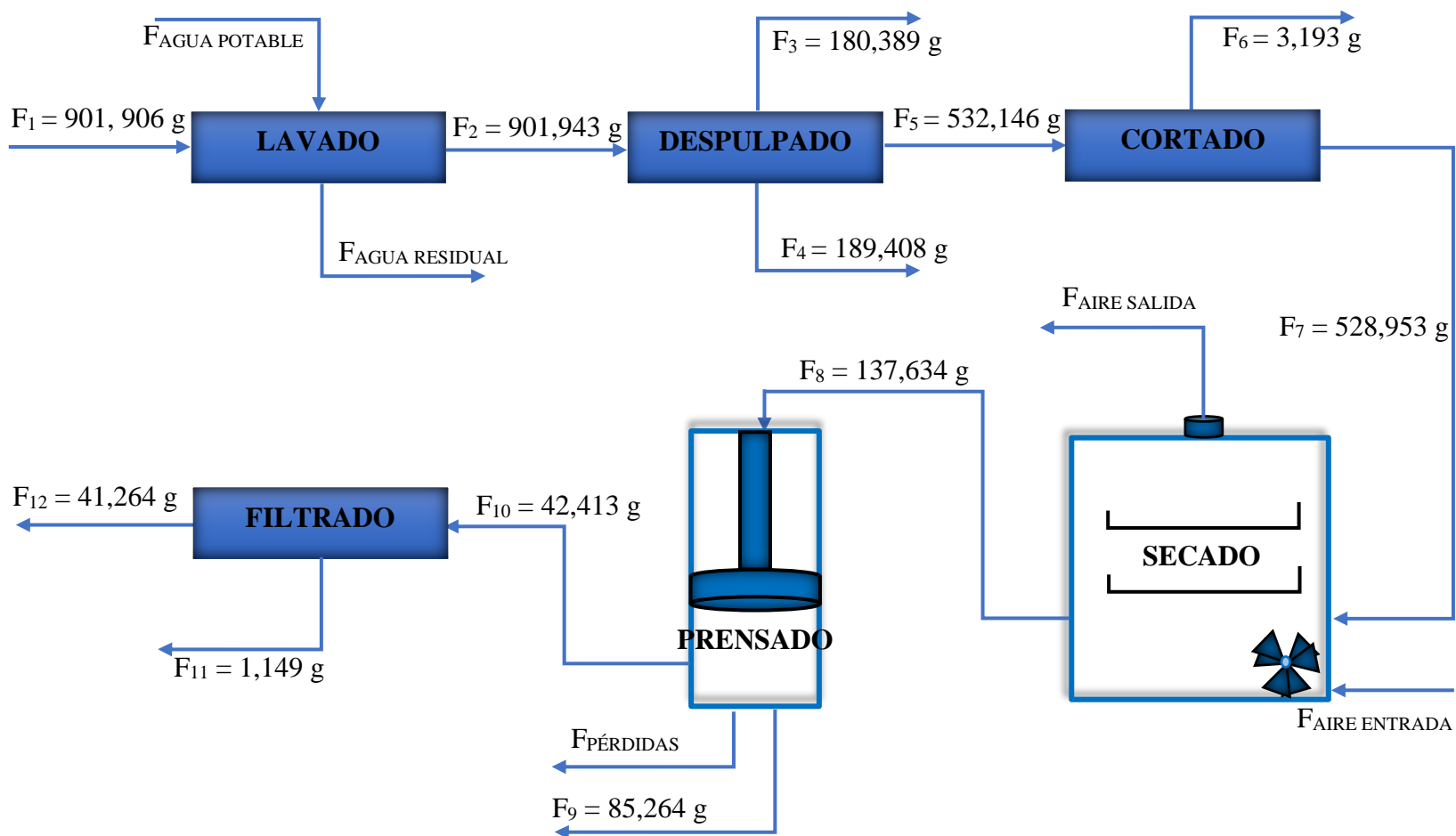
Reemplazando la ecuación III-2 determinamos el % Aceite en peso seco extraído por la prensa:

$$\% \text{ Aceite en peso seco extraído por la prensa} = \frac{41,264}{137,634} * 100 \% = 29,981 \%$$

Reemplazando la ecuación III-7 determinamos el Rendimiento del aceite:

$$\% \text{ Rendimiento del aceite} = \frac{29,981}{64,024} * 100 \% = 46,828 \%$$

A continuación, tenemos la figura 3-11 que muestra el resumen del balance de materia para obtener aceite virgen de pulpa de palta.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-11 Resumen General del Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de aceite virgen de pulpa de palta

3.5. BALANCE DE ENERGÍA DEL PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

El balance de energía se realiza para la etapa de secado y prensado, para ello a continuación se muestra la tabla III-21 y tabla III-22 con las descripciones de las variables que se usaran en el balance de energía para cada etapa.

Tabla III-21 Descripción de las variables en la etapa de secado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES
H_4	KJ/kg	Entalpia inicial de pulpa de palta antes del secado
H_6	KJ/kg	Entalpia final de pulpa de palta después del secado
H_{AE}	KJ/kg	Entalpia de entrada del flujo del aire del secado
H_{AS}	KJ/kg	Entalpia de salida del flujo del aire del secado
T_0	°C	Temperatura de referencia
C_p PALTA	KJ/kg K	Calor especifico de palta
C_p AGUA	KJ/kg K	Calor especifico del agua
$T_{bs\ AE}$	°C	Temperatura de bulbo seco del flujo del aire de entrada
$T_{bs\ AS}$	°C	Temperatura de bulbo seco del flujo del aire de salida
$T_{bh\ AE}$	°C	Temperatura de bulbo húmedo del flujo del aire de entrada
$T_{bh\ AS}$	°C	Temperatura de bulbo húmedo del flujo del aire de salida
Q_s	KJ	Calor aportado o cedido por el Sistema del Secado

Fuente: Elaboración propia, 2022

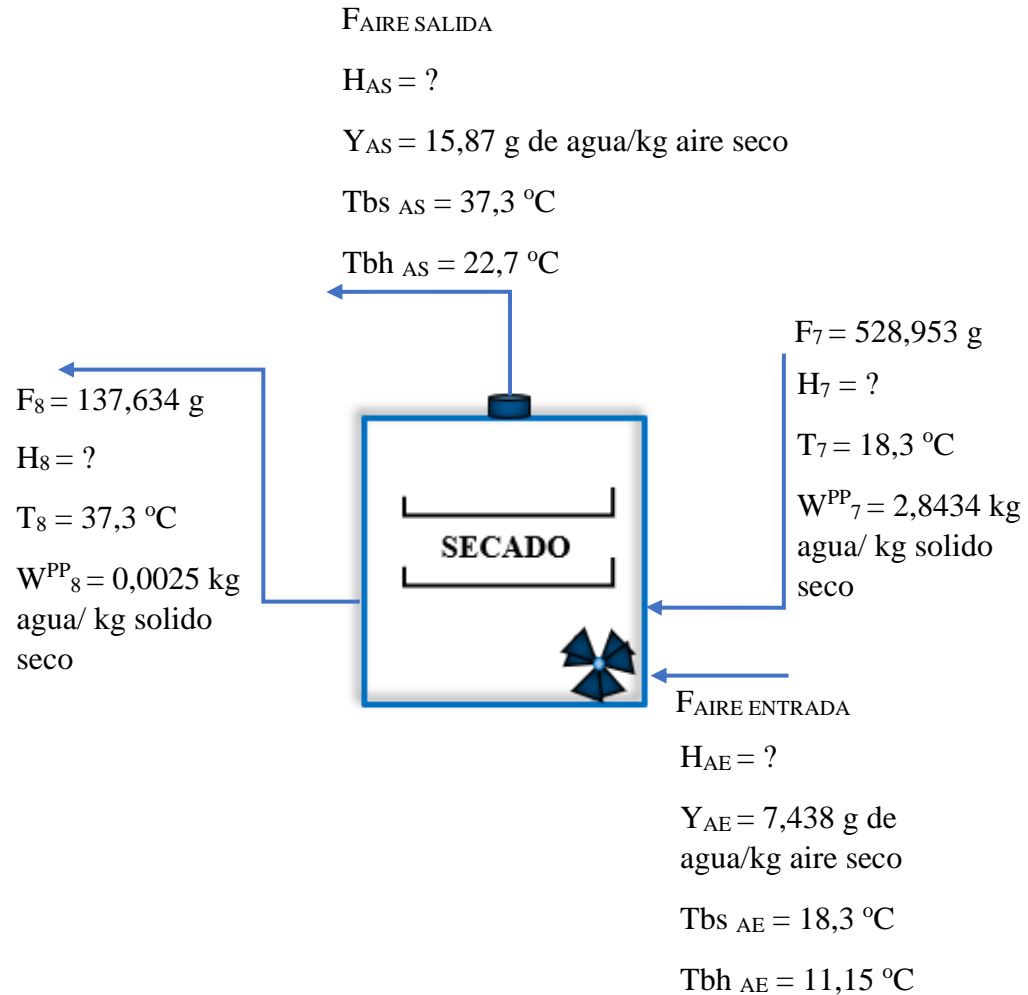
Tabla III-22 Descripción de las variables en la etapa de prensado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta

	UNIDAD	DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE LA ETAPA DEL PENSADO
L_c	cm	Longitud del cilindro de la prensa hidráulica
k	W/m K	Coficiente de conductividad térmica del hierro: material del que está forjado el cilindro de la prensa hidráulica
T_{int c1}	°C	Temperatura interna del cilindro de la prensa hidráulica
T_{ext c2}	°C	Temperatura externa del cilindro de la prensa hidráulica
r_{c1}	cm	Radio interno del cilindro de la prensa hidráulica
r_{c2}	cm	Radio externo del cilindro de la prensa hidráulica
Q_c	KW	Calor por conducción del cilindro de la prensa hidráulica

Fuente: Elaboración propia, 2022

Etapa 4 Secado (Deshidratación de la pulpa de palta)

En la figura 3-12 se muestra el balance de energía en la etapa de secado de la pulpa de palta deshidratada en la estufa de flujo convectivo, donde la temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco y humedad absoluta fueron tomados respectivamente de la tabla III-20 y para la humedad másica inicial y final de la pulpa de palta fueron determinados en el balance de materia etapa de secado.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-12 Balance de energía en la etapa de secado

Datos:

$$C_p_{\text{PALTA}} = 1,67 \text{ KJ/kg K (Ver ANEXO F)}$$

$$C_p_{\text{AGUA}} = 4,18 \text{ KJ/Kg K}$$

$$T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$$

$$T_7 = 18,3 \text{ }^\circ\text{C} = 291,45 \text{ K}$$

$$T_8 = 37,3 \text{ }^\circ\text{C} = 310,45 \text{ K}$$

$$S_{\text{PP}} = 0,138 \text{ kg}$$

$$F_{\text{AIRE}} = 46,3567 \text{ kg}$$

Balance de energía en base seca en la etapa de secado, citada por (Valiente, 1994).

$$S^{PP}_7 * H_7 + F_{AIRE ENTRADA} * H_{AE} + Q_S = S^{PP}_8 * H_8 + F_{AIRE SALIDA} * H_{AS}$$

Ecuación III-50

Como ya se explicó en el balance de materia el flujo de aire de entrada es igual al flujo de aire de salida de igual manera del peso seco de sólidos de pulpa de palta, por lo tanto:

$$F_{AIRE ENTRADA} = F_{AIRE SALIDA} = F_{AIRE}$$

$$S^{PP}_7 = S^{PP}_8 = S^{PP}$$

Así de esta manera, reduciéndose la ecuación III-50, a la siguiente ecuación:

$$S^{PP} * (H_7 - H_8) + F_{AIRE} * (H_{AE} - H_{AS}) = - Q_S \quad \text{Ecuación III-51}$$

$$Q_{GANADO} = Q_{CEDIDO}$$

Por lo tanto, despejando Q_S de la ecuación III-51, tenemos la siguiente ecuación:

$$Q_S = - (S^{PP} * (H_7 - H_8) + F_{AIRE} * (H_{AE} - H_{AS})) \quad \text{Ecuación III-52}$$

Para determinar la entalpia del flujo del aire, cabe mencionar que en la tabla III-20 se muestran los resultados necesarios obtenidos de la página psicrométrico, que en su momento para el balance de materia se necesitaba, ahora en la siguiente tabla III-23 se muestra los resultados de la entalpia para el flujo de aire. (Ver ANEXO E)

Tabla III-23 Propiedades psicrométricas del flujo de aire

DATOS INTRODUCIDOS A LA PÁGINA PSICROMÉTRICOS PARA UNA ALTITUD DE 1866 msnm		
PROPIEDADES	AIRE ENTRADA	AIRE SALIDA
T _{bs} (°C)	18,3	37,3
Y _R (%)	45,4	31,5
RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNA ALTITUD DE 1866 msnm		
PROPIEDADES	AIRE ENTRADA	AIRE SALIDA
H (KJ/kg)	37,26	78,28

Fuente: Resultados: Herramientas de Ingeniería, 2022 y elaboración propia, 2022

Para determinar la entalpia de palta, se usa la siguiente ecuación:

$$H_{\text{PRODUCTO}} = C_{\text{PRODUCTO}} * (T_{\text{PRODUCTO}} - T_0) + W_{\text{PRODUCTO}} * C_{\text{PAGUA}} * (T_{\text{PRODUCTO}} - T_0)$$

Ecuación III-53

Por lo que, se determina la entalpia de entrada de palta a la estufa de flujo convectivo, usando la siguiente ecuación:

$$H_7 = C_{\text{PALTA}} * (T_7 - T_0) + W_{\text{PP}_7} * C_{\text{AGUA}} * (T_7 - T_0)$$

Ecuación III-54

Reemplazando datos en la ecuación III-54 determinamos H_7 :

$$H_7 = 1,670 * (291,450 - 273,150) + 2,843 * 4,180 * (291,450 - 273,150)$$

$$H_7 = 248,033 \text{ KJ/kg}$$

Luego se determina la entalpia de salida de palta de la estufa de flujo convectivo, usando la siguiente ecuación:

$$H_8 = C_{\text{PALTA}} * (T_8 - T_0) + W_{\text{PP}_8} * C_{\text{AGUA}} * (T_8 - T_0)$$

Ecuación III-55

Reemplazando los datos en la ecuación III-21 determinamos H_8 :

$$H_8 = 1,670 * (310,45 - 273,15) + 0,003 * 4,18 * (310,45 - 273,15)$$

$$H_8 = 62,759 \text{ KJ/kg}$$

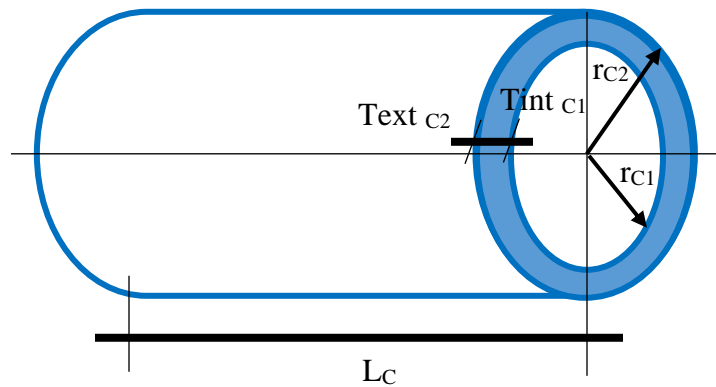
Posteriormente se reemplaza los datos en la ecuación III-52 para determinar Q_s :

$$Q_s = - (0,138 * (248,033 - 62,759) + 46,357 * (37,26 - 78,28))$$

$$Q_s = 1842,658 \text{ KJ}$$

Etapas 5 Prensado

Para esta etapa se determina el calor transferido por conducción del cilindro que se utiliza como base de soporte de la pulpa de palta deshidratada para su posterior prensado. En la figura 3-13 se aprecia las variables del cilindro que son tomados en cuenta para la determinación del calor.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-13 Balance de energía en la etapa de prensado

Datos

$$L_C = 20,7 \text{ cm} = 0,207 \text{ m}$$

$$k = 79,5 \text{ W/m K (Ver ANEXO H)}$$

$$T_{\text{int } C1} = 30 \text{ °C} = 303,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{ext } C2} = 66 \text{ °C} = 339,15 \text{ K}$$

$$r_{C1} = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$r_{C2} = 7,15 \text{ cm} = 0,0715 \text{ m}$$

La ley básica de la conducción del calor (Joseph Fourier), establece: “La tasa de transferencia de calor por conducción en una dirección dada es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección”.

Dicho esto, se presenta la siguiente ecuación:

$$Q = k * 2\pi * L \frac{T_2 - T_1}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \quad \text{Ecuación III-56}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-56, determinamos Q_C :

$$Q_C = 79,5 * 2\pi * 0,207 \frac{339,15 - 303,15}{\ln \left(\frac{0,0715}{0,06} \right)} = 21227,895 \text{ W}$$

$$Q_C = 21,228 \text{ KW}$$

Consumo de energía de la estufa de flujo convectivo

Datos:

$P_A = \text{Potencia del termostato} = 1100 \text{ W} = 1,100 \text{ KW}$

$P_B = \text{Potencia del ventilador} = 240 \text{ W} = 0,240 \text{ KW}$

$t = \text{Tiempo de secado} = 22 \text{ h}$

Se utiliza la siguiente ecuación matemática citada por (Velasco, 2019):

$$\text{Energía} = P * t \quad \text{Ecuación III-57}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-57, determinamos Energía A:

$$\text{Energía A} = 1,100 \text{ KW} * 22 \text{ h} = 24,200 \text{ KWh}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-57, determinamos Energía B:

$$\text{Energía B} = 0,240 \text{ KW} * 22 \text{ h} = 5,280 \text{ KWh}$$

Luego se determinó la Energía total:

$$\text{Energía total} = \text{Energía A} + \text{Energía B}$$

$$\text{Energía total} = 24,200 \text{ KWh} + 5,280 \text{ KWh} = 29,480 \text{ KWh}$$

Una vez determinada la energía, se procede a calcular el costo de la energía consumida durante el proceso de deshidratación de la pulpa de palta, con un costo unitario de 0,90 Bs por un KWh.

$$\text{Costo} = 29,480 \text{ KWh} * 0,90 \text{ Bs/KWh} = 26,532 \text{ Bs}$$

Consumo de energía de la estufa a infrarrojo, cuyo uso es solo para controlar la el contenido de humedad de pulpa de palta

Datos:

$P = \text{Potencia de la estufa a infrarrojo} = 250 \text{ W} = 0,250 \text{ KW}$

$t = \text{Tiempo de secado de pulpa de palta} = 1 \text{ h}$

Reemplazando los datos en la ecuación III-57, determinamos Energía:

$$\text{Energía} = 0,250 \text{ KW} * 1 \text{ h} = 0,250 \text{ KWh}$$

Una vez determinada la energía, se procede a calcular el costo de energía consumida durante el proceso de control de contenido de humedad de la pulpa de palta para un costo unitario de 0,90 Bs por un KWh.

$$\text{Costo} = 0,250 \text{ KWh} * 0,90 \text{ Bs/KWh} = 0,225 \text{ Bs}$$

Consumo de energía de la pistola de aire caliente de tres niveles

Datos:

$$P = \text{Potencia de la pistola de aire caliente} = 2000 \text{ W} = 2 \text{ KW}$$

$$t = \text{Tiempo de calentado del cilindro de prensa hidráulica} = 2 \text{ h}$$

Reemplazando los datos en la ecuación III-57, determinamos Energía:

$$\text{Energía} = 2 \text{ KW} * 2 \text{ h} = 4 \text{ KW/h}$$

Una vez determinada la energía, se procede a calcular el costo de energía consumida durante el proceso presando para la extracción de aceite virgen de pulpa de palta, para un costo unitario de 0,90 Bs por un KWh.

$$\text{Costo} = 4 \text{ KWh} * 0,90 \text{ Bs/ KWh} = 3,6 \text{ Bs}$$

3.6. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS (HUMEDAD, PRESIÓN Y TIEMPO) SOBRE EL RENDIMIENTO DE ACEITE VIRGEN PULPA DE PALTA

En la tabla III-24 se observa la variación de la réplica I y réplica II. El ensayo número 7 mencionada anteriormente con el mayor rendimiento, se observa en la réplica II que hay una variación de 5% de rendimiento de aceite, siendo la máxima variación de los 8 ensayos, y con el menor rendimiento es el número de ensayo 2 con un tiempo de una hora, presión 5000 Psi y humedad del 10 %.

Tabla III-24 Porcentaje de rendimiento de réplica I - II y promedio de las dos repeticiones del aceite virgen de pulpa de palta para el diseño experimental 2³

N° ENSAYO	FACTORES			VARIABLE RESPUESTA		
	Tiempo (h)	Presión (Psi)	Humedad (%)	Rendimiento del aceite (%)		
				RÉPLICA I	RÉPLICA II	PROMEDIO
1	1	5000	0,17	36,271	34,087	35,179
2	1	5000	10,0	27,111	23,243	25,177
3	2	5000	0,17	40,003	38,125	39,064
4	2	5000	10,0	39,778	36,792	38,285
5	1	6000	0,17	36,913	34,901	35,907
6	1	6000	10,0	32,132	31,268	31,700
7	2	6000	0,17	46,257	41,040	43,649
8	2	6000	10,0	44,511	40,718	42,614

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla III-25 y tabla III-26 podemos observar cómo varía el rendimiento para una presión constante de 5000 Psi y 6000 Psi, para un tiempo de una a dos horas y una humedad de 0,17 % a 10% en base húmeda.

Tabla III-25 Datos experimentales a presión constante 5000 Psi del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta para réplica I y réplica II
PRESIÓN CONSTANTE A 5000 PSI

N° ENSAYO	TIEMPO (h)	PRESIÓN (Psi)	HUMEDAD (%)	RENDIMIENTO DEL ACEITE (%)
1	1	5000	0,17	36,271
2	1	5000	10,0	27,111
3	2	5000	0,17	40,003
4	2	5000	10,0	39,778
5	1	5000	0,17	34,087
6	1	5000	10,0	23,243
7	2	5000	0,17	38,125
8	2	5000	10,0	36,792

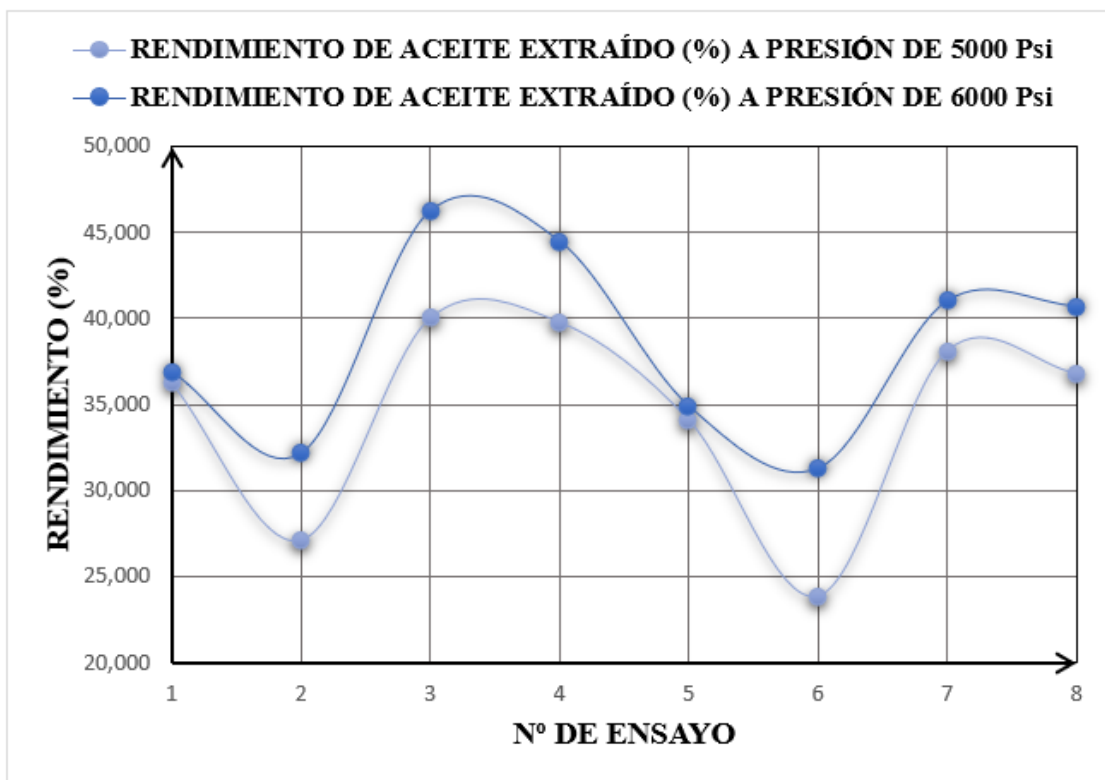
Fuente: Elaboración propia, 2022

Tabla III-26 Datos experimentales a presión constante 6000 Psi del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta para réplica I y réplica II
PRESIÓN CONSTANTE A 6000 PSI

N° ENSAYO	TIEMPO (h)	PRESIÓN (Psi)	HUMEDAD (%)	RENDIMIENTO DEL ACEITE (%)
1	1	6000	0,17	36,913
2	1	6000	10,0	32,132
3	2	6000	0,17	46,257
4	2	6000	10,0	44,511
5	1	6000	0,17	34,901
6	1	6000	10,0	31,268
7	2	6000	0,17	41,040
8	2	6000	10,0	40,718

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-14 se observa gráficamente el rendimiento del aceite extraído para una presión constante de 5000 Psi y 6000 Psi, lo cual se observa que en la curva del rendimiento de aceite de pulpa de palta extraído a presión de 6000 Psi es mayor y positivo de la curva de rendimiento de aceite de pulpa de palta extraído a presión de 5000 Psi, es decir que si la curva a presión de 6000 Psi está por debajo de 5000 Psi tendera a ser negativo, por lo que conlleva que los otros factores como tiempo y humedad influyen más que la presión, los valores en los ensayos número 1 y 5 están próximos es decir que la presión en la que se trabaja ya sea 5000 Psi o 6000 Psi no afecta en el rendimiento del aceite a extraer, por lo que se concluye que para una humedad de 0,17% y una hora de prensado para extraer el aceite no varía el rendimiento del aceite de extraído respecto a la presión para 6000 Psi o 5000 Psi.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-14 Gráfica del rendimiento del aceite de pulpa de palta a presión constante a 5000 Psi y 6000 Psi

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA VARIABLE RESPUESTA (RENDIMIENTO DEL ACEITE)

El análisis estadístico del diseño experimental nos indica que factores e interacciones entre factores influyen en la variable respuesta (Rendimiento del aceite), para ello se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25. En la tabla III-27 se muestra los datos que son introducidos al programa para un método factorial 2^3 , es decir los factores que son introducidos son la presión, humedad y tiempo.

Tabla III-27 Datos respectivos para el cálculo del análisis estadístico

N° ENSAYO	FACTORES			VARIABLE RESPUESTA
	Tiempo (h)	Presión (Psi)	Humedad (%)	Rendimiento del aceite (%)
1	-1	-1	-1	36,271
2	-1	-1	+1	27,111
3	+1	-1	-1	40,003
4	+1	-1	+1	39,778
5	-1	+1	-1	36,913
6	-1	+1	+1	32,132
7	+1	+1	-1	46,257
8	+1	+1	+1	44,511
9	-1	-1	-1	34,087
10	-1	-1	+1	23,883
11	+1	-1	-1	38,125
12	+1	-1	+1	36,792
13	-1	+1	-1	34,901
14	-1	+1	+1	31,268
15	+1	+1	-1	41,040
16	+1	+1	+1	40,718

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la siguiente tabla III-28, se muestran los resultados de los análisis estadísticos, lo cual se observa que el tiempo, presión, humedad y la interacción entre tiempo por humedad son significativas ya que son menores al 0,05 para una probabilidad de confianza del 0,95. Por lo tanto el tiempo, presión, humedad y la interacción entre tiempo por humedad influyen en la variable respuesta (Rendimiento del aceite extraído), esto se confirma comparando el F calculado con el F de tablas para cada

factor más las interacciones, demostrándose que el F calculado es menor que el F de tablas por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna confirmando que dichos factores si influyen en el rendimiento del aceite extraído.

Tabla III-28 Análisis de varianza para cada variable (tiempo, presión y humedad)

Pruebas de efectos Inter-Sujetos						
Variable dependiente: Rendimiento						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	Sig.	F de Tablas
Modelo corregido	488,900 ^a	7	69,843	15,095	0,000	3,5005
Intersección	21300,673	1	21300,673	4603,591	0,000	5,3177
Tiempo	312,035	1	312,035	67,438	0,000	5,3177
Presión	62,766	1	62,766	13,565	0,006	5,3177
Humedad	61,638	1	61,638	13,322	0,006	5,3177
Tiempo * Presión	0,983	1	0,983	0,212	0,657	5,3177
Tiempo * Humedad	36,457	1	36,457	7,879	0,023	5,3177
Presion * Humedad	6,812	1	6,812	1,472	0,260	5,3177
Tiempo * Presión * Humedad	8,208	1	8,208	1,774	0,220	5,3177
Error	37,016	8	4,627			
Total	21826,588	16				
Total corregido	525,915	15				

a R al cuadrado = ,930 (R al cuadrado ajustada = ,868)

Fuente: Elaboración propia, 2022

Donde:

gl = Grados de libertad

Sig. = Significancia

F calculado = Valor F-fisher calculado

En la tabla III-29 se muestra las variables significativas mencionadas anteriormente, que son introducidas en el programa IBM SPSS Statistics 25 en regresión lineal para determinar el modelo matemático ajustado.

Tabla III-29 Variables entradas/eliminadas

Variables Entradas/Eliminadas		
Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas
1	Tiempo * Humedad, Humedad, Presión, Tiempo ^b	-

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla III-30 se muestra el resumen del modelo, lo cual se ajusta el modelo a los datos para un R^2 igual a 89, 9% de variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media.

Tabla III-30 Resumen del ajuste del modelo

Resumen del modelo ^b					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
1	,948a	0,899	0,863	2,19543	0,997

a Predictores: (Constante), Tiempo * Humedad, Humedad, Presión, Tiempo

b Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla III-31 se observa que la regresión es significativa, es decir que se rechaza la hipótesis nula y se acepta le hipótesis alterna.

Tabla III-31 Análisis de varianza general

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	472,896	4	118,224	24,528	,000b
	Residuo	53,019	11	4,820		
	Total	525,915	15			

a Variable dependiente: Rendimiento

b Predictores: (Constante), Tiempo * Humedad, Humedad, Presión, Tiempo

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla III-32 observamos que el tiempo, presión, humedad e interacción tiempo por humedad están por debajo de 0,025 por lo tanto son significativas.

Tabla III-32 Coeficientes de la ecuación del modelo matemático

Coeficientes ^a							
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	tst	Sig.	95% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	36,487	0,549		66,478	0	35,279	37,695
Tiempo	4,416	0,549	0,77	8,046	0	3,208	5,624
Presión	1,981	0,549	0,345	3,609	0,004	0,773	3,189
Humedad	-1,963	0,549	-0,342	-3,576	0,004	-3,171	-0,755
Tiempo * Humedad	1,51	0,549	0,263	2,75	0,019	0,301	2,718

a Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Elaboración propia, 2022

De la tabla III-32 se determinó el modelo matemático ajustado para el proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta, que relaciona el rendimiento respecto al tiempo, presión, humedad e interacción tiempo por humedad, dicho esto observamos el modelo matemático correspondiente:

$$\text{Rendimiento} = 36,487 + (4,416 * \text{Tiempo}) + (1,981 * \text{Presión}) - (1,963 * \text{Humedad}) + (1,510 * \text{Tiempo} * \text{Humedad})$$

Por lo que a mayor tiempo mayor será el Rendimiento, lo propio para la presión y la interacción tiempo por humedad, en cambio a menor humedad mayor será el Rendimiento.

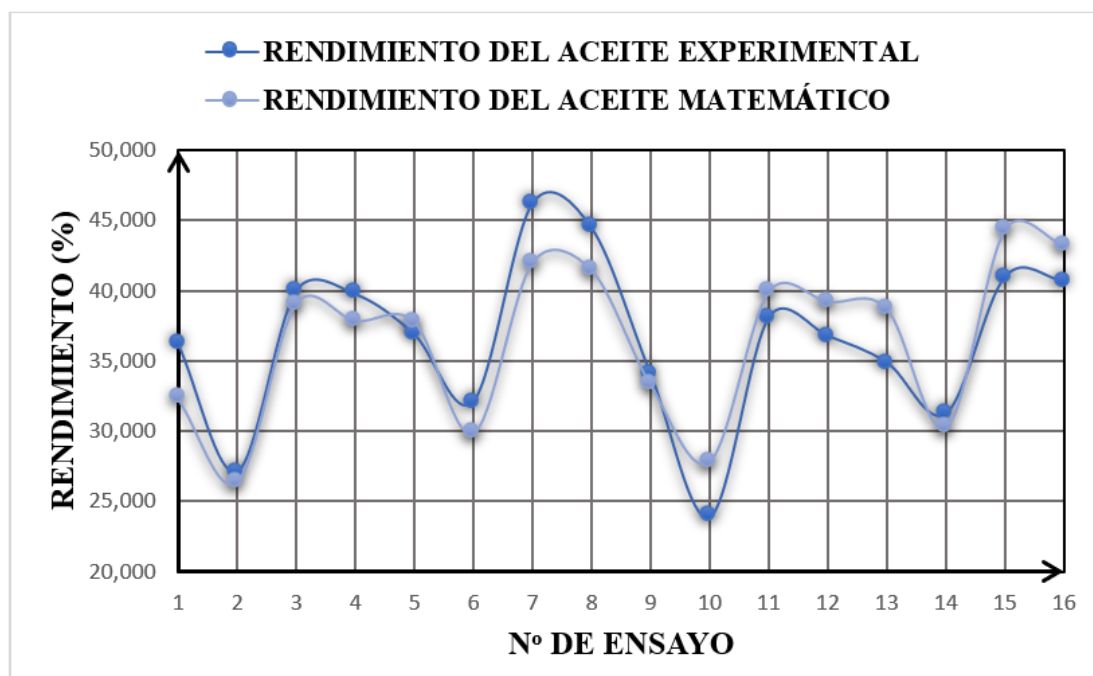
En la siguiente tabla III-33 nos muestra el error experimental respecto del Rendimiento del aceite que se obtuvo en la parte experimental y el Rendimiento del aceite matemático que se obtuvo del programa estadístico IBM SPSS Statistics 25, donde se observa que no existe un error experimental mayor al 16%, cuyo valor es el promedio del Rendimiento experimental sobre la desviación estándar.

Tabla III-33 Error del ajuste del modelo a los resultados experimentales

N ^{RO} ENSAYO	FACTORES			VARIABLE RESPUESTA		Error experimental (%)
	Tiempo (h)	Presión (Psi)	Humedad (%)	Rendimiento del aceite (%) EXPERIMENTAL	Rendimiento del aceite (%) MATEMATICO	
1	1	5000	0,17	36,271	32,331	10,798
2	1	5000	10,0	27,111	26,394	1,966
3	2	5000	0,17	40,003	39,090	2,500
4	2	5000	10,0	39,778	37,874	5,218
5	1	6000	0,17	36,913	37,801	2,434
6	1	6000	10,0	32,132	29,873	6,190
7	2	6000	0,17	46,257	42,010	11,641
8	2	6000	10,0	44,511	41,485	8,293
9	1	5000	0,17	34,087	33,324	2,091
10	1	5000	10,0	23,883	27,861	10,903
11	2	5000	0,17	38,125	39,944	4,985
12	2	5000	10,0	36,792	39,231	6,686
13	1	6000	0,17	34,901	38,716	10,456
14	1	6000	10,0	31,268	30,266	2,746
15	2	6000	0,17	41,040	44,381	9,157
16	2	6000	10,0	40,718	43,209	6,826

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la figura 3-15 nos muestra gráficamente el rendimiento del aceite extraído experimentalmente y el rendimiento del aceite matemático, notándose la similitud de la trayectoria entre el experimental y el matemático con un error experimental no mayor al 16%. En la gráfica podemos observar que el rendimiento del aceite experimental para los números de ensayos 1, 4, 6, 7 y 8 son positivos, es decir que está por encima del rendimiento del aceite matemático, mientras que para los números de ensayo 10, 11, 12, 13, 15 y 16 son negativos, es decir que está por debajo del rendimiento del aceite matemático, y para los números de ensayo 2, 3, 5, 9 y 14 son próximos del rendimiento del aceite matemático.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura 3-15 Gráfica de comparación entre el rendimiento del modelo vs el experimental

3.8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA

En la tabla III-34 observamos la comparación de los resultados fisicoquímicos del aceite virgen de pulpa de palta determinados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dentro de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Lo

cual dicha comparación se realizó para un aceite extraído a partir de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) con un contenido de humedad del 0,17% y para un aceite extraído a partir de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) con un contenido de humedad del 10%, cuyo fin es verificar si hay diferencia al extraer aceite a partir de pulpa de palta deshidratada para esos dos contenidos de humedad, es decir si afecta en las características fisicoquímicas.

Tabla III-34 Comparación de los análisis fisicoquímicos del producto final (aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta al 0,17% de humedad y 10% de humedad

PARÁMETROS	UNIDAD	ACEITE (PULPA AL 0,17% HUMEDAD)	ACEITE (PULPA AL 10% DE HUMEDAD).
Acidez (como ácido oleico)	%	0,20	0,19
Densidad relativa (20 °C)	-	0,9169	0,9157
Humedad	%	0,17	0,23
Índice de peróxido	MeqO ₂ /Kg	1,85	2,32
Índice de refracción (20 °C)	-	1,4970	1,4697

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2022

Podemos observar en la tabla III-34 que según los resultados de CEANID, la acidez es un 95% próximo entre ambos aceites y la densidad relativa (20 °C) es un 99% próximo entre ambos aceites, posteriormente la humedad es mayor del aceite extraído a partir de pulpa al 10% de humedad, por lo tanto esta tiende a ranciarse antes que el otro aceite, en cambio el índice de refracción (20 °C) existe una diferencia entre 0,0273 y el índice de peróxido nos muestra que el aceite extraído a partir de pulpa al 0,17% de humedad tiene mejor estabilidad que el 10% de humedad.

A continuación, tenemos la siguiente tabla III-35 donde observamos la comparación de los resultados fisicoquímicas determinados en CEANID para el aceite extraído a partir de la pulpa de palta con un contenido de humedad del 0,17%, con los datos bibliográficos según (Gutarra 2018).

Tabla III-35 Comparación de análisis fisicoquímicos del producto final (Aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta al 0,17% de humedad, con los datos bibliográficos de Gutarra, 2018

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	DATOS BIBLIOGRÁFICOS
Acidez (como ácido oleico)	%	0,20	1,56
Densidad relativa (20 °C)	-	0,9169	0,915
Humedad	%	0,17	0,2 - 0,35
Índice de peróxido	MeqO ₂ /Kg	1,85	19,58
Índice de refracción (20 °C)	-	1,4970	1,468

Fuente: Resultado: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2022 y Datos bibliográficos: Gutarra, 2018

Como podemos observar en la tabla III-35 que de acuerdo a los resultados obtenidos que se llevó a cabo en CEANID se tiene que; la acidez (como ácido oleico) posee un 0,20%; la densidad relativa (20 °C) posee un 0,9169; la humedad posee un 0,17%; el índice de peróxido posee 1,85 MeqO₂/Kg y el índice de refracción (20 °C) posee 1,4970; comparado con los datos de bibliografía según (Gutarra, 2018), se puede ver que tiene una relación muy cercana en base a los resultados obtenidos, pero la acidez tienen una diferencia de 1,36% y según mis resultados tiene una mejor estabilidad el aceite obtenido, ya que el dato bibliográfico del índice de peróxido es muy alto.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Haciendo un énfasis a los objetivos planteados del presente proyecto y los resultados obtenidos como referencia durante la parte experimental y analizadas en CEANID, se presentan las siguientes conclusiones:

- Según el objetivo específico 1; la pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) producida en la localidad de San Telmo - Cercado, utilizada para la parte experimental de la extracción de aceite virgen de palta presenta las siguientes características: valor energético (145,75 Kcal/100 g), proteína total (2,42%), hidratos de carbono (2,12%), grasa (14,15%), humedad (75,72%), fibra (4,12%) y ceniza (1,40%).
- Según el objetivo específico 2; el método experimental para la extracción de aceite virgen de palta se empleó por el método de presión hidráulica, según los análisis y selección del tipo de método obtuvo una puntuación del 80%, a comparación del método de presión por expeller que obtuvo una puntuación del 73% y el método de termobatido obtuvo una puntuación del 70%, por lo que nos conlleva al método de presión hidráulica.
- Según el objetivo específico 3; en la fase experimental del proceso de extracción de aceite se concluye que las variables estudiadas para un diseño factorial 2^3 (tiempo, presión y humedad) más óptimas para el mejor rendimiento de aceite (variable respuesta) es el ensayo número 7 con la mejor combinación de niveles de factores a 6000 Psi de presión, 2 h de prensado y 0,17% de contenido de humedad de la pulpa de palta.
- Según el objetivo específico 4; las características fisicoquímicas del aceite virgen extraído a partir de pulpa de palta con un contenido de humedad de 0,17%, presenta las siguientes: acidez (0,20%), densidad relativa (0,9169), humedad (0,17%), índice de peróxido (1,85 mEqO₂/kg) e índice de refracción (1,4970), y también se realizó las características fisicoquímicas del aceite virgen extraído a partir de pulpa de palta con un contenido de humedad del 10%, lo cual presenta las siguientes: acidez (0,19%), densidad

relativa (0,9157), humedad (0,23%), índice de peróxido (2,32 mEqO₂/kg) e índice de refracción (1,4697).

- Según el objetivo específico 5; el rendimiento del proceso experimental de extracción de aceite virgen de pulpa de palta (*Persea americana mill Hass*) se determina un 46,257%, cuyo valor es del mejor rendimiento de aceite del ensayo número 7 con una humedad del 0,17%, tiempo 2 horas de prensado y presión de 6000 Psi. El más bajo rendimiento de aceite obtenido con un 23,883% fue del ensayo número 10 con una humedad del 10%, tiempo una hora de prensado y presión de 5000 Psi. Los demás ensayos oscilan arriba del rendimiento promedio total de 36,487% a excepción de los ensayos números 2, 6, 9 y 14 que se encuentra por debajo de este.
- Según el objetivo específico 6; el balance de materia se realizó para 901,9060 g de palta, con un contenido de pulpa de 532,146 g y una obtención de aceite de 41,264 g con las mejores condiciones: tiempo 2 h, humedad 0,17% y presión 6000 Psi. Los resultados dieron que la cantidad de agua absorbida en el lavado de agua es insignificante ya que la palta (*Persea americana mill Hass*) se caracteriza por su dureza de la cáscara. La pérdida de aceite en el prensado fue de un 34,4 % de un 64% de aceite de palta.
El balance de energía se realizó para la etapa de secado y prensado: Para la etapa de secado presenta un flujo de calor transferido por convección de 1842,658 KJ y la etapa de prensado presenta un flujo de calor transferido por conducción de 21,228 KW
- Según el objetivo específico 7; aplicando el análisis estadístico estableció que los factores significativos $< 0,05$ son: humedad, tiempo, presión e interacción humedad por tiempo y estableció que los factores no significativos $> 0,05$ son las interacciones: tiempo por presión, presión por humedad y tiempo por presión y humedad. El rendimiento de aceite durante la parte experimental respecto el rendimiento de aceite matemático no presenta un error experimental mayor del 16%.

4.2. RECOMENDACIONES

- Debido al alto contenido de humedad de 73,98% de la pulpa de palta se recomienda colocar encima de la malla o placa papel de mantequilla de horno para su posterior deshidratación en la estufa de flujo convectivo, ya que la pulpa de palta tiende adherirse conllevando a tener pérdidas de masa, también para futuros estudios de investigación se recomienda optar por otro proceso como congelado o liofilizado en vez de la estufa de flujo convectivo.
- La humedad de la pulpa de palta es una de las variables controladas y fundamentales para la extracción de aceite, por esta razón se recomienda evitar en lo posible que estas absorban humedad con el ambiente, para ello se sugiere introducir la pulpa de palta en bolsas de polietileno de alta densidad, para la conservación de humedad o también se puede optar por desecadores.
- Se recomienda que durante el prensado es importante controlar la temperatura que no pase de 30°C, ya que si llega a los 40°C tiende a extraer no solo aceite si no también grasa, esto se verifica que cuando el aceite se encuentra a temperatura ambiente, se solidifica fragmentos del aceite.
- Se recomienda implementar después del prensado otra etapa que permita recuperar por lo menos un 10% del 34,4% del aceite residual contenido en la borra de pulpa de palta deshidratada o someterla a otro tipo de proceso como la acción de un solvente, así de esta manera evitar mayor pérdida de aceite, pero cabe mencionar que el aceite recuperado ya no sería aceite virgen.